

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

О.Ю. ДЕРЕВЕНСКАЯ

ПРОБЛЕМЫ ВОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебное пособие



КАЗАНЬ
2025

УДК 556
ББК 26.22
Д36

*Печатается по рекомендации учебно-методической комиссии
Института управления, экономики и финансов
Казанского федерального университета
(протокол № 2 от 17 января 2025 года)*

Рецензенты:

доктор биологических наук, профессор **Н.М. Мингазова**;
кандидат биологических наук **Ф.Ф. Бариева**

Деревенская О.Ю.

Д36 Проблемы водной безопасности: учебное пособие / О.Ю. Деревенская. – Казань: Издательство Казанского университета, 2025. – 230 с.

ISBN 978-5-00130-886-7

Учебное пособие охватывает широкий круг вопросов, связанных с управлением водными ресурсами, поддержанием их качества и обеспечением водной безопасности. Особое внимание уделяется анализу состояния водных ресурсов на глобальном, региональном и национальном уровнях, законодательным и нормативным основам, а также современным стратегиям защиты и восстановления водных экосистем. Рассмотрены основные проблемы водного хозяйства России, включая дефицит пресной воды в ряде регионов, загрязнение водных объектов, угрозы наводнений, деградацию водных экосистем.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Прироооустройство и водопользование» (магистерские программы «Безопасность и реабилитация территорий природных и техногенных катастроф» и «Урбоэкология»).

Публикация осуществляется в рамках проекта «Переработка и редизайн дисциплины "Проблемы водной безопасности"», реализуемого победителем грантового конкурса 2023/2024 стипендиальной программы Владимира Потанина.

УДК 556
ББК 26.22

ISBN 978-5-00130-886-7

© Деревенская О.Ю., 2025
© Издательство Казанского университета, 2025

Содержание

Введение.....	5
Глава 1. Состояние, проблемы и перспективы развития мирового водного хозяйства.....	7
1.1. Вода как ресурс и его значение для общества.....	7
1.2. Водные ресурсы континентов и регионов мира.....	12
1.3. Водные ресурсы стран СНГ.....	23
1.4. Трансграничные водные объекты.....	28
Глава 2. Водные ресурсы России.....	38
2.1. Общая характеристика водных ресурсов России.....	38
2.2. Законодательное и нормативно-методическое обеспечение качества воды водных объектов, устойчивого водоснабжения и водной безопасности....	49
Глава 3. Водная безопасность России.....	62
3.1. Пути обеспечения водной безопасности и устойчивого водоснабжения.....	62
3.2. Защита территорий и населения от негативного воздействия вод.....	69
3.3. Государственное управление использованием и охраной водных ресурсов.....	82
3.4. Системы регулирования стока и его территориального перераспределения.....	93
3.5. Проблемы управления качеством воды в водохранилищах и пути их решения.....	114
Глава 4. Водное хозяйство России.....	125
4.1. Водохозяйственные объекты, комплексы, системы: структура, элементы, взаимосвязь.....	125
4.2. Особенности водоснабжения и требования к качеству воды в промышленности, сельском и коммунально-бытовом хозяйстве.....	141
4.2.1. Коммунально-бытовое водоснабжение.....	141
4.2.2. Водоснабжение промышленных предприятий.....	149
4.2.3. Водоснабжение в сельском хозяйстве.....	161
4.3. Использование бытовых сточных вод для орошения и земледелия.....	168
4.4. Использования осадков сточных вод и активного ила в качестве удобрений.....	171
Глава 5. Проблемы водного хозяйства России.....	173

5.1. Качество воды водных объектов. Использование и охрана вод.....	173
5.2. Мониторинг водохозяйственных объектов и систем....	183
5.3. Международное сотрудничество в области охраны водных ресурсов. Международные организации по охране природы.....	196
Литература.....	205

Введение

Проблемы водной безопасности остаются одними из самых значимых вызовов для человечества в XXI веке. В условиях глобального изменения климата, усиления антропогенного воздействия и увеличения частоты природных и техногенных катастроф крайне важно обеспечить устойчивое управление водными ресурсами. Дефицит пресной воды, деградация водных экосистем, загрязнение водоемов и угроза наводнений – это лишь часть проблем, требующих профессионального подхода и эффективных решений.

Учебное пособие по дисциплине «Проблемы водной безопасности» предназначено для магистрантов 1 курса направления «Природооустройство и водопользование» магистерских программ «Безопасность и реабилитация территорий природных и техногенных катастроф» и «Урбоэкология». Его цель – помочь студентам сформировать системное понимание ключевых вопросов водной безопасности, оценить существующие проблемы и перспективы управления водными ресурсами на локальном, региональном и глобальном уровнях.

Вода – важнейший природный ресурс и основа жизни, развития экономики и благополучия общества. Однако с каждым годом усиливаются вызовы, связанные с её дефицитом, ухудшением качества, трансграничными конфликтами за доступ к водным ресурсам и другими угрозами.

Пособие охватывает широкий круг вопросов, связанных с управлением водными ресурсами, поддержанием их качества и обеспечением безопасности. Оно построено так, чтобы дать читателям всестороннее понимание текущего состояния водного хозяйства, основных проблем и возможных решений. В пособии подробно рассматриваются характеристики водных ресурсов различных регионов мира, включая страны СНГ, а также вопросы трансграничного водопользования. Проанализировано текущее состояние водного хозяйства России, его основные проблемы и перспективы развития. Анализируется законодательная и нормативная база, созданная для обеспечения качества воды, устойчивого водоснабжения и водной безопас-

ности, включая защиту территорий от негативного воздействия вод. Большое внимание уделено вопросам государственного управления водными ресурсами, регулирования стока и улучшение качества воды в водохранилищах.

Выделены ключевые проблемы водного хозяйства России, такие как качество воды, необходимость постоянного мониторинга водных объектов и систем, а также совместного решения ряда вопросов, касающихся использования трансграничных водных ресурсов.

Материалы пособия ориентированы на развитие у студентов навыков анализа и принятия решений в сфере водной безопасности. Особое внимание уделено вопросам устойчивого водопользования, предотвращения последствий природных и техногенных катастроф и экореабилитации водных объектов.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

1.1. Вода как ресурс и его значение для общества

История человеческого общества, начиная с древних времен и до сегодняшнего дня, неразрывно связана с использованием водных ресурсов. Влияние водных объектов на развитие общества неоднозначно. С одной стороны, люди всегда предпочитали селиться по берегам рек, озер, используя водные объекты для водоснабжения населенных пунктов, полива сельскохозяйственных угодий, в качестве транспортных путей. С другой стороны, наводнения, маловодность или пересыхание рек и озер неоднократно становились причиной гибели людей, наносили огромный ущерб хозяйству и окружающей среде [19].

Каковы же запасы воды на Земле?

Общий объем воды на Земле составляет около 1,4 млн км³. Вода покрывает приблизительно 71 % поверхности Земли, причем три четверти этой поверхности постоянно заняты водными объектами. Основную часть составляют соленые воды океанов и морей, на которые приходится 96,4 % от общего объема воды гидросферы. Пресная вода составляет лишь около 2,5 % от всего водного ресурса планеты. Воды ледников составляют 1,86 %, подземные воды – 1,68 %, а поверхностные воды суши – всего 0,02 % [86].

Из всего объема пресной воды 68,7 % сосредоточено в ледниках и айсбергах; 30,1 % приходится на подземные воды; 0,86 % – на вечную мерзлоту; 0,26 % – на пресноводные озера, и лишь 0,006 % – на воды рек. В совокупности пресные озера и реки содержат около 93 120 км³ воды. Именно воды рек и частично озер относятся к категории возобновляемых запасов пресной воды, которые активно используются для питьевого, промышленного и сельскохозяйственного водоснабжения.

Подавляющая часть пресных вод относится к разряду медленно возобновляемых «вековых» ресурсов, извлечение которых может привести к нарушению природного равновесия. В настоящее время человечество использует лишь 10–20 % ежегодно возобновляемых запасов пресной воды.

Водные ресурсы включают поверхностные и подземные воды, находящиеся в водных объектах, которые используются или могут быть использованы человеком. Совокупность всех водных объектов, расположенных на территории Российской Федерации, составляет водный фонд страны [20]. Водные запасы обладают огромной ценностью и представляют собой стратегический ресурс, необходимый для развития любой страны.

Несмотря на значительный общий объем водных ресурсов на Земле, их распределение по территории суши крайне неравномерно. Это создает серьезные проблемы для целых континентов и стран, ограничивая их экономическое развитие.

Еще одной острой проблемой, связанной с водными ресурсами, является растущее загрязнение водоемов. В результате, даже в регионах, где воды предостаточно, она может быть загрязненной, что существенно ограничивает возможности ее использования и приводит к дефициту питьевой воды.

Уникальные свойства молекулы воды позволяют ей существовать в природе в трех агрегатных состояниях: жидким (98,26 %), твердом (1,74 %) и газообразном (в виде водяного пара в атмосфере – 0,001 %).

Роль водных ресурсов в биосфере и жизни человечества чрезвычайно многообразна. Вода является важнейшим компонентом биосфера, присутствует во всех сферах Земли и участвует в различных физических, химических, биологических и геологических процессах. Вода формирует рельеф планеты, а благодаря своей высокой теплопроводности оказывает значительное влияние на климат и погодные условия. Будучи универсальным растворителем, вода переносит различные вещества в растворенном виде.

Без воды невозможно существование живых организмов. Жизнь на Земле зародилась именно в водной среде. Водные экосистемы служат средой обитания огромного количества видов растений и животных, а водные объекты – важнейшими источниками пищевых ресурсов для человека и животных.

Вода необходима для жизни и нормального функционирования растений, животных и человека. Благодаря транспортировке питательных веществ биологическими жидкостями становится возможным существование живых организмов.

Вода играет важнейшую роль во всех сферах деятельности человека. Она используется в быту, промышленном производстве, сельском хозяйстве. Многие водные объекты выполняют функции транспортных путей, служат для перевозки грузов и пассажиров. Кроме того, вода применяется для выработки электроэнергии, а также в рекреационных целях.

До середины XX века считалось, что водные запасы Земли неисчерпаемы. Однако увеличение расходов воды в промышленном производстве, развитие орошаемого земледелия, создание централизованных систем водоснабжения и канализации привели к резкому увеличению объемов потребляемой воды. Вместе с этим возрос объем сточных вод, сбрасываемых в водоемы, что вызвало значительное загрязнение поверхностных водных объектов.

В ближайшем будущем вода может стать даже более ценным ресурсом, чем нефть. Дефицит водных ресурсов уже сейчас представляет собой сложнейшую проблему, которая сдерживает экономическое развитие государств. Вода необходима для производства сельскохозяйственной продукции и обеспечения продовольствием растущего населения планеты.

По данным ООН, в 2022 году 2,2 миллиарда человек не имели доступа к чистой питьевой воде, 2 миллиарда жили в странах с нехваткой водных ресурсов, а 90 % стихийных бедствий, включая

наводнения и засухи, были связаны с водой. При этом 80 % сточных вод возвращались в экосистему без какой-либо очистки [19].

Неравномерное распределение водных ресурсов, их недостаток в одних регионах и избыток в других, делает привлекательной идею переброски стока рек из одного региона в другой. Однако такие решения часто сосредоточены лишь на удовлетворении текущих потребностей и игнорируют возможные экологические последствия.

В условиях усиливающегося дефицита воды, особенно питьевой, важнейшими задачами становятся рациональное использование имеющихся ресурсов, популяризация знаний о водопользовании, формирование привычек бережного отношения к воде, внедрение систем повторного и оборотного водоснабжения в промышленности и прекращение сброса неочищенных сточных вод в природные водные объекты.

Согласно прогнозам ООН, численность населения мира к 2030 году достигнет 8,5 миллиарда человек, к 2050 году – 9,7 миллиарда, а к 2100 году – 10,4 миллиарда. Основной прирост до 2050 года придется на Африку, где население стран южнее Сахары увеличится вдвое [92]. Наибольший прирост в развивающихся странах усложнит решение продовольственной проблемы в мире. Производство сельскохозяйственной продукции в условиях теплого климата потребует значительного увеличения затрат воды для орошения. В то же время на континентах, где располагаются преимущественно развивающиеся страны, количество воды на душу населения быстро сокращается. Более 80 государств, где проживает около 40 % населения планеты, испытывают водный дефицит в той или иной степени. Увеличивается потребление воды в бытовых целях. Объем среднесуточного потребления воды в странах мира различен и варьируется в зависимости от уровня экономического развития страны, а также наличия водопровода и канализации.

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, для удовлетворения базовых личных нужд человеку требуется от 50 до 100 литров воды в день. Однако в сельских районах Африки этот по-

казатель составляет всего 10–20 литров, значительно ниже минимальной нормы. Напротив, в США он достигает 450 литров в день, в Канаде – 340 литров, в Японии – 320 литров. В Западной Европе из-за высокой стоимости услуг водоснабжения потребление варьируется от 130 до 180 литров. В России среднее суточное потребление на одного городского жителя составляет 250 литров.

По классификации ООН, страны мира делятся на четыре категории по степени использования доступных водных ресурсов:

- менее 10 % используемых ресурсов (Канада, Индонезия, Малайзия, Россия, страны Южной Америки, Центральной Африки, некоторые страны Северной Европы);
- использование 10–20 % ресурсов (Китай, Великобритания, Португалия, США, Таиланд, Турция, Филиппины, Франция, Япония);
- использование 20–40 % ресурсов (Алжир, Германия, Индия, Испания, Казахстан, Мексика, Марокко, Польша, Туркмения, Южная Африка);
- более 40 % используемых ресурсов (Афганистан, Бельгия, Египет, Иран, Ирак, Израиль, Ливия, Пакистан, Саудовская Аравия, Тунис, Узбекистан, Южная Корея) [148].

Опыт использования водных ресурсов в XX веке показывает, что темпы вовлечения воды в хозяйственную деятельность значительно превышают темпы роста численности населения. Например, за прошлый век численность населения выросла в 3,5 раза, тогда как объем потребляемой воды увеличился более чем в 7,5 раза. Примерно 70 % всей извлекаемой воды из рек, озер и водоносных горизонтов используется для орошения. При этом более 80% сточных вод, образуемых в результате человеческой деятельности, сбрасываются в реки и моря без предварительной очистки [19].

Площадь орошаемых земель за XX век увеличилась в пять раз – с 50 млн. га в 1900 году до 250 млн. га в 2000 году. Эти земли составляют лишь 16 % от всей площади сельскохозяйственных угодий, но обеспечивают 40 % мирового производства продовольствия. Буду-

щий рост производства продуктов питания, вероятнее всего, будет достигаться за счет повышения продуктивности орошаемых земель и увеличения их площади.

Кроме сельского хозяйства, вода необходима для промышленности и коммунально-бытового хозяйства. Различные водопользователи предъявляют разные требования к качеству, количеству и режиму водоснабжения, что усложняет процесс удовлетворения их потребностей. Кроме того, использование воды вступает в конфликт с необходимостью охраны окружающей среды. Это обуславливает необходимость межотраслевого подхода к управлению водными ресурсами.

Особую сложность создают трансграничные водные ресурсы. Около 75 % стран мира имеют в своей структуре международные водные объекты, что нередко становится причиной споров.

Недостаток пресной воды признана одной из главных угроз для человечества. Многие эксперты считают, что борьба за водные ресурсы станет одной из основных причин войн и конфликтов в XXI веке. Только с 1950 по 2000 год произошло более 500 территориальных споров из-за воды, некоторые из которых переросли в вооруженные конфликты [61].

Эксперты утверждают, что вода все больше становится предметом купли-продажи, то есть товаром, и в XXI веке она будет тем же, чем была нефть в XX веке. Причем в ближайшие годы цена на воду может быть значительно выше цены на нефть.

1.2. Водные ресурсы континентов и регионов мира

Водные ресурсы мира представляют собой совокупность поверхностных и подземных вод, доступных для использования. Общий объем воды на Земле составляет около 1,4 миллиарда км³, из которых 97,5 % приходится на соленую воду морей и океанов, а лишь 2,5 % – на пресную воду. Однако не вся пресная вода доступна для использования, большая часть находится в виде ледников и вечной мерзлоты.

Наибольшие объемы водных ресурсов находятся на территориях следующих стран: Бразилия (8233 км³ воды в год), Россия (4500 км³), Канада (2902 км³), Китай (2800 км³).

Более 2 миллиардов человек в мире испытывают недостаток в воде. Наиболее остро проблема стоит в следующих странах: Йемен, Сомали и другие страны Восточной Африки, Индия, Саудовская Аравия и страны Персидского залива.

В странах с большими запасами воды, таких как Канада и Россия, на душу населения приходится около 90 000 м³ воды в год, тогда как в вододефицитных странах, например, в Египте или Иране, этот показатель составляет менее 1 000 м³ в год [118].

Какая ситуация с водными ресурсами на разных континентах Земли?

Азия. По данным UNEP, на долю Азиатско-Тихоокеанского региона приходится около 36 % объема мирового стока. В то же время, в регионе остро стоят проблемы дефицита воды, и удельная обеспеченность водой является самой низкой в мире.

В абсолютных показателях Китай, Индия и Индонезия имеют крупнейшие запасы водных ресурсов, которые составляют более половины всех водных ресурсов Азиатско-Тихоокеанского региона. Такие страны, как Бангладеш, Индия, Пакистан и другие, в настоящее время испытывают дефицит воды. Крупнейшим потребителем воды в этом регионе является сельское хозяйство (86 %), в промышленности и коммунальном хозяйстве используются, соответственно, 8 % и 6 %. По данным Института водных проблем РАН, Азия относится к регионам мира с самыми высокими запасами возобновляемых поверхностных вод – 13 200 км³/год (включая часть России и другие страны СНГ в Азии). Однако на душу населения приходится меньше воды, чем в других регионах мира – 3800 м³/год, а без учета стран СНГ – около 3000 м³/год. Азиатский регион продолжает оставаться одним из крупнейших потребителей воды для орошения. В Азии орошаемые земли занимают более 100 млн. га, что составляет около 60 % от об-

щей площади орошаемых земель в мире. Быстрый рост населения и экономическое развитие в таких условиях усугубляют нехватку водных ресурсов. На современном этапе даже Китай, входящий в пятерку стран мира по объему речного стока (2800 км³/год), может столкнуться с водным дефицитом в ближайшем будущем. Поскольку большая часть страны расположена в аридных и полуаридных зонах, этот фактор является одним из серьезных противоречий ее экономического развития. С дефицитом воды Китай сталкивался на протяжении всей своей истории, а за последние 50 лет потребление воды в сельском хозяйстве выросло в 3 раза, в промышленности – в 46 раз, в коммунальном секторе – в 41 раз.

Дефицит воды на полуострове Индостан обусловлен не только природными факторами, но и высокой плотностью населения. Например, Бангладеш, расположенный в дельтах рек Ганг и Брахмапутра, полностью зависит от вод этих рек, которые в основном протекают через Индию. В связи с этим между странами возник один из наиболее острых конфликтов за водные ресурсы. Во время паводков затопляется значительная часть Бангладеш, что приводит к многочисленным жертвам, учитывая, что страна имеет самую высокую плотность населения в мире.

На континенте продолжается активное строительство гидротехнических сооружений, долгосрочные экологические последствия которых еще не ясны. Например, в Китае была построена крупнейшая в мире плотина на реке Янцзы в районе Трех Ущелий, что вызывает беспокойство. С 2000 года также начались работы по проекту переброски водных ресурсов с юга на север Китая, предполагается переброска 48 км³ воды. Одним из возможных последствий осуществления этих проектов называют риск катастрофы, схожей с тем, что произошло с Аральским морем, в нижнем течении реки Янцзы [118].

Крупнейшими реками Азии являются: Амур (Китай, Россия), Ганг (Индия, Бангладеш), Янцзы (Китай), Хуанхэ (Китай), Меконг (Юго-Восточная Азия) и Инд (Пакистан, Индия). В Азии располага-

ется несколько крупных озер. Каспийское море, расположенное между Азией и Европой, является крупнейшим по площади озером в мире, однако его вода соленая. Аральское море (на территории Казахстана и Узбекистана) раньше занимало значительно большую площадь, но в настоящее время она сильно уменьшилась из-за чрезмерного забора воды для орошения. Байкал (Россия) – самое глубокое озеро в мире и одно из крупнейших по объему пресной воды.

Объем водных ресурсов, приходящихся на душу населения в Азии, варьируется в зависимости от региона. В странах, богатых водными ресурсами (например, в России или на севере Китая), доля воды на душу населения велика. В странах с ограниченными водными ресурсами (например, в Саудовской Аравии, Иордании и других странах Среднего Востока) количество воды на душу населения крайне низкое, что приводит к проблемам с водоснабжением.

Основные проблемы водных ресурсов Азии: неравномерное распределение водных ресурсов, загрязнение воды, истощение водоемов. Наибольшее количество водных ресурсов сосредоточено в северной части Азии, в то время как в Южной и Западной Азии они крайне ограничены. В странах с быстрым экономическим ростом, таких как Китай и Индия, загрязнение рек и озер становится серьезной проблемой. Реки Хуанхэ и Ганг считаются самыми загрязненными в мире.

Еще одной значимой проблемой является растущая нагрузка на водные ресурсы из-за увеличения численности населения, что приводит к существенному росту потребления воды. Чрезмерное использование водных ресурсов в сельском хозяйстве и промышленности приводит к сокращению объемов воды в природных водных объектах, как это произошло, например, с Аральским морем, а в некоторых случаях – к их полному исчезновению. Климатические изменения могут усугубить эти проблемы, особенно в странах, которые уже страдают от дефицита водных ресурсов [34].

Ближний Восток – это один из наиболее засушливых регионов мира, и водных ресурсов здесь крайне мало. В этом регионе находит-

ся лишь около 1 % от мировых запасов пресной воды. Общие запасы воды на душу населения составляют около 1,1 тыс. м³, что в пять раз меньше, чем в среднем по планете. Водные ресурсы крайне неравномерно распределены, что обостряет проблемы водоснабжения [57].

Евфрат и Тигр (Ирак, Сирия, Турция) – крупнейшие реки региона, протекающие через несколько стран. Эти реки имеют стратегическое значение для водоснабжения населения и сельского хозяйства в регионе. Нил (Египет, Судан, Южный Судан) – одна из величайших рек мира, которая проходит через несколько стран Африки и служит основным источником пресной воды для Египта и Судана. Иордан (Иордания, Израиль, Сирия) – важная река для стран Восточного Средиземноморья, особенно в контексте их водных конфликтов. Крупнейшими озерами региона являются Мертвое море (между Иорданией, Израилем и Палестиной) – одно из самых соленых озер мира, обладающее лечебными свойствами, но оно также сокращается из-за чрезмерного забора воды и озеро Ван (Турция), которое также является соленым.

Неравномерное распределение водных ресурсов является одной из самых острых проблем Ближнего Востока, создает барьеры для разрешения большого количества региональных и локальных конфликтов. Водные ресурсы региона сосредоточены преимущественно в его северной части – в восточной и юго-восточной Турции, на севере Ирана и Ирака, в основном на территории Курдистана. Вода поступает в засушливые регионы арабских стран через систему рек Тигр и Евфрат и их притоков, на берегах которых возникли первые цивилизации. В рамках решения продовольственной проблемы и увеличения сельскохозяйственного производства Турция реализует амбициозный Проект Юго-Восточной Анатолии стоимостью 32 млрд. долларов. Он включает строительство 22 плотин и 19 крупных электростанций, а также расширение орошаемых земель на 1,7 млн. га. Однако это также приведет к уменьшению водного стока в Сирию и Ирак на 50 %, что усилит дефицит воды и повысит напря-

женность в отношениях между Турцией, Сирией и Ираком. В добавок, Сирия сталкивается с дополнительными водными проблемами, включая споры с Израилем по поводу вод Голанских высот и с Иорданией по реке Ярмук [153].

Водный вопрос является важной частью арабо-израильского конфликта: Израиль получает около половины своей воды с оккупированных территорий, в том числе 40 % из подземных источников на Западном берегу реки Иордан. Эксперты считают, что контроль Турции над водными ресурсами региона может существенно усилить ее влияние на арабскую политику. Арабские страны смогут разрешить водные разногласия с Турцией лишь заключив соглашение о справедливом распределении вод Тигра и Евфрата, в противном случае Иран и Сирия окажутся в условиях серьезного дефицита воды. Для снижения зависимости от Турции арабские страны ищут альтернативные способы обеспечения водными ресурсами. Например, Армения предлагает проект по переносу воды из реки Араке через Иран в реку Ка-рун, откуда она будет направляться в Катар.

Дефицит воды испытывают Саудовская Аравия, Йемен, Иордания, Ирак, Сирия. Такие страны, как Саудовская Аравия, ОАЭ и Кувейт, активно используют технологии орошения морской воды для удовлетворения потребностей в пресной воде [118].

Водные ресурсы в этом регионе становятся причиной международных конфликтов, особенно в районах, где реки пересекают границы нескольких государств. Например, распределение воды из рек Евфрат и Тигр является предметом политических споров между Турцией, Сирией и Ираком. Для решения проблем водных ресурсов требуется сотрудничество между соседними странами [141].

Африка. По данным UNEP, ежегодный объем возобновляемых пресных вод в Африке достигает 4050 км^3 , что составляет примерно 5000 м^3 на человека. Этот объем соответствует лишь 10% мировых запасов и существенно ниже среднего значения — 7000 м^3 на челове-

ка. Для сравнения, в Южной Америке этот показатель в четыре раза больше и равен 23 000 м³ на душу населения [119].

Крупнейшими реками Африки являются: Нил, Конго, Нигер, Замбези, Огове, Санага, Шари-Логоне, Вольта. Африка также известна своими крупными озёрами: Виктория (крупнейшее озеро Африки, расположенное на границе Уганды, Кении и Танзании), Танганьика (одно из самых глубоких озёр мира, расположенное между Танзанией, Демократической Республикой Конго, Бурунди и Руандой), Малави (между Малави, Мозамбиком и Танзанией), Чад.

Страны с большими водными запасами, как правило, расположены в центральной и западной части континента, например, Демократическая Республика Конго, которая находится в бассейне реки Конго. В то же время, страны Северной Африки, такие как Египет, Ливия, Алжир и Марокко, страдают от нехватки пресной воды из-за небольшого числа рек и дефицита осадков. Большинство стран Африки сталкивается с дефицитом водных ресурсов, особенно те, которые находятся в засушливых и полузасушливых зонах. Например, в Сахеле (регион, охватывающий части Мали, Чада, Судана, Нигера) наблюдаются регулярные засухи, что значительно ухудшает ситуацию с водоснабжением [9].

За последние 40 лет в Африке участились масштабные засухи и наметилась тенденция к сокращению стока крупных трансграничных рек, включая Нил и Замбези. Эксперты связывают сокращение водных ресурсов и увеличение частоты засух с деятельностью человека, включая вырубку лесов и разрушение экосистем саванны. В Африке 88 % потребляемой воды используется для орошения, при этом мелиоративные системы недостаточно эффективны. Важную роль в орошении играют подземные водоисточники, которые покрывают до 15 % потребности.

Особенностью Африки является быстрый рост численности населения. Так, в регионе Сахели, темпы роста составляют около 3 % в год. Около 240 миллионов человек, или почти треть населения кон-

тинента, проживают в регионах, где количество доступной воды на душу населения уже ниже необходимого уровня для обеспечения нормальных условий жизни [118].

Проблема использования международных вод остается серьезной для Африки. Все 17 водосборных бассейнов континента, площадь которых превышает 100 тыс. км², являются международными, и водные ресурсы в них разделяют от двух до десяти стран. В бассейнах восьми рек (Конго, Нигер, Огове, Замбези, Нил, Санага, Шари-Логоне и Вольта) сосредоточено 75 % водных ресурсов Африки. При этом половина всех водных ресурсов континента приходится на бассейн реки Конго. В некоторых из этих бассейнов уже реализуются проекты кооперации по использованию и охране международных вод [14].

Африка обладает значительными запасами подземных вод, которые могут быть использованы для удовлетворения потребностей в воде. Однако доступ к этим ресурсам ограничен, и их эксплуатация требует значительных инвестиций. Изменение климата усугубляет проблему водного дефицита, влияет на сельское хозяйство и водоснабжение [140].

Северная Америка. По данным ИВП РАН, Северная Америка обладает запасами поверхностных водных ресурсов, которые оцениваются (вместе с Центральной Америкой) в 6440 км³/год (не считая вод ледников и ледяных куполов), или около 13 % от мировых запасов. На душу населения водных ресурсов приходится более 15000 м³/год (по данным UNEP – 16 930 км³/год). Это довольно высокий показатель, однако водные ресурсы распределены равномерно.

Важнейшими реками Северной Америки являются: Миссисипи и Миссури в США, Колорадо, Рио-Гранде – река, разделяющая США и Мексику, Сент-Лавренс. В Северной Америке, на границе США и Канады расположены Великие озера (Верхнее, Мичиган, Гурон, Эри и Онтарио – крупнейшая по объему пресноводная система).

В Северной Америке средний объем водных ресурсов на душу населения остается одним из самых высоких в мире. США и Канада

располагают значительными водными запасами, при этом на каждого жителя этих стран приходится около 20 000 м³ воды ежегодно. Трансграничные водоемы составляют небольшую долю, среди них выделяются Великие озера, река Святого Лаврентия и река Колорадо, которая протекает между США и Мексикой.

В Канаде основными потребителями воды являются промышленность и энергетика, в США примерно одинаковые объемы воды потребляют промышленность и сельское хозяйство. В США на каждого человека приходится около 1700 м³ воды в год – этот показатель выше, чем в большинстве других стран.

Сельское хозяйство в США развивалось экстенсивно, но с середины 1950-х годов появилась тенденция к рациональному использованию водных ресурсов. К 1980 году водопотребление снизилось в три раза по сравнению с 1955 годом. С 1980 года расширение орошаемых земель было приостановлено, так как доступные водные ресурсы в засушливых районах истощились. В последние годы потребление воды в сельском хозяйстве стабилизировалось. Земли, пригодные для сельского хозяйства, занимают около 50 % территории США. В засушливые годы, особенно на юго-западе и западе США, а также в Канаде, где выращиваются зерновые, наблюдается нехватка воды, что приводит к снижению урожая сельскохозяйственных культур. Несмотря на это, сельское хозяйство получает государственные дотации, а фермеров поощряют отказываться от возделывания менее продуктивных земель.

Мексика испытывает дефицит водных ресурсов, особенно в северных и центральных областях, где проблемы с обеспечением водой становятся более ощутимыми [118].

Южная Америка обладает значительными водными ресурсами, что обусловлено обилием осадков и наличием крупных речных систем. Материк занимает около 12 % площади суши Земли, но получает примерно в два раза больше среднего количества осадков на единицу

ницу площади – около 1643 мм в год. Это способствует формированию обширных водных запасов

По данным ИВП РАН, Южная Америка (включая Мексику, Центральную Америку и Карибы) обладает запасами пресных вод, оцениваемыми в $9530 \text{ км}^3/\text{год}$, или более 30 % мировых запасов. На душу населения приходится $29\ 790 \text{ м}^3/\text{год}$. В Южной Америке протекает крупнейшая река мира – Амазонка со средним годовым расходом в устье более $200\ 000 \text{ м}^3/\text{с}$. Среди стран Южной Америки Бразилия занимает первое место по водным ресурсам, имея речной сток объемом 8647 км^3 в год.

Несмотря на обилие водных ресурсов, их распределение по территории материка неравномерно. Согласно данным Программы ООН по окружающей среде (UNEP), три гидрографических района (бассейны Мексиканского залива, Южно-Атлантический и реки Ла-Плата) занимают 25 % площади региона и являются местом проживания 40 % населения, однако на их долю приходится лишь 10 % запасов пресной воды. Многие проблемы управления водными ресурсами в этих районах выходят за рамки национальных границ и требуют межгосударственного сотрудничества для эффективного решения.

По оценкам, глобальное потепление климата в Южной Америке приведет к увеличению стока в реках с ледниковым питанием. Однако в целом ожидается рост частоты паводков и наводнений, а также усиление интенсивности тропических циклонов и ураганов [118].

Бассейн реки Амазонки почти целиком расположен на территории Бразилии, за исключением её верховий. В 1978 году восемь стран бассейна Амазонки подписали Соглашение о сотрудничестве, направленное на совместное использование и развитие водных ресурсов региона. Однако за пределами рек, охваченных этим Соглашением, государства продолжали разрабатывать свои региональные планы автономно. Например, Бразилия активно продвигает планы освоения гидроэнергетического потенциала Амазонки, что может вызвать нежелательные последствия для стран, расположенных ниже по тече-

нию. Эксперты отмечают, что соглашения в бассейнах Амазонки и Рио-Ла-Плата не обеспечивают полного контроля над действиями стран-участников [95].

Австралия и Океания. Водные ресурсы Австралии и Океании характеризуются значительными различиями из-за разнообразных климатических условий и географических особенностей региона.

По данным Института водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН), Австралия и Океания обладают запасами пресной воды в объёме немногим более 1 600 км³ в год. При этом на душу населения приходится около 56 000 м³ воды в год, что является одним из самых высоких показателей среди регионов мира. Государства региона полностью контролируют континент или острова, что приводит к отсутствию международных рек. Это означает, что водные ресурсы в основном используются внутри стран, и вопросы трансграничного водопользования практически не возникают.

Континент Австралия обладает ограниченными запасами пресной воды. Общий объём пресных вод составляет около 200 тыс. км³, из которых только 301 км³ приходится на возобновляемые ресурсы рек. Остальная часть – это невозобновляемые подземные воды. Речная сеть Австралии преимущественно сосредоточена на восточном побережье, где реки, такие как Муррей и Дарлинг, имеют смешанное дождевое и снеговое питание. Эти реки полноводны в течение всего года и широко используются для орошения сельскохозяйственных угодий. Австралия, как промышленно развитая страна, сталкивается с серьёзными проблемами загрязнения водных объектов. Недавние инциденты, такие как загрязнение более 10 пляжей Сиднея нефтепродуктами в октябре 2024 года, подчёркивают масштабы проблемы. В последние годы в Австралии наблюдается значительное снижение поверхностного стока в крупных речных бассейнах. Так, за последние 7 лет сток уменьшился на 80 %, что привело к необходимости пересмотра подходов к управлению водными ресурсами [118].

Океания включает в себя множество островных государств и территорий, где водные ресурсы варьируются в зависимости от географического положения и климата. Влажные тропические регионы, такие как Папуа-Новая Гвинея и Соломоновы острова, обладают обильными осадками и значительными водными ресурсами. Здесь реки и озёра обеспечивают местное население пресной водой и поддерживают сельское хозяйство. В то же время, острова, расположенные в более засушливых регионах, имеют ограниченные водные ресурсы. Например, на некоторых островах Тонга и Самоа пресная вода добывается из подземных источников, а также используются дождевые воды.

Таким образом, водные ресурсы Австралии и Океании разнообразны и зависят от климатических и географических условий каждого региона. Влажные тропические области обеспечены обильными водными ресурсами, в то время как более засушливые регионы сталкиваются с ограничениями и используют различные методы для обеспечения водоснабжения.

1.3. Водные ресурсы стран СНГ

Содружество Независимых Государств (СНГ) – региональная международная организация, созданная с целью сотрудничества между странами, входившими в состав СССР. Соглашение о его создании подписали Белоруссия, Россия и Украина 8 декабря 1991 года. В 1991 году в состав СНГ вошли 11 вновь образовавшихся независимых государств. Позже к СНГ присоединилась Грузия, но через некоторое время Грузия, Украина и Молдавия вышли из организации. В настоящее время в состав СНГ входят следующие государства: Азербайджан, Армения, Белоруссия, Казахстан, Киргызстан, Россия, Туркменистан, Таджикистан и Узбекистан.

Запасы пресных вод на территории СНГ составляют около 4550 км³ в год, а в пересчете на душу населения приходится около 17 500 м³ в год. Это достаточно высокие показатели. Однако пробле-

ма заключается в том, что водные ресурсы распределены крайне неравномерно. Наибольшее их количество находится на территории России. В России доступные возобновляемые водные ресурсы составляют 4260 км^3 , что в пересчете на душу населения составляет более $29\,000 \text{ м}^3$. В России сосредоточено около четверти мировых запасов пресных поверхностных и подземных вод.

Достаточно хорошо водными ресурсами обеспечена Белоруссия. Гораздо хуже ситуация с водными ресурсами в странах Средней Азии и Казахстане, где на душу населения приходится всего около 1200 м^3 в год. В республиках Закавказья и в Молдавии отмечается низкая водообеспеченность, но она все же выше, чем в республиках Центральной Азии.

Существенные различия в обеспеченности водными ресурсами обусловлены размерами, географическим положением стран, различными природными условиями, а также численностью и плотностью населения. Например, Россия обладает большой территорией, значительная часть которой расположена в умеренной климатической зоне с относительно высоким уровнем осадков, а плотность населения в стране невысока. В отличие от Центральной Азии, в России мало трансграничных водных объектов [36].

В странах Центральной Азии значительные площади заняты пустынями и полупустынями с крайне низким уровнем увлажненности. В горных районах, расположенных в южной части территории, берут начало реки, которые снабжают водой полупустынные предгорные районы. С конца XX века наблюдается повышение засушливости климата, что вызвало снижение водности рек на 50–60 %. Это существенно обострило водохозяйственную ситуацию и привело к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, выращиваемых на поливных землях [27].

Негативное воздействие воды ряде регионов стран СНГ проявляется в виде наводнений и селевых потоков. Наводнения – наиболее распространенное явление на территориях большинства стран СНГ.

Они ежегодно происходят и в России, нанося значительный экономический ущерб [36].

Проблемы между государствами возникают при использовании общих, дефицитных водных ресурсов. В Центральной Азии все крупные реки являются международными. На некоторых реках построены водохранилища для получения электроэнергии, что создает проблемы для стран, расположенных в предгорных районах. Основная проблема заключается в уменьшении объема сбрасываемой воды в жаркий период, когда она особенно востребована для орошения сельскохозяйственных угодий. Проблему усугубляет быстрый рост численности населения в регионе и нерациональное использование воды. Коммуникации, оставшиеся от Советского Союза, изношены на 80 % и практически не ремонтируются. Также изношены дамбы водохранилищ. Полив сельскохозяйственных угодий осуществляется преимущественно поверхностным способом, что приводит к неэффективным потерям более половины объема воды по сравнению с использованием капельного орошения.

В настоящее время в Центральной Азии все больше усиливается кризис, связанный с недостатком водных ресурсов. Дефицит водных ресурсов особенно остро ощущается в Туркменистане, Казахстане и Узбекистане. Преобладающей сельскохозяйственной культурой в этих регионах остается хлопок. В Советском Союзе для выращивания этой стратегической культуры были созданы крупные водохозяйственные системы, включающие системы каналов и водохранилищ, которые способствовали развитию поливного земледелия и промышленности. Эта система эффективно функционировала при наличии централизованного управления. Однако с провозглашением независимости каждая республика распоряжается водными ресурсами по своему усмотрению [10, 122]. Поскольку все крупные реки региона (Амударья, Сырдарья, Зеравшан и другие), а также многие малые реки являются трансграничными, государства, на территории которых находятся истоки рек, находятся в более выгодном положении [120].

Следствием напряженной ситуации с водными ресурсами в Центральной Азии стала трагедия Аральского моря.

Аральское море было уникальным природным объектом и до 1960-х годов являлось одним из крупнейших закрытых водоемов мира. Аральское море и Приаралье отличались большим разнообразием животного и растительного мира. Площадь Аральского моря составляла более 68,9 тыс. км². Это был климаторегулирующий водоем, который смягчал резкие колебания погоды в Центрально-Азиатском регионе. В летний период воздушные массы, поступающие с запада, охлаждались над акваторией моря, а зимой – прогревались. Влага, переносимая воздушными потоками, выпадала в виде осадков над горами Тянь-Шаня и Памира в осенне-зимний период, способствуя накоплению снега и увеличению объемов ледников.

«Мы не можем мириться с тем, что многоводная Амударья без пользы несет свои воды в Аральское море, а наши земли Самаркандской и Бухарской областей орошаются недостаточно. Наша задача, как подлинных большевиков, заключается в том, чтобы изменить существующее положение: разбить всякие вредительские теории, взнудзить Сырдарью и Амударью, крепко держать их в своих руках, заставить их воды служить интересам социализма, росту материального уровня населения и развитию страны», – заявил первый секретарь ЦК Компартии Узбекистана Усман Юсупов в своем докладе на совещании ЦК КП(б) УзССР с депутатами Верховного Совета УзССР в Ташкенте в 1939 году.

В 1948 году было принято Постановление Совета Министров СССР и ЦК ВКП(б) «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах Европейской части Советского Союза» [99]. Это постановление также называют Сталинским планом преобразования природы. В соответствии с этим планом был построен крупнейший в мире Каракумский канал, что позволило создать огромные массивы

орошаемых земель по всей Центральной Азии и добиться значительного экономического роста. На орошаемых землях основным сельскохозяйственным культурам, выращиваемым в стратегических целях, стал хлопок. Это событие рассматривалось и было провозглашено как победа над пустыней.

Вследствие интенсивного развития орошаемого земледелия с 1960 года в бассейнах рек Амудары и Сырдарьи значительно увеличилось водопотребление и безвозвратное изъятие воды из этих рек, являющихся основными притоками Аральского моря. По мере снижения глубины увеличивалась прогреваемость воды, что способствовало ускоренному испарению и высыханию моря. В настоящее время воды Амудары используются полностью. В конечном итоге, нарушение водного баланса, превышение расхода воды над поступлением привело к снижению уровня Аральского моря, которое потеряло более 90% своего прежнего объема и более 80% своей площади [120].

В 1989 г. Аральское море разделилось на два водоема. К концу 1990-х годов Большой (Южный) Арал превратился в гипергалинный (соленый) водоем с соленостью 57 %. Высыхание огромного водоема, расположенного в пустынной зоне, привело к возникновению ряда экологических и социально-экономических проблем [96].

До 1960-х годов Арал был крупнейшим рыбохозяйственным водоемом Центральной Азии с ежегодным уловом до 40 тысяч тонн рыбы (в основном карповые, а также осетровые). С 1980 года Большой Арал полностью утратил свое рыбохозяйственное значение, увеличилась соленость воды, продолжилось высыхание и сокращение биоразнообразия водоема [5]. Дно высохшего водоема представляет собой засоленные пески, которые переносятся ветром на большие расстояния и выносятся в высокие слои атмосферы.

Зона Приаралья отличалась высоким разнообразием животного и растительного мира. Численность сайгаков достигала 1 миллиона голов, здесь произрастало около 638 видов высших растений. Высыхание моря привело к сокращению числа видов растений и животных.

На грани полного исчезновения оказались 12 видов млекопитающих, 26 видов птиц и 11 видов растений.

Исчезновение Аральского моря вызвало ряд отрицательных последствий для региона. Темпы потепления в бассейне Аральского моря превышают темпы глобального потепления более чем в два раза. Изменилась структура атмосферного влагопереноса над территорией Центральной Азии: осадки стали выпадать преимущественно в летний период, что привело к сокращению объемов горных ледников Памира и Тянь-Шаня (температура 0,2–1 % в год). Наблюдаются тенденции сокращения запасов снега в бассейнах горных рек региона, что ведет к ухудшению условий водообеспеченности сельского хозяйства [112]. Произошло ухудшение социально-экономической ситуации в регионе вследствие упадка рыболовства, животноводства, сокращения пастбищ и снижения продуктивности земель. Десятки тысяч людей потеряли традиционные источники средств существования [112]. Высокий уровень загрязнения, большой объем выносимой соли и пыли со дна высохшего моря приводят к росту ряда соматических заболеваний среди населения Приаралья. В наибольшей степени от негативного воздействия страдают дети [154].

1.4. Трансграничные водные объекты

По данным ООН, в мире 60 % рек являются трансграничными, на территории 153 стран находится хотя бы один из 310 бассейнов трансграничных рек и озер. На территории этих бассейнов проживает около 40 % мирового населения, они охватывают примерно половину площади земной поверхности [19]. Трансграничными являются 263 речных и более 270 подземных водных бассейнов. Из них более 70 находятся в Европе, 53 – в Азии, 39 – в Северной и Центральной Америке, 38 – в Южной Америке и 60 – в Африке; 155 из них разделены между двумя странами, а остальные – между тремя и более. Около 50 государств имеют более 75 % своей территории в пределах междуна-

родных речных бассейнов. Двадцать европейских стран получают более 10 %, а пять – около 75 % водных ресурсов из соседних стран, расположенных выше по течению трансграничных водотоков [58].

Поверхностные и подземные водные объекты, которые пересекают границу между двумя или более государствами или по которым пролегает Государственная граница Российской Федерации, являются трансграничными (пограничными) водными объектами (Статья 19 Водного кодекса РФ [20]). Порядок использования и охраны трансграничных (пограничных) водных объектов регулируется Водным кодексом, законодательством Российской Федерации о Государственной границе Российской Федерации и международными договорами Российской Федерации.

Наиболее общие положения о порядке использования и охраны трансграничных (пограничных) водных объектов содержатся в международной Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер, подписанной в Хельсинки 17 марта 1992 года. Россия ратифицировала Конвенцию и является её участницей. В соответствии с Конвенцией, стороны обязаны принимать все соответствующие меры для предотвращения, ограничения и сокращения любого негативного трансграничного воздействия. В частности, стороны должны принимать меры для предотвращения, ограничения и сокращения загрязнения вод, для обеспечения разумного и справедливого использования трансграничных вод с особым учётом их трансграничного характера, а также для обеспечения выполнения экологических требований с учётом местных условий. Совместное использование водных ресурсов не должно приводить к ухудшению экологических условий и причинению экологического вреда.

Закон "О Государственной границе Российской Федерации" от 1 апреля 1993 г. [97] устанавливает правовые условия и требования России к использованию и охране природных объектов в пограничной зоне, в том числе и трансграничных водных объектов.

Наличие на территории государства трансграничных водных объектов может стать источником конфликта, связанного с их совместным использованием. Причиной конфликта может быть сокращение стока транзитных рек из-за интенсивного использования в энергетических, промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых целях. Создание водохранилищ, систем орошения или осушения, каналов для переброски воды и другие гидротехнические мероприятия могут существенно изменить водный режим и сократить объём стока, что может противоречить интересам государств, расположенных ниже по течению. Другой причиной конфликта может быть ухудшение качества воды, загрязнение водных объектов, перенос загрязняющих веществ с территории другого государства, допускающего загрязнение вод [37].

Особенно острой проблема использования международных и трансграничных вод становится в случае, если нет других источников водоснабжения, и международные водные объекты являются основными источниками воды для стран, расположенных в их бассейнах. В таком случае экономические противоречия и политические конфликты становятся неизбежными. Так, по данным ООН, за последние 50 лет было зафиксировано более 507 споров из-за воды, из которых 37 привели к применению насилия. За этот же период было подписано 150 договоров, касающихся этих ресурсов [19].

Конфликты из-за воды имеют долгую историю, а вода служит инструментом давления при разрешении почти любых конфликтов. Разногласия между странами, использующими общие водные ресурсы, могут возникать уже на этапе планирования строительства гидротехнических сооружений одной из стран. Конфликтная ситуация также может возникнуть при загрязнении одной из стран трансграничного водного объекта. Страны, расположенные выше по течению рек, оказываются в более выгодном положении в отношении использования трансграничных вод, поскольку они могут диктовать свои усло-

вия тем, кто расположен ниже по течению, оказывая давление в различных вопросах, что ставит соседей в зависимость от них.

Например, Узбекистан получает с сопредельных территорий более 65 % воды, в Бангладеш почти вся вода поступает с территории Индии, в Египет – из стран, расположенных выше по течению реки Нил, Израиль оккупировал принадлежащие Сирии Голанские высоты с подземными источниками пресной воды. В жарких странах, испытывающих дефицит пресной воды, вооружённые конфликты за право обладания водными ресурсами весьма вероятны [35].

Загрязнение трансграничных водных объектов является одной из причин возникновения региональной экологической опасности. Потоки воды переносят загрязняющие вещества с территории одного государства на территории других стран, образуя единое поле загрязнения [37, 110].

Загрязняющие вещества переносятся не только водными, но и воздушными потоками. В конечном итоге все выброшенные в атмосферу загрязняющие вещества оседают на земную поверхность, а с поверхностным стоком, талыми и дождовыми водами, смываются в реки и озера, способствуя их эвтрофикации, ацидификации и загрязнению [37].

Российская Федерация граничит с 14 государствами Европы и Азии. Государственную границу пересекает свыше 800 различных водных объектов, среди которых 70 крупных и средних рек. Более половины государственной границы России проходит по водным объектам. Россия получает воду из 9 государств, а из нашей страны сток поступает в 7 государств (без учета Норвегии и КНДР, с этими странами обмен водами минимален). Благодаря континентальным размерам России и особенностям географического положения доля межгосударственных речных бассейнов относительно общего их количества на территории России невелика. Эти бассейны занимают всего 1253 тыс. км² или 7,3 % территории страны. На сопредельных территориях они занимают почти в два раза большую площадь – 2140 тыс. км² [37].

Большинство водных объектов, пересекающих границу России, являются жизненно важными как для России, так и для соседних государств. На территорию России ежегодно поступает около 200 км³ воды, а вытекает из нее в 3 раза меньше [150]. Однако плотность населения на этих территориях в среднем почти в 5,5 раза выше, а валовый продукт в два раза больше, при этом система очистки сточных вод развита слабо, что способствует значительному трансграничному переносу загрязняющих веществ на территорию России.

На территории России выделяются три основных участка трансграничного переноса загрязнений через водные объекты, создающих региональную экологическую опасность. Во-первых, это бассейн реки Амур, который разделяет китайско-российская граница на Дальнем Востоке. По Амуру и его притокам загрязняющие вещества поступают с территории Китая в Россию. Большая часть водосборной площади Амура находится в Китае, где почти отсутствуют очистные сооружения. Поэтому поток загрязняющих веществ, поступающих с водами Амура, весьма значителен, возможны также аварийные сбросы. Так, в 2005 году из-за аварии на химическом производстве, расположенному в Китае, произошло загрязнение реки Амур.

Второй участок – это район казахстанско-российской границы, бассейн реки Оби и южной части Западной Сибири. Здесь основная масса загрязнений поступает на территорию России по реке Иртыш.

Третий участок – это западная и южная часть европейской территории России. Здесь сток рек направлен преимущественно с территории России на запад и юг – в Беларусь, Украину и Казахстан. С Казахстаном межгосударственным бассейном является река Урал. Сток воды и загрязняющих веществ по реке Урал значительно ниже, чем по Иртышу, который переносит воду и загрязнения из Казахстана в Западную Сибирь. Площади межгосударственных речных бассейнов с Украиной и Беларусью на территории России невелики, поэтому относительно мал и экспорт загрязняющих веществ из России. Загрязнение реки Днепр и перенос поллютантов на Украину происходят на территории

Смоленской области, а левые притоки Днепра загрязняются в Брянской области, а также частично в Курской и Белгородской областях. Сток воды и загрязнений в верховьях реки Западная Двина, поступающий в Беларусь, формируется в Тверской и частично Смоленской областях, где расположены районы с относительно редким населением и слаборазвитыми промышленностью и сельским хозяйством [37].

По результатам исследований 2018-2022 гг. наиболее загрязненные участки рек, вода которых характеризовалась как «грязная», были отмечены на границе с Норвегией, Украиной (реки Северский Донец, Большая Каменка, Кундрючья, Миус и водохранилище Белгородское), с Казахстаном (р. Уй у г. Троицк и с. Усть-Уйское, р. Тобол). Вода реки Колосйоки на границе с Норвегией в 2022 г. характеризовалась как «экстремально грязная». В остальных пунктах наблюдений качество воды варьировало от «загрязненной» до «грязной», при этом в большинстве случаев вода была «загрязненной». В 2021 г. наибольшее количество минеральных форм азота, соединений меди, цинка, хрома общего, фенолов, ДДТ поступило с речным стоком из Казахстана; органических веществ – из Финляндии; неорганического фосфора, хлоридов, ГХЦГ – с территории Украины; органического фосфора, кремния, нефтепродуктов, соединений железа общего и никеля – из Монголии [102].

Реки стран Балтии и Финляндии текут преимущественно в направлении территории России, однако это в основном небольшие потоки или верховья более крупных рек, поэтому импорт загрязнений в Россию здесь превышает экспорт загрязняющих веществ из страны.

Для Российской Федерации, как и для большинства государств, проблема использования трансграничных природных ресурсов имеет несколько аспектов. Так, интересы нашей страны в Балтийском, Баренцевом, Охотском морях связаны с регулированием промысла трансграничных рыбных запасов, находящихся в исключительной экономической зоне Российской Федерации и открытом море; в част-

ности, с недопущением их незаконного, несообщаемого и неконтролируемого промысла [150].

Другим важным аспектом является загрязнение морей, прилегающих к территории России. Многие токсичные вещества мигрируют по пищевым цепям, накапливаясь в организмах гидробионтов, а также в тканях и органах рыб. Рыба и морепродукты составляют значительную часть питания населения. Снижение уровня стойких органических соединений в воде является важным условием для повышения региональной экологической безопасности [212].

Наибольший вклад Россия вносит в загрязнение Азовского и Каспийского морей. Вклад в загрязнение других морей не превышает 10 % по отношению к вкладу других стран, расположенных на побережьях этих морей. Решение проблем экологической безопасности для международных морских акваторий, представляющих замкнутые или полузамкнутые бассейны, а также для рек и озер, должно быть основано на переговорном процессе, опирающемся на научные методы оценки вклада каждого государства [37, 150].

Необходимость мирного урегулирования различных аспектов использования трансграничных водных объектов требует обсуждения возникающих проблем, разработки и заключения международных конвенций и соглашений, регулирующих взаимоотношения государств при совместном использовании вод. За последние 50 лет было зафиксировано 1228 совместных инициатив по использованию трансграничных водотоков и международных озер, в том числе подписано 150 соглашений об использовании вод, что делает международные отношения в области управления водными ресурсами более устойчивыми.

Благодаря совместным усилиям стран, расположенных в бассейнах рек, можно добиться существенного улучшения их экологического состояния. Так, еще в 1950-е годы страны, расположенные в водо-сборном бассейне реки Рейн, создали многостороннюю комиссию для решения различных проблем, в особенности связанных с окружающей средой. Другим примером являются совместные усилия США и

Канады по очистке Великих озер. В Европе существуют региональные конвенции по охране Северного, Балтийского и Средиземного морей. Международные конвенции и соглашения охватывают широкий круг проблем, но остаются нерешенные вопросы, связанные с механизмами контроля, стандартами экологического нормирования и оценки, квотированием биогенных нагрузок на трансграничные водные объекты, а также условиями распределения воды с учетом имеющихся ресурсов и спроса [35].

Россия имеет соглашения, регулирующие использование трансграничных водных ресурсов с Азербайджаном, Латвией, Литвой, КНР, Казахстаном, Эстонией и Финляндией. В 1992 г. Россия присоединилась к Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер, подписанной в том же году странами ЕС в Хельсинки [150].

В Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года среди главных вызовов упоминается «загрязнение атмосферного воздуха и водных объектов вследствие трансграничного переноса загрязняющих, в том числе токсичных и радиоактивных, веществ с территорий других государств» [144].

Достаточно успешно Россия взаимодействовала с Финляндией в вопросах совместного управления водными ресурсами. Заключенные между Россией и Финляндией соглашения регулируют режим судоходства на озере Инари, а двусторонняя комиссия решает вопросы использования водных ресурсов системы озера Сайма – река Вуокса, а также загрязнения водных ресурсов и охраны окружающей природной среды.

Трансграничным водным объектом, протекающим по территориям трех стран, является Иртыш. Река Иртыш (главный приток реки Обь) протекает по территории Китая, Казахстана и России. Длина реки – 4248 км (на территории Китая – 525 км, Казахстана – 1835 км, России – 2010 км). Истоки реки находятся на границе Монголии и Китая. Из Китая под названием Черный Иртыш она течет в Казахстан и впадает в проточное озеро Зайсан. Иртыш вытекает из озера Зайсан

и через Бухтарминское, Усть-Каменогорское и Шульбинское водохранилища в районе Ханты-Мансийска впадает в Обь [26].

Река Иртыш, как и Или, является важнейшим источником пресной воды для Казахстана и играет важную роль в экономике республики. Вместе с каналом Иртыш-Караганда она обеспечивает питьевой водой Астану, Караганду, Семипалатинск, Павлодар, Экибастуз, Темиртау и сельское хозяйство Центрального Казахстана. В верховьях реки, протекающей по территории КНР, формируется около 9,0 км³/год стока. Китай забирает воду в объеме до 1,0–1,5 км³/год и планирует увеличить водозабор до 4,0–5,0 км³/год. В этом случае находящиеся в среднем течении реки Бухтарминское и Шульбинское водохранилища могут остаться без воды. В низовьях Иртыша, на территории России, уже есть проблемы для судоходства, и отмечается снижение качества воды из-за уменьшения стока. Согласно экспертным оценкам, за последние 30 лет сток Иртыша уменьшился в 3 раза. Китай намерен осуществить строительство канала Черный Иртыш – Карамай, по которому часть вод из верховьев Иртыша будет перебрасываться в район нефтяного месторождения близ города Карамай. Планируется увеличение забора воды на нужды сельского хозяйства, что предполагает строительство водохранилищ, каналов и плотин [1, 155].

Эти планы Китая вызывают озабоченность у России и, особенно, у Казахстана. Реализация этих проектов может привести к экологической катастрофе в Восточном и Центральном Казахстане. Очевидно, что Китай не будет снижать объемы водозабора, а может даже увеличить их. Казахстан, на территории которого сток реки Иртыш был зарегулирован еще в советские годы, также не может уменьшить объем используемого речного стока, так как не имеет дополнительных источников пресных вод в этой зоне. Поэтому ситуация по трансграничным рекам, протекающим по территории Китая и Казахстана (и по некоторым из них, втекающим в Россию), останется сложной, несмотря на наличие ряда договоренностей [90, 118].

Межгосударственные договоренности необходимы также для решения вопросов очистки трансграничных вод от загрязнений. Такая проблема возникла в 2005 году, когда произошел случай загрязнения реки Амур из-за аварии на химическом предприятии Китая. Сбросы промышленных предприятий в реку Амур остаются важнейшим источником ее загрязнения, что вызывает обеспокоенность у российской стороны. В 2000-е годы в Китае произошло несколько аварий на промышленных предприятиях, из-за которых токсичные вещества попали в реку. В ноябре 2005 г., в результате аварии на химическом заводе в городе Цзилине, в реку Сунгари утекло более 100 тонн бензола, что привело к экологической катастрофе. Отсутствие в тот период двустороннего соглашения о рациональном использовании и охране трансграничных вод существенно усложнило задачу очистки бассейна реки Амур [150]. Тогда удалось избежать попадания ядовитых веществ в городские водозаборы и внедрить систему мониторинга качества воды. Но помимо аварийных сбросов, существуют и постоянные сбросы промышленных сточных вод в реку. За последние годы Китай провел работы по созданию очистных сооружений, что позволило сократить выбросы, но экологическая ситуация в бассейне Амура остается критической. Существенный вклад в загрязнение Амура вносят и бытовые сточные воды. Доля Китая в сбросе коммунально-бытовых сточных вод в притоки Амура составляет 88-97 % [165].

Серьезной проблемой, затрудняющей контроль качества трансграничных вод и объемов загрязняющих веществ, поступающих в них, а также проведение работ по оздоровлению трансграничных водных объектов, является отсутствие механизма, регулирующего взаимную ответственность государств за систематическое загрязнение вод сверх экологически допустимых уровней [150].

Глава 2. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РОССИИ

2.1. Общая характеристика водных ресурсов России

Россия богата водными ресурсами и занимает второе место в мире (после Бразилии) по среднегодовому объему речного стока. По водообеспеченности на душу населения она находится на третьем месте (после Бразилии и Канады). В водных объектах, расположенных на территории России, сосредоточено более 20 % мировых запасов пресных поверхностных и подземных вод. На одного жителя России приходится около 32 тыс. м³ речного стока в год. Это примерно в 5,5 раза больше среднемирового уровня, в 2,5 раза больше, чем в США, и в 14 раз больше, чем в Китае. Кроме того, на одного жителя России приходится в 6 раз больше пресной воды, чем в Западной Европе [30].

По территории России протекает более 2,5 миллиона больших и малых рек, расположено 2,7 миллиона озер, сотни тысяч болот и других объектов водного фонда. Общий объем статических водных ресурсов России оценивается приблизительно в 88,9 тыс. км³ пресной воды. Значительная часть этих ресурсов сосредоточена в подземных водах, озерах и ледниках. Среднемноголетние возобновляемые водные ресурсы России, включая подземные воды, по современным данным оцениваются в 4258,6 км³ в год, из которых 4002 км³ формируются на территории страны, а 206 км³ приходится на приток с сопредельных территорий [33].

Быстрее всего возобновляются запасы воды в реках. Доля водных ресурсов рек России составляет 20 % от мирового уровня, пресноводных озер – около 30 %, болот и переувлажненных территорий – свыше одной четверти. Запасы подземных вод составляют менее 1 % мирового объема. Значительные запасы воды содержатся в многолетней мерзлоте и подземных льдах России, их объем оценивается в 5 % от мирового. Незначительные запасы воды находятся в ледниках (менее 0,1 % от общемировых). На территории страны разведано более 18 067 месторождений подземных вод, из которых 12 209 находятся в

эксплуатации. Россия входит в число стран мира, наиболее обеспеченных водными ресурсами, как по общим запасам, так и в расчете на одного жителя [33].

Водные ресурсы России состоят из статических и возобновляемых. Не весь объем пресных вод, присутствующих на территории страны, может быть использован в хозяйственных целях. Определенная часть находится в статическом виде.

Статические водные ресурсы – это часть водных ресурсов, которые не участвуют (или практически не участвуют) в круговороте воды и водном питании рек. К ним относятся пресные воды глубоких озер, часть подземных вод, ледников, эти воды не подвержены заметным ежегодным изменениям. Выделить в объеме воды пресных озер и пресных подземных вод «статическую» составляющую очень сложно. Статические водные ресурсы (запасы пресных вод) часто называют вековыми ресурсами (запасами). Статические (вековые) запасы вод в озерах, ледниках, водоносных горизонтах нельзя изъять на хозяйственные нужды без нанесения ущерба либо водным объектам, либо связанным с ними рекам.

Большая часть статических (вековых) запасов водных ресурсов на территории России сосредоточена в озерах (26,5 тыс. км³) и подземных водах (28,0 тыс. км³). Статические запасы в целом составляют 88,9 тыс. км³/год. В ледниках сосредоточено около 18 тыс. км³ льда, в котором законсервировано более 15 тыс. км³ статических запасов пресной воды.

Возобновляемые водные ресурсы – это в основном годовой сток рек и подземные воды. На территории России они составляют 10 % мирового речного стока. Разведанные месторождения подземных вод располагают суммарными эксплуатационными запасами более 30 км³/год (потенциальные эксплуатационные ресурсы подземных вод, относящихся к данной категории, превышают 300 км³/год).

Россия располагает огромными запасами водных ресурсов, но ежегодно используется не более 2 % речного стока. Главный недостаток

ток российских водных ресурсов – их крайне неравномерное распределение по территории страны, которое не согласуется с реальными потребностями в пресной воде, очень большая их временная изменчивость (особенно в южных районах), а также высокая степень загрязнения [52]. Очень хорошо обеспечены водными ресурсами Дальневосточный и Сибирский федеральные округа, несколько менее – Уральский и Северо-Западный; ограниченные водные ресурсы имеют наиболее густонаселенные округа – Приволжский, Центральный и Южный.

Еще большая разница в водообеспеченности между субъектами Федерации. Среди субъектов Российской Федерации наибольшие суммарные водные ресурсы имеются в Красноярском крае и Республике Саха (Якутия) – соответственно 930 и 881 км³/год. Наименьшие водные ресурсы – в Республике Крым, Калмыкии, Ингушетии, Белгородской, Курганской и Курской областях (соответственно 1,0; 1,1; 1,7; 2,7; 3,5 и 3,8 км³/год) [33].

Около 15 субъектов Российской Федерации имеют водные ресурсы в объеме менее 10 км³/год. При этом субъекты РФ, расположенные в районах недостаточного увлажнения и имеющие очень ограниченные водные ресурсы, как правило, характеризуются большой их изменчивостью, как в многолетнем разрезе, так и внутри года, что создает дополнительные трудности в решении проблем водообеспечения.

Неравномерность распределения водных ресурсов по территории страны связана с природными факторами. Речной сток и подземные воды сосредоточены в основном в восточных и северных районах. Так, 84 % ресурсов поверхностных вод приходится на бассейны Северного Ледовитого океана (3030 км³/год) и Тихого океана (950 км³/год). В них впадают крупнейшие реки: Енисей, Лена, Обь и Амур, которые дают 44 % объема стока всех рек. Южные и юго-западные районы страны, наоборот, обладают меньшими водными ресурсами. При этом 75 % населения и 80 % промышленности и сельского хозяйства находятся в южных и юго-западных районах, входящих в бассейны Черного, Азовского и Каспийского морей. На бас-

сейны этих рек приходится всего 750 км³, или 16 % ресурсов поверхностных вод.

Основной объем ежегодно возобновляемых водных ресурсов России приходится на речные бассейны, расположенные в пределах Красноярского края (735 км³/год), Республики Саха (Якутия) (566 км³/год), Тюменской области (344 км³/год), Камчатского края (265 км³/год), Хабаровского края (244 км³/год), Архангельской области (201 км³/год), Чукотского автономного округа (181 км³/год), Иркутской области (175 км³/год), Республики Коми (158 км³/год), Магаданской области (119 км³/год), Амурской области (84,6 км³/год), Республики Бурятия (76,2 км³/год), Читинской области (68,8 км³/год), Сахалинской области (57,8 км³/год) и Томской области (57,8 км³/год). В этих 15 регионах формируется более 80 % всего местного стока России.

Средняя природная водообеспеченность местным стоком в России составляет 28,4 тыс. м³/год на человека и колеблется по субъектам РФ от 1,53 тыс. м³/год в Ставропольском крае до 3,36-13,6 млн. м³/год на человека в автономных округах Дальневосточного и Сибирского федеральных округов.

Другим природным фактором, вызывающим возникновение водных проблем, является неравномерное распределение стока по сезонам года. На большинстве рек Европейской части России, Западной и Восточной Сибири, а также Дальнего Востока свыше 2/3 стока приходится на 2-3 месяца весеннего половодья. Кроме того, существует и межгодовая изменчивость речного стока. Объемы стока отдельных рек существенно отличаются год от года, что особенно заметно в засушливых районах страны. Многоводные и, особенно, маловодные годы могут повторяться несколько лет подряд, что усугубляет проблему дефицита воды [33, 162].

Существенное влияние на объемы стока и, особенно, на качество воды оказывает деятельность человека: оросительные и осушительные мероприятия, агротехническая мелиорация, урбанизация, со-

здание водохранилищ, забор воды на ирригацию, промышленное и коммунальное водоснабжение, сброс загрязненных сточных вод [75].

Наибольшие объемы водопотребления наблюдаются в тех регионах, которые имеют наибольшие площади орошаемых земель (Республика Дагестан, Краснодарский, Ставропольский края, Ростовская область), а также в тех регионах, где промышленное производство занимает основное место в экономике. К таким регионам относятся и те, которые специализируются на добывающих и обрабатывающих производствах, например, Тюменская область и Красноярский край [149].

Основными потребителями воды в промышленности выступают тепловые и атомные электростанции. В связи с этим наиболее высокие показатели водопотребления отмечаются в Ставропольском, Красноярском, Пермском краях, а также в Ленинградской, Ростовской, Кемеровской, Оренбургской, Костромской, Тюменской и Мурманской областях.

Для различных хозяйственных целей, кроме поверхностных вод, в нашей стране используются подземные воды. Ресурсы (запасы) подземных вод делятся на естественные и эксплуатационные. Запасы подземных вод – это количество воды, содержащееся в водоносном горизонте в естественных условиях или поступающее в него в результате проведения водохозяйственных мероприятий. Естественные (называемые также статическими, геологическими, вековыми или ёмкостными) запасы подземных вод характеризуют в объемных единицах общее количество воды в водоносном пласте. Эксплуатационные запасы подземных вод (ресурсы) – это количество воды, которое может добываться в единицу времени из водоносного горизонта рациональным с точки зрения технико-экономического водозабора при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям в течение всего расчетного периода эксплуатации [118].

Изъятие воды из водоносных горизонтов в процессе эксплуатации подземных вод в ряде промышленно развитых районов страны вызывает постоянное снижение их уровня. Вследствие этого наблю-

дается проседание земной поверхности, активизация карстовых процессов, происходит обмеление рек и озер, подпитываемых грунтовыми водами.

Реки. По территории России протекает свыше 2,5 млн. рек. Повсеместное большинство из них (94,9 %) имеют длину 25 км и менее [102]. Реки в России текут преимущественно в меридиональном направлении. Большая часть рек (64 %) выносят воды в Северный Ледовитый океан, 27 % – в Тихий океан. Примерно 95 % от общего числа рек – это водотоки с длиной менее 100 км. Малые реки и ручьи являются важной частью водных систем страны. В их бассейнах проживает около 44 % населения России, а если учитывать только сельские районы, эта цифра достигает 90 %. (рис. 1). Около 80 % суммарного стока рек сбрасывается в моря Северного Ледовитого океана – Баренцево, Белое, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря [33].

Велика межгодовая изменчивость речного стока. Так, на малых реках в засушливых зонах годовые расходы в многоводные годы в 4,5-5 раз больше, а в маловодные годы – в 20-30 раз меньше средней многолетней величины [40].

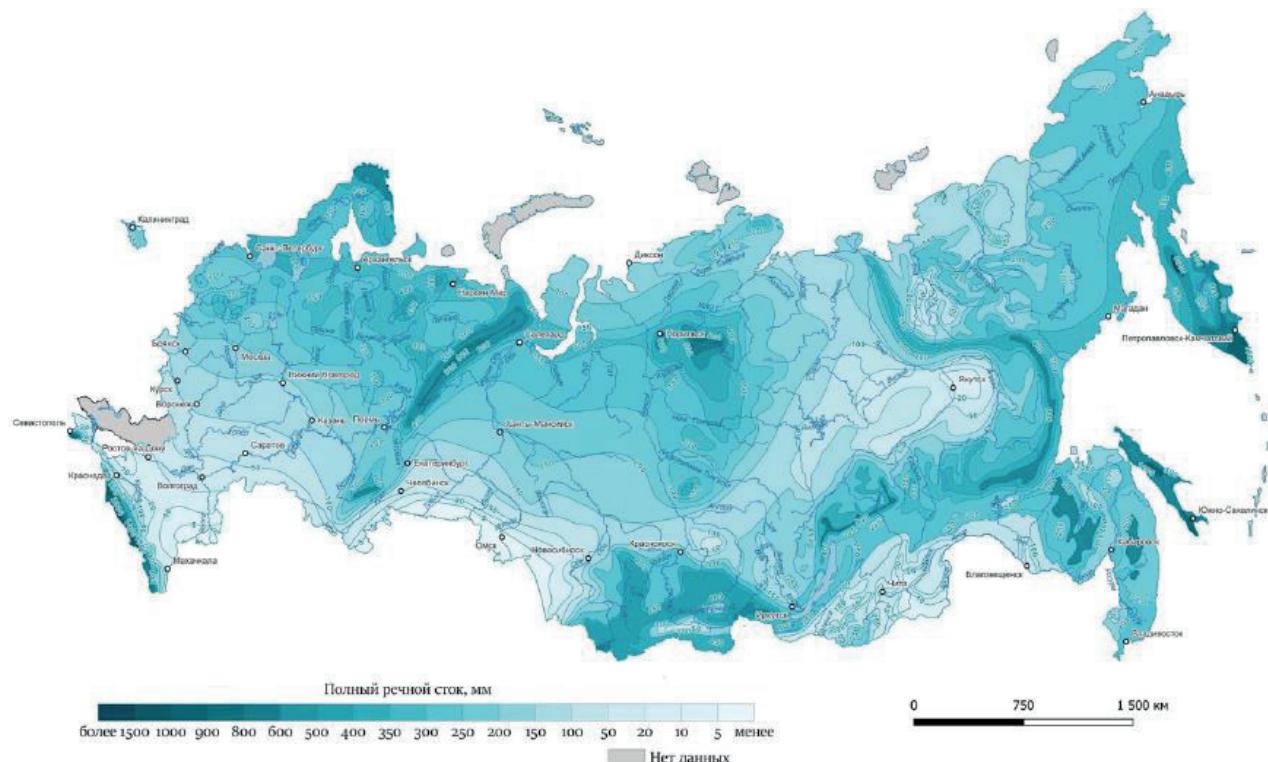


Рис. 1. Карта-схема речного стока [102]

Отмечается существенное загрязнение рек. Основная причина загрязнения – сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод. Крупнейшими загрязнителями, если судить по объему и компонентному составу загрязняющих веществ, являются промышленные предприятия, коммунально-бытовые хозяйства и сельскохозяйственные предприятия. Промышленные и коммунально-бытовые предприятия загрязняют водотоки токсикантами, соединениями биогенных элементов и органическими веществами. Стоки с сельскохозяйственных полей, пастбищ, животноводческих ферм загрязняют водные объекты биогенными и органическими веществами, пестицидами. Следствием поступления загрязняющих веществ в водные объекты является их эвтрофирование [123]. Эвтрофирование – это процесс повышения продуктивности водоемов и водотоков вследствие поступления соединений биогенных элементов.

Озера. На территории России насчитывается более 2,7 млн. озер с суммарной площадью водной поверхности 408,9 тыс. км². Большинство озер (98 %) – небольшие (площадь поверхности менее 1 км²) и мелководные (глубина 1-1,5 м). Крупных озер с площадью более 1 тыс. км² в России 19. Наиболее крупные озера – Байкал, Ладожское, Онежское [102]. Свыше 90 % всех запасов озерных вод сосредоточено в восьми крупнейших озерах России, из них 95,2 % находится в озере Байкал. Средняя озерность России составляет около 4 %, но в зависимости от конкретных географических условий эта величина может существенно меняться. Высокая озерность отмечается на северо-западе страны (до 14 %), Западно-Сибирской равнине (8,6 %), Кольском полуострове (около 6 %) (рис. 2). Воду озер относят к статическим запасам из-за замедленного водообмена [33, 101].

Водохранилища. В России находится в эксплуатации 2 650 водохранилищ емкостью свыше 1 млн. м³. Комплексно используется около 230 водохранилищ, для нужд энергетики – 30, сельского хозяйства – 1 760, водоснабжения – 297, прочих нужд – 586. Крупнейшее по площади водохранилище в России и в Европе – Куйбышевское во-

дохранилище (6,15 тыс. км²). Кроме него в десятку крупнейших входят Братское (5,5 тыс. км²), Рыбинское (4,5 тыс. км²), Волгоградское (3,1 тыс. км²), Красноярское (2,0 тыс. км²) водохранилища [33].



Рис. 2. Озерность территории России, % [33]

Реки Европейской части территории России отличаются высокой степенью зарегулированности. Например, сток реки Волги зарегулирован на 40 %, Дона – на 50 %, Урала – на 68 %. Реки Волга и Кама представляют собой систему водохранилищ. На Волге 9 водохранилищ (Верхневолжское, Иваньковское, Угличское, Рыбинское, Горьковское, Чебоксарское, Куйбышевское, Саратовское, Волгоградское) и на реке Каме – 3 (Камское, Воткинское, Нижнекамское). Куйбышевское водохранилище является основным регулятором волжского стока. Водохранилище обеспечивает режим весеннего попуска в низовья Волги для снабжения водой рыбного и сельского хозяйства Вологодской и Астраханской областей.

Процессы эвтрофирования и загрязнения характерны для Куйбышевского водохранилища. В течение длительного времени водохранилище загрязняется соединениями меди, марганца, алюминия,

превыщены предельно допустимые концентрации содержания органических веществ. Вода в Куйбышевском водохранилище классифицируется как «загрязненная», а в районе Казани — как «грязная», где также зафиксированы превышения допустимых концентраций аммонийного и нитритного азота. [101].

Моря. Территория России омывается водами 12 морей Атлантического, Северного Ледовитого и Тихого океанов, а также внутриматерикового Каспийского моря.

Болота. Площадь земель, занятых болотами в России, составляет 152831,2 тыс. га, или 8,9 % от общей площади страны. Болота распределены неравномерно по территории. Наибольшее количество болот сосредоточено в северо-западных районах европейской части и в центральных районах Западно-Сибирской равнины (рис. 3). Площадь болот колеблется от нескольких гектаров до десятков квадратных километров. Болота аккумулируют около 3000 км³ статических запасов воды. В питании болот участвуют сток с водосборной площади, атмосферные осадки, выпадающие на заболоченную территорию, грунтовые воды [33].

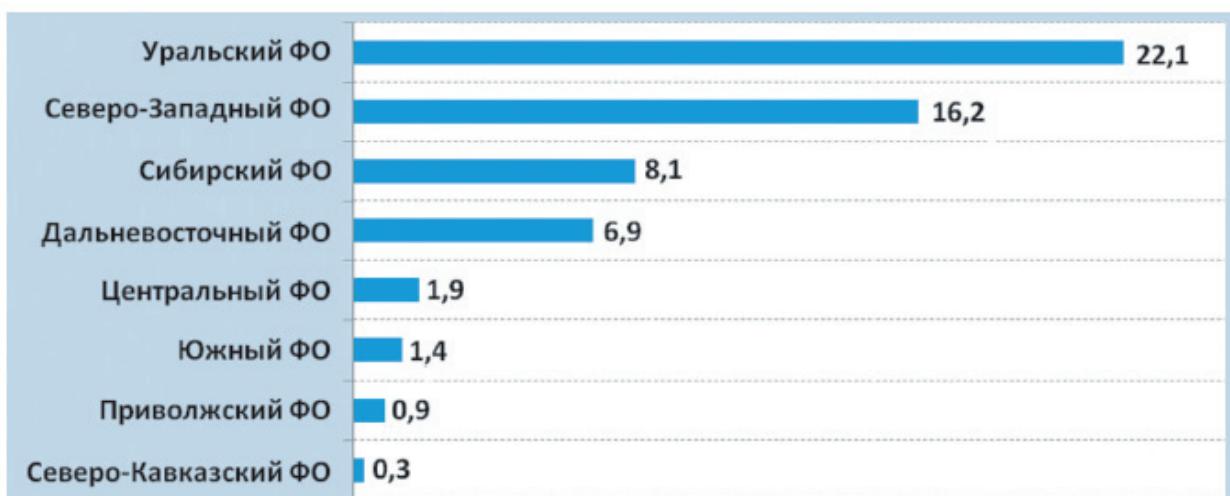


Рис. 3. Доля болот в общей площади федеральных округов, в % [33]

Болота делятся на три группы: низовые, верховые и переходные, в зависимости от водно-минерального питания и видового состава растений.

Экосистемы болот выполняют важнейшие функции: участвуют в формировании гидрологического режима рек, регулируют половодья и паводки, способствуют естественному самоочищению поверхностных вод. Болота выполняют средообразующие функции, являются местами обитания и остановок на пролете для многих видов птиц, произрастания растений.

Болота представляют собой важный природный ресурс с разнообразными возможностями хозяйственного использования. Они являются местом добычи торфа, применяемого в аграрном секторе и энергетике. Кроме того, болота служат накопителями поверхностного стока, что способствует регулированию гидрологического баланса и снижению вероятности подтоплений. Также данные экосистемы ценные как охотничьи угодья благодаря своему высокому биоразнообразию. Чрезмерная эксплуатация болот приводит к негативным последствиям, таким как нарушение гидрологического режима, загрязнение, осушение и др.

Ледники и снежники. Довольно большие запасы пресных вод сосредоточены в ледниках, подземном льде и многолетней мерзлоте – порядка 40 тыс. км³ пресной воды. Ледники покровного оледенения островов в Северном Ледовитом океане составляют более 90 % от общей площади, занятой ледниками, и здесь законсервировано около 35 тыс. км³ статических запасов пресных вод. Ледники, располагающиеся в горных районах, имеют большое значение для питания горных рек. В последние десятилетия, в связи с глобальным изменением климата, наблюдается снижение массы ледников и сокращение толщины льда в Северном Ледовитом океане.

Подземные воды. Пресные подземные воды, наряду с поверхностными водами, являются основой водного фонда России. Прогнозные ресурсы подземных вод на территории России составляют 317 км³/год, обеспеченность – в среднем 6 м³/сутки на человека.

Распределение подземных вод по территории страны неравномерное. Основная часть прогнозных ресурсов (77,2 %) сосредоточена

в четырех федеральных округах: Северо-Западном, Уральском, Сибирском и Дальневосточном, наименьшая – в Южном (2 %). Причины недостаточной водообеспеченности подземными водами: отсутствие или недостаточная обильность водоносных горизонтов, несоответствие нормативным требованиям по качеству и другие [33].

Качество подземных вод формируется под влиянием природных и техногенных факторов. Так, на большей части Южного федерального округа подземные воды имеют повышенную минерализацию, высокое содержание хлоридов, натрия, железа и других компонентов, что связано с природной геохимической обстановкой. В целом подземные воды лучше защищены от попадания загрязняющих веществ, чем поверхностные, поэтому часто используются для питьевого водоснабжения, иногда являясь единственным источником обеспечения населения питьевой водой. Но в последнее время отмечается ухудшение качества подземных вод и сокращение их запасов. В наибольшей степени загрязняются незащищенные подземные воды. Наиболее распространенными загрязнителями подземных вод являются соединения азота, нефтепродукты, сульфаты, хлориды, тяжелые металлы и фенолы. Соединения биогенных элементов, пестициды могут поступать в подземные воды в результате деятельности сельскохозяйственных объектов, а также из мест хранения ядохимикатов, удобрений и отстойников. Нефтепродукты попадают со складов ГСМ, АЗС, нефтепроводов, а также в результате несанкционированных сбросов нефти и нефтепродуктов в заброшенные карьеры, долины рек и другие места. В промышленных районах наблюдается загрязнение подземных вод тяжелыми металлами и другими токсикантами [2].

2.2. Законодательное и нормативно-методическое обеспечение качества воды водных объектов, устойчивого водоснабжения и водной безопасности

В соответствии с Конституцией Российской Федерации каждый человек имеет право на благоприятную окружающую среду, обязан сохранять природу, бережно относиться к природным богатствам, которые являются основой устойчивого развития, жизни и деятельности народов, проживающих на территории Российской Федерации.

Законодательной базой для реализации этих конституционных прав жителей России является Федеральный закон № 7-ФЗ «Закон об охране окружающей среды», принятый в 2002 году [105]. Этот Федеральный закон устанавливает правовые основы государственной политики в области охраны окружающей среды, направленные на сбалансированное решение социально-экономических задач, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов для удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, укрепление правопорядка в сфере охраны окружающей среды и обеспечение экологической безопасности. Федеральный закон регулирует отношения в сфере взаимодействия общества и природы, возникающие при осуществлении экономической (хозяйственной) и иной деятельности, связанной с воздействием на природную среду как важнейшую составляющую окружающей среды, являющуюся основой жизни на Земле, в пределах территории Российской Федерации, а также на континентальном шельфе и в исключительной экономической зоне Российской Федерации [105].

Законодательством России также предусмотрен контроль за использованием природных ресурсов (недр, земельных ресурсов, водных ресурсов, растительного и животного мира) и контроль в области охраны природы, или экологический контроль. Контроль за использованием природных ресурсов, и охрана окружающей среды тесно связаны между собой. Это особенно заметно при использовании и

охране вод, в том числе рек, озер и других водоемов. И если Федеральный закон «Об охране окружающей среды» создает правовые основы государственной политики в области охраны окружающей среды в целом, то в отношении использования и охраны водных ресурсов был подготовлен и принят в 2006 году Федеральный закон № 74 «Водный кодекс Российской Федерации» [20]. Таким образом, Водный кодекс Российской Федерации является законодательным актом высшего уровня, который определяет основные средства, используемые государством для регулирования использования и охраны водных ресурсов.

Водный кодекс России устанавливает основные принципы, на которых основывается водное законодательство, дает определение основным понятиям, определяет права собственности, пользования или прекращения права пользования водными объектами, устанавливает порядок предоставления водных объектов или их частей в пользование на основании заключения договоров водопользования, порядок взимания платы за пользование водным объектом. Кроме того, есть главы, посвященные управлению в области использования и охраны водных объектов, полномочиям органов государственной власти разных уровней в области водных отношений, их регулированию и мониторингу состояния водных объектов. Отдельные главы посвящены охране водных объектов и определена ответственность за нарушение водного законодательства.

Водное законодательство России, помимо Водного кодекса, включает ряд других федеральных законов и принимаемых в соответствии с ними законов субъектов Российской Федерации, которые регулируют отношения по использованию и охране водных ресурсов.

Таким образом, цель водного законодательства заключается в регулировании взаимоотношений по использованию и охране водных объектов. Использование водных объектов для обеспечения питьевой водой и нужд бытового хозяйства имеет первостепенное значение. Все пользователи обязаны по закону снижать объемы забора и потерь

воды, предотвращая загрязнение, засорение и истощение водных источников. Сброс сточных вод в водоемы запрещен, если они относятся к категории особо охраняемых, содержат природные лечебные ресурсы, расположены в районах массового отдыха людей или курортных территориях, а также являются местами нереста и зимовки ценных пород рыбы и тому подобное.

Водные объекты (природные или искусственные водоемы и водотоки) могут быть использованы для питьевого и хозяйствственно-бытового водоснабжения, сброса сточных вод, производства электрической энергии и других целей. Они предоставляются в пользование физическим и юридическим лицам на основе договоров водопользования. Пользование водными ресурсами является платным. Водопользователи обязаны осуществлять мероприятия по охране водных объектов, предотвращению их загрязнения, засорения и истощения вод.

При проектировании, размещении, строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений и при внедрении новых технологических процессов должно учитываться их влияние на состояние водных объектов, а также соблюдаться нормативы допустимого воздействия.

Водным кодексом запрещается:

- проектирование прямоточных систем технического водоснабжения;
- сброс в водные объекты сточных вод, не подвергшихся санитарной очистке и обезвреживанию;
- изъятие водных ресурсов в объеме, оказывающем негативное воздействие на водный объект;
- сброс в водные объекты сточных вод, в которых содержатся возбудители инфекционных заболеваний, а также вредные вещества, для которых не установлены нормативы предельно допустимых концентраций [20].

В целях защиты водных ресурсов от загрязнения и истощения устанавливаются водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы. В границах водоохранных зон запрещаются [20, ст. 65]:

- использование сточных вод для удобрения почв;
- размещение кладбищ, скотомогильников, мест захоронения отходов производства и потребления, радиоактивных, химических, взрывчатых, токсичных, отравляющих и ядовитых веществ;
- осуществление авиационных мер по борьбе с вредителями и болезнями растений;
- движение и стоянка транспортных средств (кроме специальных транспортных средств), за исключением их движения по дорогам и стоянки на дорогах и в специально оборудованных местах, имеющих твердое покрытие.

В водоохраных зонах допускаются строительство и эксплуатация объектов, оборудованных сооружениями, обеспечивающими охрану водных объектов от негативного воздействия.

В границах прибрежных защитных полос, кроме того, запрещаются:

- распашка земель;
- размещение отвалов размываемых грунтов;
- выпас сельскохозяйственных животных и организация для них летних лагерей, ванн.

Ширина водоохранной зоны рек или ручьев устанавливается от их истока для рек или ручьев протяженностью:

- до десяти километров – в размере пятидесяти метров;
- от десяти до пятидесяти километров – в размере ста метров;
- от пятидесяти километров и более – в размере двухсот метров.

Ширина водоохранной зоны озера или водохранилища устанавливается в размере пятидесяти метров [20].

Поддержание в надлежащем состоянии водоохраных зон и прибрежных защитных полос возлагается на водопользователей. Собственники земель и землепользователи, на землях которых находятся водоохраные зоны и прибрежные защитные полосы, обязаны соблюдать установленный режим использования этих зон и полос.

На основании п. 4 ст. 15 Федерального закона «Об охране окружающей среды», «юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие хозяйственную и иную деятельность, оказывающую негативное воздействие на окружающую среду, обязаны планировать, разрабатывать и осуществлять мероприятия по охране окружающей среды...» [105]. Все водопользователи должны иметь План мероприятий по охране и рациональному использованию водных ресурсов.

Все водопользователи разрабатывают планы ликвидации аварий, содержащие указания по оповещению заинтересованных служб и организаций, перечень сооружений и территорий, подлежащих особой защите от загрязнения (водозаборы, пляжи и др.), порядок действий при возникновении аварийных ситуаций, перечень требуемых технических средств, способ сбора и удаления загрязняющих веществ, а также режим водопользования в случае аварийного загрязнения водного объекта [20].

Водный кодекс РФ запрещает вводить в эксплуатацию: любые объекты, которые не оборудованы очистными сооружениями и устройствами, предотвращающими засорение, истощение и загрязнение водных объектов; сбросные и водосборные сооружения, а также гидротехнические сооружения (ГТС) без рыбозащитных устройств; объекты промышленности, сельского хозяйства и другие комплексы, которые не имеют санитарно-защитных зон; оросительные, обводнительные и осушительные системы, водохранилища, плотины и каналы до завершения мероприятий, которые предотвращают их вредное воздействие на водные объекты [20].

Для того чтобы использовать водные объекты, водопользователи должны получить лицензию в соответствии с Водным кодексом. Нарушение требований по охране и рациональному использованию водных объектов влечет за собой ограничение, приостановление и даже запрещение эксплуатации хозяйственных и других объектов, оказывающих негативное влияние на состояние водных объектов [56].

Действующий Водный Кодекс РФ предусматривает предоставление водных объектов в пользование:

- на основании договоров водопользования для: забора (изъятия) водных ресурсов из поверхности водных объектов; использования акватории водных объектов, в том числе для рекреационных целей; использования водных объектов без забора (изъятия) водных ресурсов для целей производства электрической энергии;
- на основании решений о предоставлении водных объектов в пользование для: обеспечения обороны страны и безопасности государства; сброса сточных вод и (или) дренажных вод; размещения причалов, судоподъемных и судоремонтных сооружений; размещения стационарных и (или) плавучих платформ и искусственных островов; строительства и размещения гидротехнических сооружений (в том числе мелиоративных систем), мостов, подводных и подземных переходов, а также трубопроводов, подводных линий связи, других линейных объектов, подводных коммуникаций и в некоторых других случаях [20].

Не требуется заключение договора водопользования или принятие решения о предоставлении водного объекта в пользование в случае, если водный объект используется для: судоходства, плавания маломерных судов; осуществления разового взлета, разовой посадки воздушных судов; забора (изъятия) из подземного водного объекта водных ресурсов, в том числе водных ресурсов, содержащих полезные ископаемые и (или) являющихся природными лечебными ресурсами, а также термальных вод; забора (изъятия) водных ресурсов в целях обеспечения пожарной безопасности, а также предотвращения чрезвычайных ситуаций и ликвидации их последствий; забора (изъятия) водных ресурсов для санитарных, экологических и (или) судоходных попусков (сбросов воды); забора (изъятия) водных ресурсов судами в целях обеспечения работы судовых механизмов, устройств и технических средств; воспроизведения водных биологических ресурсов; проведения государственного мониторинга водных объектов

и других природных ресурсов; проведения геологического изучения, а также геофизических, геодезических, картографических, топографических, гидрографических, водолазных работ; рыболовства, рыбоводства, охоты; осуществления традиционного природопользования в местах традиционного проживания коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока РФ; санитарного, карантинного и другого контроля; охраны окружающей среды, в том числе водных объектов; научных, учебных целей; разведки и добычи полезных ископаемых; размещения и строительства трубопроводов, дорог и линий электропередачи на болотах, за исключением болот, отнесенных к водно-болотным угодьям, а также болот, расположенных в поймах рек; полива садовых, огородных, дачных земельных участков, ведения личного подсобного хозяйства, а также водопоя, проведения работ по уходу за сельскохозяйственными животными; купания и удовлетворения иных личных и бытовых нужд граждан (при использовании водных объектов общего пользования, или общедоступных) [20].

Для осуществления заявленных целей, помимо законов, разрабатывается система нормативно-методических документов. В зависимости от области применения их можно разделить на три группы: ГОСТы, СНиПы и СанПиНЫ.

ГОСТы

Использование экологических стандартов необходимо для того, чтобы обеспечивалась единая терминология, методы и правила природопользования. Экологические стандарты в системе стандартизации (ГОСТ) выделены в специальную группу, имеющую порядковый номер 17, и состоят из 10 (0-9) комплексов стандартов и 8 групп.

Комплекс 0 – организационно-методические стандарты в области природопользования и охраны природной среды. Этот комплекс раскрывает и регламентирует управленческую деятельность в области охраны природы (например, ГОСТ 17.0.0.04-90 – экологический паспорт предприятия). Комплекс 1 – стандарты в области охраны и

рационального использования вод (гидросфера). Стандарты этого комплекса включают основные определения по использованию и охране вод, классификацию водных объектов, классификацию водопользования, правила оценки качества воды, общие требования и правила охраны вод, а также некоторые вопросы контроля вод (например, ГОСТ 17.1.1.01-77) и т. д.

Предполагалось, что каждый из комплексов, должен включать следующие группы: группа 0 – основные положения; группа 1 – термины, определения, классификация; группа 2 – показатели качества природных сред; параметры загрязняющих выбросов и сбросов, показатели использования природных ресурсов; группа 3 – правила охраны природы и рационального использования природных ресурсов; группа 4 – методы определения параметров состояния природных объектов и интенсивности хозяйственных воздействий; группа 5 – требования к устройствам контроля изменений состояния окружающей природной среды; группа 6 – требования к устройствам, аппаратам и сооружениям по защите окружающей среды от загрязнений; группа 7 – прочие стандарты.

Стандартизация в области управления природопользованием развивается по следующим направлениям: развитие методов расчета предельно допустимых выбросов и сбросов загрязняющих веществ; разработка норм, правил и методов рационального использования природных ресурсов; обоснование правил ведения работ по использованию природных ресурсов и предотвращению вредного влияния на окружающую среду; разработка требований к устройствам, аппаратам и сооружениям по контролю и защите окружающей среды от загрязнений; установление правил организации территорий и акваторий, обеспечивающих комплексное функционирование природных объектов; определение параметров состояния природных объектов.

СНиПы

Почти все строительные нормы и правила (СНиП) включают положения об охране окружающей среды и рациональном использо-

вании природных ресурсов. В качестве примера можно привести следующие нормативные документы: «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» (СНиП 2.04.02-84), «Канализация. Наружные сети и сооружения» (СНиП 2.04.03-85), «Пожарная безопасность зданий и сооружений» (СНиП 21.01-97) и другие.

СНиПы можно разделить на несколько групп в зависимости от их назначения: общие требования охраны окружающей среды при проектировании и строительстве объектов; нормы и правила по охране и отводу земель; нормы и правила по охране вод и предотвращению вредного воздействия на них при строительстве объектов; нормы и правила по охране атмосферного воздуха и предотвращению вредных физических воздействий на него при строительстве объектов; требования охраны окружающей среды при строительстве транспортных сооружений; нормы и правила по рациональному использованию трудовых и природных ресурсов, утилизации, переработке, обезвреживанию и захоронению токсичных отходов.

СанПиНы

Министерство здравоохранения России совместно с органами санитарного надзора разрабатывает санитарные правила и нормы (СанПиН). Эти документы устанавливают стандарты безопасности и качества окружающей среды для здоровья человека, а также определяют условия, необходимые для поддержания комфортной жизни. Эти правила обязательны для исполнения всеми государственными учреждениями, общественными организациями, предприятиями и другими структурами вне зависимости от формы собственности и ведомственной принадлежности. Санитарные правила и нормы могут быть федеральными, территориальными для субъектов федерации и местными.

Санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы регламентируют: общие требования к среде обитания; общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны и воздуху в населённых пунктах; требования к охране поверхностных вод от загрязнения и нормированию сбросов загрязняющих веществ в водные объ-

екты; требования к санитарному состоянию почв; нормы физических воздействий (шум, вибрация, ультразвук, инфразвук, электрические и магнитные поля, радиационные и тепловые излучения) на атмосферный воздух.

За нарушение природоохранного законодательства, стандартов, строительных норм и правил, а также санитарных требований и гигиенических нормативов предусмотрена различная ответственность для виновных лиц.

Государственный водный реестр

Ключевую роль в охране водных ресурсов играет государственный учет поверхностных и подземных вод. Он осуществляется для текущего контроля, перспективного планирования и эффективного использования водных ресурсов, а также для их восстановления и защиты. Основой этого учета служат данные государственного мониторинга и информация, предоставляемая пользователями воды. Собранные сведения о водных объектах, водных ресурсах, их состоянии, качестве, использовании, а также о водопользователях вносятся в водный реестр.

Государственный водный реестр – это систематизированный свод документированных сведений о водных объектах, находящихся в федеральной собственности, собственности субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, физических и юридических лиц, и их использовании; о речных бассейнах, о бассейновых округах. Государственный водный реестр ведет государственную регистрацию договоров водопользования, решений о передаче водных объектов в пользование, передачи прав и обязательств по этим договорам, а также прекращение действия таких договоров [20].

Ведение Государственного водного реестра осуществляется Федеральным агентством водных ресурсов и территориальными органами агентства (Бассейновые водные управление (БВУ) – территориальные органы Федерального агентства водных ресурсов межрегионального уровня). БВУ осуществляют функции по оказанию государ-

ственных услуг и управлению федеральным имуществом в сфере водных ресурсов в регионах России.

Водный реестр состоит из трех разделов:

«Водные объекты и водные ресурсы»;

«Водопользование»;

«Инфраструктура на водных объектах».

Раздел "Водные объекты и водные ресурсы" реестра содержит информацию о: бассейновых округах, речных бассейнах, водных объектах, расположенных в границах речных бассейнов, в том числе об особенностях режима водных объектов, их физико-географических, морфометрических и других особенностях.

Раздел «Водопользование» реестра содержит сведения о: водохозяйственных участках, водоохраных зонах и прибрежных защитных полосах, а также других зонах с особыми условиями их использования; об использовании водных объектов, в том числе о водопотреблении и водоотведении; о договорах водопользования, в том числе об их государственной регистрации, переходе прав и обязанностей по договорам водопользования, а также о прекращении указанных договоров; о решениях о предоставлении водных объектов в пользование, в том числе об их государственной регистрации; об иных документах, на основании которых возникает право собственности на водные объекты или право пользования водными объектами.

Раздел «Инфраструктура на водных объектах» реестра содержит сведения о: водохозяйственных системах, гидротехнических и иных сооружениях, расположенных на водных объектах.

Каждый раздел реестра делится на подразделы, предназначенные для упорядочивания информации. Форма реестра, правила внесения в него данных, а также процедура регистрации утверждаются Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации. В настоящее время создана автоматизированная информационная система «Государственный водный реестр» (АИС ГВР). Она функционирует на всех уровнях управления Федерального агентства

водных ресурсов, включая его территориальные органы и подведомственные организации. Основная задача системы АИС ГВР – собирать, хранить и анализировать данные о водных объектах, водопользователях и инфраструктуре на воде. Система также обеспечивает архивирование исторической информации о водных объектах и пользователях. Благодаря этому реестру удается не просто собирать и структурировать разнообразные сведения, но и проводить аналитические исследования водных объектов, а также планировать хозяйственную деятельность в этой сфере.

Источники данных для водного реестра – это информация, поступающая от различных министерств и служб. Орган исполнительной власти региона или муниципалитет после предоставления водного объекта в пользование отправляют в территориальное отделение Федерального агентства водных ресурсов следующие документы для регистрации в реестре: договоры водопользования, решения о передаче прав по ним, решение о предоставлении водного объекта в пользование, решение о прекращении права пользования им, копию документа о прекращении договора. Регистрация подтверждается отметкой на документах. Информация о решениях правительства Российской Федерации о предоставлении водных объектов для обороны и безопасности заносится непосредственно Агентством. Данные госмониторинга водных объектов также подлежат внесению в реестр. Реестр ведётся на бумажных и электронных носителях.

Предоставление информации из водного реестра и копий соответствующих документов регулируется административным регламентом. Электронные сведения доступны бесплатно через сайт Федерального агентства водных ресурсов или его территориальных подразделений. Однако за копии документов взимается плата.

До начала использования водных объектов водопользователи должны оформить право на водопользование. Право на водопользование – это официальные документы, дающие лицу разрешение использовать водные объекты в бытовых или хозяйственных нуждах.

Чтобы получить такое разрешение, необходимо подать заявление в соответствующий орган власти, занимающийся водными отношениями. Право на водопользование может быть оформлено разными способами: через договоры водопользования, решения о предоставлении акваторий в пользование, либо возникать автоматически в соответствии с требованиями Водного кодекса РФ без необходимости получения специальных разрешений. Договоры водопользования обычно заключают при заборе воды из водоема. Основные пользователи по таким договорам – это, как правило, водоканалы и крупные промышленные предприятия, расположенные вблизи водоемов. Именно эти организации платят наибольшие суммы за пользование водными ресурсами. Кроме того, договоры водопользования необходимы для долгосрочного размещения плавучих средств на акваториях, например, для открытия водного ресторана или лодочной станции. Такие договоры часто заключаются по итогам аукционов.

Решение о предоставлении водного объекта в пользование охватывает более широкий спектр деятельности, такой как работы на дне водоема, забор воды для полива сельскохозяйственных угодий, строительство портовых сооружений и другие подобные виды работ. В отличие от договоров водопользования, получение такого разрешения не требует проведения аукциона. Решение выдает уполномоченный орган исполнительной власти в области водных отношений.

Право на пользование водными объектами можно получить только для тех из них, которые включены в водный реестр. После получения права на водопользование необходимо регулярно предоставлять отчеты о соблюдении условий использования водного объекта. Ухудшение показателей качества воды может стать причиной лишения права на водопользование.

Водный кодекс предусматривает множество ситуаций, когда для использования водных объектов не требуется специальное разрешение. К таким случаям относится спортивная рыбалка, полив садового участка, купание и другие бытовые нужды, не связанные с коммерче-

ской деятельностью. Однако важно помнить, что такие права граждан не должны ущемлять интересы других пользователей воды. Например, вокруг гидроэлектростанций создаются специальные охранные зоны, где любое водопользование возможно только с согласия собственника (оператора) ГЭС.

3. ВОДНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РОССИИ

3.1. Пути обеспечения водной безопасности и устойчивого водоснабжения

Россия обладает значительными запасами пресной воды. Однако водные ресурсы распределены по территории страны крайне неравномерно. В освоенных районах европейской части, где проживает свыше 70 % населения и сконцентрировано более 70 % промышленного потенциала, находится лишь около 10 % всех водных ресурсов. В некоторых регионах страны периодически возникает нехватка воды, особенно в засушливые годы [167]. Для обеспечения стабильного водоснабжения были построены водохранилища, пруды и каналы, позволяющие аккумулировать и перераспределять водные ресурсы. Для защиты населённых пунктов, объектов экономики и сельскохозяйственных угодий от разрушительного действия вод построено более десяти тысяч километров дамб и других инженерных сооружений [18].

Водохозяйственная система России успешно удовлетворяет текущие потребности в воде. Тем не менее, будущее развитие экономики потребует увеличения объёмов водных ресурсов надлежащего качества, необходимых для удовлетворения потребностей в питьевой воде, а также для использования в промышленности, сельском хозяйстве, энергетике.

В 2008 году в России была принята Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года, утверждённая распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 года № 1662-р. Стратегия определила ключевые направления развития водо-

хозяйственного комплекса, направленные на обеспечение устойчивого и безопасного водопользования, охрану водных объектов и защиту от неблагоприятного воздействия вод.

В соответствии с Водной стратегией России, основными проблемами, связанными с обеспечением водными ресурсами, являются: нерациональное использование водных ресурсов; наличие в отдельных регионах Российской Федерации дефицита водных ресурсов; несоответствие качества питьевой воды, потребляемой значительной частью населения, гигиеническим нормативам, а также ограниченный уровень доступа населения к централизованным системам водоснабжения. Рассмотрим каждую из этих проблем подробнее [18].

Нерациональное использование водных ресурсов

Водоемкость валового внутреннего продукта (ВВП) Российской Федерации составляет примерно $2,4 \text{ м}^3$ на тысячу рублей, что существенно превышает аналогичный показатель в других странах с развитой экономикой.

Основные причины неэффективного использования водных ресурсов следующие: использование устаревших водоёмких производственных технологий; высокий уровень утечек воды во время транспортировки; недостаточное оснащение водозаборных станций системами учёта; отсутствие действенных экономических стимулов для бизнеса, способствующих внедрению современных водосберегающих технологий, систем оборотного и повторного водоснабжения, а также снижению непроизводительных потерь воды.

Ежегодный объем потерь воды при её транспортировке в России достигает 8 км^3 . При использовании воды для орошения полей ежегодно теряется более $4,8 \text{ км}^3$ из-за низкой технической оснащённости и высокого износа мелиоративных систем и гидротехнических сооружений. Около 3 км^3 воды, или более 20 % всего объёма воды, подаваемой в систему центрального водоснабжения, теряется из-за неудовлетворительного технического состояния водопроводных сетей [22].

Основные проблемы эксплуатации подземных вод включают: недостаточное освоение запасов подземных вод (средний показатель по стране составляет всего 33 %); неиспользование почти половины учтённых государством месторождений пресных подземных вод; добыча значительного объёма подземных вод на участках недр без утверждённого запаса; истощение источников подземных вод из-за нарушений правил их эксплуатации и неконтролируемой добычи на неразграниченной территории [8, 116].

Исходя из сформулированных проблем, можно наметить и пути их решения. Для повышения эффективности использования воды необходимо принять ряд мер. Среди них – снижение удельного расхода воды, уменьшение ненужных потерь и применение водосберегающих технологий. Важно сократить потребление воды в регионах с её дефицитом, поскольку это способствует поддержанию стабильности водных экосистем. Когда уменьшается общий забор воды, снижается объем сточных вод и загрязняющих веществ, попадающих в водоёмы. Устранение утечек в водопроводных сетях предотвращает подтопления и загрязнение подземных вод. Обновление и модернизация государственных систем водоснабжения позволяют уменьшить потери при транспортировке воды.

Существенной экономии воды в быту можно добиться путём установки приборов учёта воды в домах.

Наибольший эффект дадут экономические методы стимулирования эффективного использования воды, например: прогрессивная шкала оплаты за превышение установленных лимитов водопотребления; льготные тарифы на оплату воды для систем оборотного и повторного водоснабжения; льготное кредитование проектов по строительству, реконструкции и модернизации систем оборотного водоснабжения, ирригационных систем, а также внедрению новых маловодных технологий [18].

Дефицит водных ресурсов

Принята в 2015 г. Стратегия национальной безопасности России называет дефицит воды в качестве одного из вызовов наряду с изменением климата [74].

В некоторых регионах России в маловодные периоды возникает дефицит водных ресурсов из-за неравномерного распределения водных ресурсов, ограниченности возможностей водохранилищ к аккумуляции и перераспределению стока, а также нерационального использования водных ресурсов.

Дефицит водных ресурсов в ряде регионов, включая Южный Урал, юг Сибири и Северный Кавказ, может быть смягчён за счет уменьшения потерь воды в системах водоснабжения и мелиорации, а также внедрения водосберегающих технологий полива [161].

Дефицит водных ресурсов иногда бывает вызван не комплексным использованием водных ресурсов. Так, например, в низовьях Волги сложились серьезные разногласия между водопользователями, поэтому необходима системная перестройка водохозяйственного комплекса для оптимизации использования водных ресурсов. Это касается водоснабжения, сельского хозяйства, рыбного хозяйства, сокращения холостых сбросов и потерь энергии на ГЭС Волжско-Камского каскада, а также сохранения экосистем Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги. Похожие проблемы наблюдаются в бассейнах рек Кубани и Терека.

В регионах России, где нехватка воды обусловлена природными условиями и не может быть восполнена за счет рационального и комплексного использования водных ресурсов, необходимо строительство новых водохранилищ для питьевого водоснабжения, реконструкция существующих водохозяйственных систем, прокладка групповых водопроводов, разведка и освоение запасов подземных вод, а также другие меры, направленные на повышение доступности водных ресурсов [18].

Несоответствие качества питьевой воды, потребляемой значительной частью населения, гигиеническим нормативам

Централизованным водоснабжением в России охвачено примерно 109 миллионов человек, что составляет около 75 % от общей численности населения страны. В крупных и средних городах практически все население пользуется такими системами, тогда как в малых городах, поселках и сельской местности этот показатель достигает лишь 60%. Уровень доступа к централизованному водоснабжению в России ниже, чем в развитых странах, где он колеблется в пределах 90–95 %.

Не более 59 % воды, которая подается в централизованные системы водоснабжения населенных пунктов, проходит через системы водоподготовки, причем в сельских населенных пунктах этот показатель не превышает 20 %. Около 27 % водозаборов из поверхностных источников водоснабжения не располагают необходимым комплексом очистных сооружений, включая 16 %, не оборудованных обеззараживающими установками. Таким образом, каждому второму жителю России приходится употреблять для питья воду, не отвечающую ряду установленных стандартов, почти трети населения страны доступны источники водоснабжения без надлежащей водоподготовки, а жители некоторых регионов страдают от нехватки питьевой воды и отсутствия соответствующих санитарно-бытовых условий. Воду, не соответствующую санитарно-химическим и микробиологическим нормам, потребляют жители нескольких регионов России, включая Республику Ингушетию, Республику Калмыкию, Приморский край, Архангельскую область и другие.

Развитие жилищно-коммунального комплекса, направленное на обеспечение надежного доступа россиян к чистой питьевой воде, считается задачей общегосударственного масштаба. Необходимо устранить причины низкого качества воды и адаптировать технологии водоснабжения для разных типов населенных пунктов [18].

Водная стратегия России, принятая в 2008 году, закончила свое действие в 2020 году, поэтому сейчас можно оценить результаты и подвести некоторые итоги эффективности ее реализации.

Основным инструментом для выполнения целей и задач Водной стратегии были федеральные целевые программы. Важнейшая роль в использовании и охране водных ресурсов принадлежала программе «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах». В федеральной целевой программе были предусмотрены конкретные мероприятия по управлению и защите водных ресурсов, соответствующие целям Водной стратегии. Программа была реализована на трех уровнях: федеральном, бассейновом и региональном, что позволило решать как местные проблемы, так и более масштабные задачи, касающиеся целых водных бассейнов. Например, схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) объединяли мероприятия в рамках одного речного бассейна, а региональные программы по развитию водохозяйственного комплекса работали в пределах отдельных регионов [85].

В 2023 году в Правительство России был представлен проект Водной стратегии России на период до 2030 года. Он пока ещё не утверждён.

До 2024 г. в России действовали Национальные проекты России. В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [98] Правительство разработало национальные проекты по 12 направлениям социально-экономического развития, в том числе и проект «Экология».

В соответствии с национальным проектом «Экология», в отношении водных ресурсов, правительство должно обеспечить: повышение качества питьевой воды для населения, особенно в населённых пунктах, не оборудованных современными системами централизованного водоснабжения; экологическое оздоровление водных объектов, включая реку Волгу, и сохранение уникальных водных систем,

таких как озёра Байкал и Телецкое. Для этого должны быть решены следующие задачи: повышение качества питьевой воды путём модернизации систем водоснабжения с применением передовых технологий водоподготовки; экологическая реабилитация водных объектов, включая проект по сокращению в три раза доли загрязнённых сточных вод, отводимых в реку Волгу, поддержание устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса Нижней Волги и сохранение экосистемы Волго-Ахтубинской поймы; сохранение уникальных водных объектов, включая проекты по сохранению озера Байкал, а также мероприятия по очистке от мусора берегов и прибрежной акватории озёр Байкал, Телецкое, Ладожское, Онежское и рек Волги, Дона, Оби, Енисея, Амура, Урала, Печоры.

В 2024 году завершилось действие национальных проектов, однако, несмотря на заявление о продолжении работы в этих направлениях, уже можно подводить некоторые итоги.

Одним из ключевых и актуальных федеральных проектов стал проект «Оздоровление Волги», нацеленный на уменьшение объёмов загрязнённых сточных вод, попадающих в эту реку. В выполнении проекта участвовало 16 регионов, где проводились широкомасштабные работы по возведению новых и обновлению существующих очистных сооружений и объектов водоотведения. За прошедшие пять лет введено в строй 104 объекта водоотведения. В результате сброс загрязнённых стоков в Волгу снизился с 3,17 до 1,7 км³ в год. Среди самых значительных очистных сооружений, запущенных за этот период, – система ультрафиолетовой дезинфекции сточных вод в Самаре, система дополнительной очистки сточных вод в Вологодской области, городские очистные сооружения в Подольске Московской области, а также Люберецкие очистные сооружения в Москве. В 2024 году планируется завершение реконструкции Нижегородской станции аэрации, обеспечивающей очистку сточных вод Нижнего Новгорода и города Бор. Замена и обновление оборудования позволят повысить качество очистки сточных вод на 30 %. Также планируется

окончание строительства сооружений биологической очистки на острове Голодный в Волгограде, реконструкция биологических очистных сооружений в Казани и Щёлковских межрайонных очистных сооружений в Московской области.

3.2. Защита территорий и населения от негативного воздействия вод

Одной из важнейших задач в сфере управления водными ресурсами является защита населения и территорий от негативных последствий, связанных с воздействием вод. Естественные колебания показателей гидрологического режима водных объектов создают риски неблагоприятного влияния воды на население и объекты экономики.

Российская Федерация относится к странам с умеренными гидрологическими рисками: менее 2,5 % её территории подвержено негативному влиянию воды. Общая площадь паводкоопасных зон составляет примерно 400 000 км², при этом ежегодно затапливается до 50 000 км². Наводнениям подвержены отдельные районы 746 городов, включая свыше 40 крупных, а также тысячи населённых пунктов, где проживает около 4,6 миллиона человек. Помимо этого, затоплению подвергаются хозяйствственные объекты и более 7 миллионов гектаров сельскохозяйственных угодий. Паводкоопасные районы охватывают значительную часть территории России, включая регионы на Дальнем Востоке, Урале, Кавказе и Сибири.

В последние годы ежегодный ущерб от наводнений составляет около 2 миллиардов рублей. Основными причинами возникновения ущерба являются застройка паводкоопасных территорий, в том числе нижних бьефов гидроузлов, недостаточная обеспеченность поселений и объектов экономики сооружениями инженерной защиты, а также несоответствие современным требованиям прогнозирования наступления неблагоприятных гидрологических ситуаций [103].

Абрация берегов водохранилищ представляет собой серьёзную проблему. Это процесс механического разрушения и вымывания горных пород в береговой зоне крупных водохранилищ, озёр, морей и океанов, вызванный воздействием волн и прибоя. В России в зонах активной абразии расположено около 450 населённых пунктов. Основными последствиями этого явления становятся утрата значительных сельскохозяйственных и лесных территорий, а также увеличение риска оползней на застроенных участках.

Одним из самых распространённых и продолжительных проявлений негативного воздействия вод на территории России является подтопление жилых зон и сельскохозяйственных угодий, которое влечёт за собой значительные экономические убытки. Основными техногенными факторами подтопления являются повышение уровня грунтовых вод вследствие создания водохранилищ, утечки из коммунальных и технических систем, отсутствие ливневой канализации, а также бесконтрольные изменения ландшафта.

Глобальные изменения климата увеличивают вероятность наступления наводнений и других опасных гидрологических явлений, увеличивая частоту их повторения. Этот процесс усугубляется интенсивным антропогенным освоением территорий. Для снижения рисков требуется развитие инженерной инфраструктуры, обеспечивающей защиту населения и объектов экономики.

Современные методы снижения ущерба от наводнений и других гидрологических явлений основаны на комплексной защите территорий вместо защиты отдельных объектов. В зонах, подверженных наибольшему риску, строят дамбы, дренажные системы, укрепляют берега и проводят ремонт уже существующих защитных сооружений [103].

Плотины

Плотина – это сооружение, перекрывающее реку или иной водоток для повышения уровня воды перед ней, создания напора в определённой зоне и формирования водохранилища.

Функции плотины разнообразны: увеличение глубины и подъём уровня воды в верхнем бьефе способствуют судоходству, лесосплаву, а также забору воды для орошения и водоснабжения. Создание напора воды в районе плотины позволяет эффективно преобразовывать энергию потока реки в электроэнергию. Водохранилище обеспечивает регулирование стока, то есть увеличивает расход воды в реке в меженные периоды и уменьшает максимальный расход в паводок, который способен привести к разрушительным наводнениям.

Плотины и водохранилища оказывают значительное влияние на реки и прилегающие территории. Меняется объём стока рек, температура воды, продолжительность ледостава; затрудняется миграция рыб; затапливаются прибрежные территории в верхнем бьефе; изменяется микроклимат вблизи реки.

Тип и конструкция плотины определяются её размерами, назначением, а также природными условиями и видом основного строительного материала. Чаще всего плотина является основным элементом гидроузла. По назначению различают плотины водохранилищные и водоподъёмные (предназначенные лишь для повышения уровня верхнего бьефа). По высоте напора выделяют низконапорные (до 10 м), средненапорные (от 10 до 40 м) и высоконапорные (свыше 40 м).

В составе гидроузлов плотины выполняют различные функции. Они могут быть глухими, служащими барьером для течения воды; водосливными, предназначенными для сброса избытков воды через поверхностные или глубинные отверстия; станционными, оборудованными водозаборными системами и водоводами для подачи воды на турбины ГЭС. В зависимости от используемого материала плотины бывают земляными, каменными, бетонными и деревянными [118].

Земляные плотины строят полностью или частично из грунта с низкой проницаемостью. Если такой грунт укладывается на верховой откос, он формирует экран, а при размещении внутри тела плотины образует ядро. Экран или ядро позволяют возводить оставшуюся часть плотины из проницаемого грунта или каменных материалов,

что характерно для каменно-земляных плотин. Для отвода воды, просочившейся через тело или основание плотины, у её основания на низовом откосе обустраивают дренаж. Чтобы защитить верховой откос от размыва волнами, его укрепляют бетонными плитами или каменной наброской [12].

Земляные плотины обычно строят из таких грунтов, как песок, суглинок или глина, и они имеют поперечное сечение трапецидальной формы или близкой к ней. Как правило, такие плотины делают глухими, то есть без перелива воды через гребень. Это упрощает их строительство и эксплуатацию, что делает их широко распространёнными. Такие плотины можно возводить на любом основании, за исключением сильно разжиженных илистых грунтов [139].

При строительстве насыпной земляной плотины грунт добывается в карьерах с помощью экскаваторов, затем транспортируется самосвалами к месту строительства, где его равномерно распределяют, выравнивают бульдозерами и послойно уплотняют катками. Для возведения намывной плотины используют гидромониторы или землесосы: грунт извлекают, транспортируют в виде пульпы по трубопроводам и распределяют по месту укладки. После отвода воды грунт оседает и уплотняется естественным образом.

При подготовке основания плотины в русле реки участок ограждают временными перемычками, а поток воды направляют по специально созданным водоводам, которые закрываются после завершения строительства [118].

Каменная плотина представляет собой сооружение, основные конструктивные части которого выполнены из каменных материалов без использования связующих веществ. В современном гидротехническом строительстве различают несколько видов каменных плотин: каменно-набросные (насыпные), полунабросные и из каменной сухой кладки. Такие плотины чаще всего делают глухими, пропуская воду через водосбросы, расположенные в берегах, реже – через специальные сооружения в теле плотины [126].

Основными материалами для строительства тела каменных плотин служат камень, галька, гравий и щебень. Для наброски наилучшими считаются изверженные породы, такие как гранит, базальт, сиенит, диорит, а из осадочных – плотные известняки, доломиты и кварциты. В качестве основания для таких плотин подходят почти все виды скальных пород, а также нескальные породы, включая крупнозернистые пески, гравелисто-галечные грунты, плотные суглинки и глины.

Экономичность каменных плотин обеспечивается за счёт возможности использования местных материалов, что способствует их широкому применению в разных регионах. В каменной (набросной) плотине водонепроницаемый элемент, расположенный в центре или на поверхности (экран или диафрагма), может изготавливаться из различных материалов: железобетона, асфальта, дерева, металла или полимеров. Низкая проницаемость обязательна как для основания, так и для самого тела плотины. Камень укладывают слоями значительной высоты, что характерно для каменно-набросных и каменно-земляных плотин [118].

Основным материалом для современных бетонных плотин, особенно гравитационных, является гидротехнический бетон. Одно из главных требований при их строительстве – снижение фильтрации воды через основание. Для этого вблизи верхней грани высокой бетонной плотины создаётся противофильтрационная завеса. На остальной части основания устраивают дренаж, который снижает давление воды на подошву плотины и увеличивает её устойчивость.

Чтобы предотвратить образование трещин, вызванных температурными колебаниями, гравитационные и контрфорсные плотины разделяют на короткие секции, швы между которыми герметизируют водонепроницаемыми уплотнителями. Для предотвращения трещин, связанных с усадкой бетона и температурными напряжениями, бетонирование выполняют блоками определённых размеров. Кроме того, для охлаждения бетонной смеси и уже уложенного бетона применяют

циркуляцию охлаждающей жидкости, что помогает уменьшить температуру в процессе твердения.

Бетонная плотина в русле реки возводится, как правило, в два этапа, при этом котлован защищается временными перемычками. На первом этапе река течёт по незастроенной части русла, а на втором – через специально оставленные отверстия в плотине (прораны), которые закрывают после завершения всех строительных работ. В случае узкого русла строительство плотины может быть выполнено за один этап с временным отводом воды в береговые водоводы.

Одной из распространённых конструкций является низконапорная бетонная водосливная плотина, предназначенная для пропуска больших объёмов воды и построенная на нескальном основании. Она включает водосливные пролёты, представляющие собой специальные бетонные конструкции – флютбеты и быки, – защищённые гидротехническими затворами для регулирования потока воды. За водосливами устраивают укрепление русла, называемое водобоем, которое иногда выполняют в виде углубления, напоминающего колодец. Далее укрепление продолжается более лёгкой конструкцией – рисбермой. Под водобоем размещается система дренажа для отвода воды. Например, Саратовская ГЭС, которая отличается невысоким напором, не превышающим 12 метров (максимальный статистический напор – 15 метров). Это самая низконапорная гидростанция на Волжско-Камском каскаде. Здесь используются особые низкооборотные турбины (скорость вращения – 50 оборотов в минуту), которые имеют огромные габариты (диаметр рабочего колеса превышает 10,3 метра) [29].

Водосливная плотина соединяется с берегами или земляными плотинами с помощью массивных опор. Обычно она строится с армированием, а для экономии материала флютбеты и быки могут выполняться в облегчённой ячеистой конструкции с пустотами, заполненными грунтом [118].

В лесных районах часто возводят низконапорные деревянные плотины, выполненные в виде свайных или ряжевых конструкций, обычно с водосливом.

Особым типом водоподпорного сооружения является разборная судоходная плотина. Её строительство осуществляется в летний период: на плоской основе устанавливают стальные фермы, к которым крепятся мосты. На этих мостах размещают затворы простого устройства. Такая плотина поддерживает уровень воды в верхнем бьефе, обеспечивая судоходство и пропуск плотов через шлюз. В период высоких вод затворы и мосты демонтируют, а фермы укладывают на основание, освобождая русло реки для беспрепятственного прохождения судов и плотов [118].

Бетонные плотины обычно делят на три основных типа в зависимости от конструкции и условий эксплуатации, ориентируясь на сопротивление сдвигу: гравитационные, арочные и контрфорсные [136].

Гравитационные бетонные плотины получили широкое распространение благодаря своей простоте конструкции и высокой надёжности. Они являются основой крупнейших гидроэлектростанций мира, таких как «Три ущелья», «Итайпу» и «Гури». Несмотря на кажущуюся простоту, проектирование и строительство таких плотин представляют собой сложный процесс. Их основная особенность – способность выдерживать давление воды за счёт собственной массы, поэтому они изготавливаются из бетона.

Гравитационные бетонные плотины подразделяются на две основные группы: водосбросные плотины на нескальных основаниях и водосбросные плотины на скальных основаниях.

Водосбросные плотины на нескальных основаниях часто строятся на равнинных реках [138]. Основная часть таких сооружений может быть земляной, но земляные плотины непригодны для сброса воды, так как подвержены размыву. Поэтому на не скальных основаниях возводят специальные бетонные водосбросные плотины. Они характеризуются «распластанным» профилем и развитой системой

противофильтрационных устройств. Высота таких плотин может достигать 40–50 метров. В некоторых случаях для экономии бетона в конструкции создают внутренние полости или совмещают водосброс со зданием ГЭС.

Гравитационные плотины на скальных основаниях имеют значительно большие размеры и могут возводиться как на равнинных, так и на горных реках. Их высота может превышать 200 метров. Примером является плотина Гранд Диксенс в Швейцарии (рис. 4), высота которой достигает 285 метров. Идеальная форма для таких плотин – треугольная, как у Гранд Диксенс. Однако профиль часто адаптируют под особенности местности. Например, на Токтогульской ГЭС в Киргизии (рис. 5). Форма плотины была изменена, чтобы уменьшить нагрузку на берега, состоящие из слабых пород [118].



Рис. 4. Плотина Гранд Диксенс (Швейцария) [118]



Рис. 5. Плотина Токтогульской ГЭС (Киргизия) [118]

Основным недостатком гравитационных бетонных плотин является высокий расход цемента, что делает их строительство дорогим. Поэтому для экономии бетона применяются различные методы. Одним из наиболее перспективных решений является использование малоцементных укатанных бетонов [6]. Эти материалы не только позволяют сократить расход цемента, но и ускоряют процесс строительства. Например, значительная часть Бурейской ГЭС, самой высокой гравитационной бетонной плотины России, была построена с использованием таких бетонов.

Кроме того, применяются другие способы экономии бетона, такие как создание полостей внутри плотины – как пустых, так и заполненных различным оборудованием или балластом. Иногда используется заанкеривание плотины в основание. Для высотных гравитационных бетонных плотин также предъявляются строгие требования к качеству основания, и на его подготовку при строительстве уделяется особое внимание.

Арочные плотины работают иначе, чем плотины других типов. Если гравитационные и контрфорсные плотины передают нагрузку на

основание, то арочные перераспределяют её на берега. Главное преимущество арочных плотин – значительная экономия бетона, которая может составлять до 80 % по сравнению с гравитационными плотинами. Однако такие сооружения предъявляют особые требования к берегам: к ширине долины, её форме и качеству пород [94].

Строить такие плотины в широких долинах нецелесообразно. Для оценки эффективности плотины используется коэффициент, который показывает соотношение длины плотины к её высоте (L/H). Наиболее эффективными считаются плотины, где этот коэффициент не превышает 3,5. Однако бывают исключения, как, например, Саяно-Шушенская ГЭС, где этот коэффициент равен 4,56. Арочные плотины также плохо работают в асимметричных долинах, где арка не может эффективно передавать нагрузку. В таких случаях могут быть установлены дополнительные поддерживающие элементы.

В некоторых случаях арочную плотину отделяют от основания швом, чтобы уменьшить напряжение. Кроме того, породы, на которых возводится арка, должны быть очень прочными. Поэтому идеальными местами для арочных плотин являются горные ущелья, где их строят наиболее часто.

Арочные плотины обладают высокой устойчивостью. В экспериментах они разрушались только при нагрузках, в 3–5 раз превышающих расчётные. Примером является плотина Вайонт, которая выдержала мощный оползень, вызвавший перелив воды, при этом плотина практически не пострадала. В России построено несколько арочных плотин: три полностью арочные (Чиркейская (рис. 6), Мигатлинская и Гунибская) и две арочно-гравитационные (Саяно-Шушенская (рис. 7) и Гергебильская) [118].

Контрфорсные плотины считаются одними из самых технически сложных среди всех типов плотин. Как и гравитационные, они передают нагрузку на основание, но делают это с помощью дополнительных подпорных стенок, называемых контрфорсами.



Рис. 6. Плотина Чиркейской ГЭС (Россия) [15]

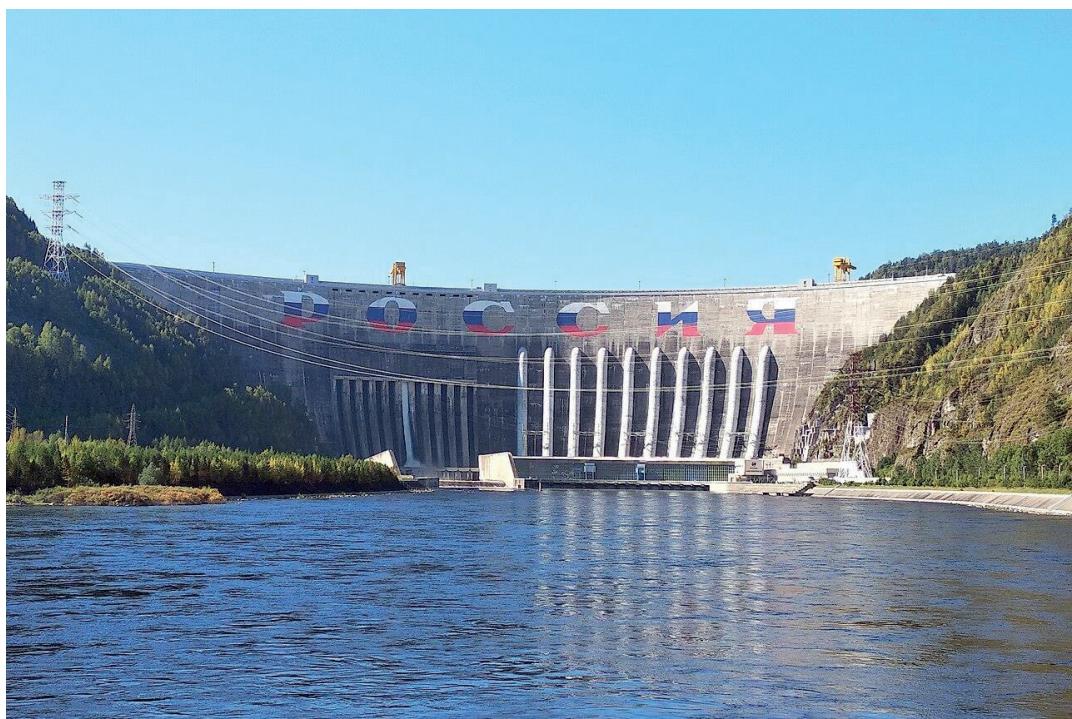


Рис. 7. Плотина Саяно-Шушенской ГЭС (Россия) [15]

Такая конструкция позволяет значительно сократить количество бетона (и, соответственно, стоимость) по сравнению с обычными гра-

витационными плотинами на 20-40 %, а иногда и на 60 %. Однако строительство контрфорсных плотин более сложное, и они предъявляют более высокие требования к качеству грунтов основания. На сегодняшний день в мире построено более 500 контрфорсных плотин различных типов [191].

Все контрфорсные плотины делятся на три типа: массивно-контрфорсные (рис. 8), с плоскими перекрытиями и многоарочные (рис. 9). Массивно-контрфорсные плотины с толстыми контрфорсами, которые расширяются в верхней части, наиболее распространены благодаря относительной простоте строительства, хорошей сейсмостойкости и меньшим требованиям к качеству пород основания. Примером такой плотины является одна из крупнейших ГЭС мира – Итайпу на реке Парана, хотя её плотина состоит из контрфорсной, гравитационной и земляной частей. Единственной ГЭС с контрфорсной плотиной в России является Зейская ГЭС (рис. 8), которая имеет именно массивно-контрфорсную плотину. Основным недостатком массивно-контрфорсных плотин является значительный расход бетона по сравнению с другими типами.

Контрфорсные плотины с плоскими перекрытиями имеют более тонкую, сильно наклоненную напорную плиту, усилия от которой передаются на контрфорсы. Несмотря на большую экономию бетона, такие плотины требуют значительного расхода арматуры, что делает их стоимость довольно высокой, и поэтому в настоящее время такие плотины почти не строят [118].

Многоарочные плотины (рис. 9) считаются наиболее сложными среди контрфорсных, но при этом они также являются самыми экономическими. Напорный фронт таких плотин состоит из нескольких арок, которые передают нагрузки на контрфорсы. Благодаря тому, что арки и контрфорсы могут быть достаточно тонкими, значительно снижается расход бетона, особенно в широких долинах. Однако такие плотины имеют технологические сложности, требуют высококачественных по-

род основания, строгого контроля температурного режима, а также со-
здания водосбросов и обеспечения сейсмостойкости.



Рис. 8. Плотина Зейской ГЭС [113]



Рис. 9. Многоарочная контрфорсная плотина Пенсакола (США) [191]

3.3. Государственное управление использованием и охраной водных ресурсов

Государственное управление в области использования и охраны вод осуществляют Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральное агентство водных ресурсов (Росводресурсы) и Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор).

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации осуществляет нормативно-правовое регулирование водных отношений. Росводресурсы отвечают за предоставление государственных услуг и управление федеральной собственностью. Они также контролируют федеральные водные объекты, заключают договоры о водопользовании и ведут учет водных ресурсов и гидротехнических сооружений. Росприроднадзор следит за использованием воды и охраной водного фонда, а также контролирует безопасность гидротехнических сооружений.

В целом, государственная система управления водными ресурсами решает вопросы владения, распоряжения и использования водных ресурсов и водохозяйственных объектов.

Организационная структура управления водным хозяйством в нашей стране строится по территориальному принципу и состоит из пяти уровней управления и четырех основных блоков.

Федеральный уровень: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации и Федеральное агентство водных ресурсов (Росводресурсы).

Межрегиональный уровень: бассейновые водные управления (БВУ), которые подчиняются Росводресурсам.

Региональный уровень: организации, находящиеся в ведении Министерства через Росводресурсы.

Уровень субъектов Российской Федерации: отделы водных ресурсов в региональных администрациях.

Система управления водным хозяйством организована по бассейновому принципу, применяемому с 1960-х годов. Федеральное агентство водных ресурсов (Росводресурсы) отвечает за решение вопросов на федеральном уровне. Бассейновыми управлениями и другими организациями руководит непосредственно Росводресурсы.

В каждом бассейновом округе действует одно бассейновое водное управление, которое выполняет функции территориального органа Росводресурсов. Этот метод полностью оправдан, так как речные бассейны образуют единую природно-техногенную систему, связанную природными факторами. Техногенная деятельность распространяется вдоль реки от истока к устью. Таким образом, антропогенное воздействие, возникающее в верхней или средней части бассейна, оказывает значительное влияние на экологическое состояние участков реки ниже по течению. Кроме того, большая часть крупных речных бассейнов охватывает территории нескольких областей, республик и даже различных государств, отличающихся сложным и разнородным хозяйственным укладом.

Применение бассейнового подхода к управлению территориями способствует решению ряда ключевых задач: систематизации мониторинга водных объектов, определению приоритетных направлений региональной водной политики и разработке стратегий её совершенствования. Одной из важнейших функций государственного управления является планирование эффективного использования водных ресурсов. Для этого разрабатываются схемы комплексного использования и охраны водных объектов.

Согласно Водному кодексу Российской Федерации, схемы комплексного использования и охраны водных объектов включают следующие элементы.

- 1) Целевые показатели качества воды в водных объектах на период действия данных схем.
- 2) Перечень мероприятий, связанных с водохозяйственной деятельностью.

3) Водохозяйственные балансы, оценивающие количество и степень освоения водных ресурсов в пределах речных бассейнов. Эти балансы представляют собой расчёты потребностей водопользователей в водных ресурсах в сравнении с доступными водными ресурсами в границах речных бассейнов, подбассейнов и водохозяйственных участков при различных условиях водности.

4) Лимиты забора (изъятия) водных ресурсов из водоёмов и лимиты сброса сточных вод, соответствующие установленным нормам качества, в рамках речных бассейнов, подбассейнов и водохозяйственных участков при различных условиях водности.

5) Квоты забора (изъятия) водных ресурсов и сброса сточных вод, соответствующие нормативам качества, в границах речных бассейнов, подбассейнов и водохозяйственных участков при различных условиях водности для каждого субъекта Российской Федерации.

6) Основные целевые показатели снижения негативных последствий наводнений и иных видов негативного воздействия вод, а также перечень мер, направленных на достижение этих показателей.

7) Предполагаемый объём финансовых средств, необходимый для выполнения схем комплексного использования и охраны водных объектов [20].

Для эффективного управления водными ресурсами, которые являются важным государственным достоянием, необходимо постоянно получать информацию об их состоянии и осуществлять наблюдение. Это достигается за счёт ведения учёта и реестра водных объектов, мониторинга их состояния, а также контроля и надзора в области водных отношений.

Центральную роль среди федеральных органов государственной власти в вопросах использования и охраны водных ресурсов играет Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Оно отвечает за разработку государственной политики и нормативно-правовое регулирование в сферах исследования, использования, восстановления и охраны природных ресурсов, включая водный

фонд. Кроме того, министерство курирует эксплуатацию и обеспечение безопасности водохранилищ, водохозяйственных систем комплексного назначения, защитных и иных гидротехнических сооружений (за исключением судоходных гидротехнических сооружений).

В ведении Минприроды России находятся: Федеральное агентство водных ресурсов (Росводрессы); Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор); Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра). Министерство осуществляет координацию и контроль деятельности этих агентств.

Структура Федерального агентства водных ресурсов

Федеральное агентство водных ресурсов является органом государственной власти, выполняющим функции по предоставлению государственных услуг и управлению федеральным имуществом в сфере водных отношений.

Управление водным фондом включает комплекс мер, направленных на рациональное использование природных поверхностных и подземных вод. Основные направления этой деятельности включают: охрану, регулирование и увеличение объёма доступных водных ресурсов; производство, транспортировку и распределение воды; предотвращение загрязнения водных объектов; защиту от неблагоприятного воздействия вод; борьбу с подтоплением жилых зон; противоселевую защиту; защиту прибрежных территорий от наводнений; защиту сельскохозяйственных угодий и населённых пунктов от ливневых вод; мероприятия по борьбе с оползнями; меры против эрозии почвы [23].

Поверхностные воды играют ключевую роль в водоснабжении, функционировании гидроэнергетики и судоходства. Кроме того, они являются важной частью рекреационных зон и среды обитания ценных биологических ресурсов. Основным источником загрязнения поверхностных вод остаётся сброс сточных вод.

Для управления качеством воды устанавливаются предельно допустимые нормы сбросов загрязняющих веществ, разрабатываются методы очистки сточных вод, рассчитываются платежи за сброс

вредных веществ и формируются планы мероприятий для соблюдения установленных нормативов. Нормирование условий водоотведения служит основой такой деятельности.

Главная цель Федерального агентства водных ресурсов – обеспечить устойчивое водопотребление, сохраняя водные экосистемы и защищая население и экономику от негативного воздействия вод.

Для достижения этой цели решаются следующие задачи: удовлетворение потребностей населения и экономики в водных ресурсах; обеспечение безопасности гидротехнических сооружений, особенно водоподпорных; защита населения от наводнений и других опасных воздействий вод.

Росводресурсы в рамках своей деятельности выполняют следующие функции: регулируют территориальное распределение поверхностных водных потоков и обеспечивают пополнение запасов подземных водных объектов; реализуют меры по предотвращению вредного воздействия воды и устраняют его последствия для водных объектов, находящихся в федеральной собственности и расположенных в границах двух или более регионов Российской Федерации; организуют мероприятия, направленные на защиту водохранилищ, используемых для снабжения питьевой водой и удовлетворения хозяйственных нужд нескольких субъектов Российской Федерации, а также на охрану морей и их отдельных участков от загрязнения, засорения и истощения, с ликвидацией последствий подобных явлений [23].

Кроме того, ведомство выполняет следующие задачи: ведение государственного водного реестра, включая регистрацию договоров на использование водных объектов, решений о предоставлении их в пользование, а также фиксирование перехода прав и обязанностей по таким договорам и их расторжения; ведение Российского регистра гидротехнических сооружений.

Росводресурсы также осуществляют: управление водными объектами, находящимися в федеральной собственности, включая их владение и распоряжение; разработку и реализацию комплексных

планов по использованию и охране водных объектов; проведение государственного мониторинга водных объектов и организацию соответствующих мероприятий; создание автоматизированных систем для сбора, обработки, анализа, хранения и предоставления информации о состоянии и использовании водных ресурсов на уровне всей страны, отдельных регионов и речных бассейнов; предоставление водохранилищ, их частей, а также морских участков в пользование на основании договоров или решений о предоставлении; гидрографическое и водохозяйственное районирование территории России; установление правил пропуска паводковых вод, наполнения и сброса воды из водохранилищ; предоставление данных из государственного водного реестра заинтересованным лицам либо направление обоснованного отказа в предоставлении такой информации [23].

Росводресурсы выполняют свои функции как самостоятельно, так и через территориальные подразделения (включая бассейновые управлении) и подведомственные организации. При этом они взаимодействуют с другими федеральными органами исполнительной власти, региональными органами управления, муниципалитетами, общественными организациями и другими структурами.

Организационная структура Федерального агентства водных ресурсов включает четыре Управления. Кроме того, в его составе насчитывается 16 территориальных подразделений, из которых 14 представляют собой бассейновые водные управления.

Контроль и надзор за использованием вод.

В Водном кодексе Российской Федерации есть статья «Государственный контроль и надзор за использованием и охраной водных объектов».

Цель контроля за использованием и охраной вод заключается в обеспечении правомерного поведения участников водных отношений, а также в соблюдении их прав и обязанностей. Задача водного надзора – контроль за выполнением требований, связанных с использованием и охраной водных объектов.

Водный контроль направлен не только на выявление нарушений условий договоров водопользования или административных решений, но и на предотвращение несанкционированного использования водных ресурсов, а также на обеспечение прозрачности аукционов по заключению договоров водопользования.

Среди ключевых задач контроля также выделяются: соблюдение особых правил пользования земельными участками и другой недвижимостью, расположенными в пределах водоохраных зон и зон защиты источников питьевого водоснабжения; привлечение к ответственности лиц, допустивших нарушения в области использования водных ресурсов.

Функции контроля и надзора в сфере использования и охраны водных объектов в системе Министерства природных ресурсов и экологии выполняет Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор).

Росприроднадзор осуществляет контроль и надзор: за использованием и охраной водных объектов; за безопасностью гидротехнических сооружений (соблюдением норм и правил безопасности), за исключением гидротехнических сооружений промышленности, энергетики и судоходных гидротехнических объектов; государственный земельный контроль в пределах своей компетенции, включая земли водного фонда и особо охраняемые природные территории [107].

Контроль за использованием и охраной вод осуществляют не только Росприроднадзор, но также и Ростехнадзор (Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору), который подчинен Правительству РФ [104].

Ростехнадзор выполняет не только контрольные и надзорные функции, но также разрабатывает и принимает нормативные акты в области охраны природы, направленные на снижение негативного воздействия промышленных процессов, включая обращение с производственными и потребительскими отходами. Кроме того, ведомство несёт ответственность за безопасность при проведении работ, связанных с эксплуатацией опасных производственных объектов.

ных с эксплуатацией недр, функционированием электро- и теплоустановок, а также за безопасность гидротехнических сооружений в промышленной и энергетической сферах.

К обязанностям Ростехнадзора относится мониторинг соблюдения требований безопасности гидротехническими сооружениями промышленными предприятиями и энергетическими компаниями. Таким образом, Ростехнадзор играет ключевую роль в обеспечении стабильности водохозяйственной инфраструктуры страны.

Росприроднадзор, в свою очередь, контролирует объекты, используемые для нужд сельского хозяйства, жилищно-коммунального хозяйства и водоснабжения.

Таким образом, Ростехнадзор при Правительстве Российской Федерации контролирует ключевые аспекты безопасности в водной отрасли. Что касается Росприроднадзора при Министерстве природных ресурсов, то его сфера ответственности ограничивается вопросами использования природных ресурсов, включая использование водных ресурсов [104].

Государственные инспекторы имеют право контролировать использование и охрану водных объектов, составлять акты по итогам проверок и предоставлять их водопользователям. Они могут требовать проведения мероприятий по охране водоёмов, подавать иски в суды и осматривать суда, загрязняющие водные объекты. Решения этих органов обязательны для всех участников водных отношений и могут быть оспорены в суде.

Федеральному контролю подлежат внутренние моря, трансграничные водоёмы, крупные водные объекты, используемые для оборонных целей, транспорта и энергетики, а также места обитания определённых видов рыб и особо охраняемые природные территории. Также контролируются объекты, обслуживающие города с населением свыше 100 тысяч человек, и предприятия с объемами забора или сброса воды более 15 миллионов м³ в год.

Согласно статье 10 Водного кодекса РФ, право на пользование водным объектом может быть прекращено в случае его неиспользования, нецелевого использования или других нарушений законодательства. При выявлении таких нарушений Росприроднадзор должен обратиться в суд с целью изменения или прекращения договора водопользования [20].

В России для управления водными ресурсами применяются различные методы, включая бассейновые соглашения и советы, а также другие подходы, основанные на принципах бассейнового управления. Согласно Водному кодексу РФ, бассейновые соглашения направлены на координацию и объединение усилий по восстановлению и охране водных объектов. В рамках таких соглашений создаётся координационный орган – бассейновый совет, в котором представлены федеральные и региональные органы власти, муниципальные образования, общественные объединения и водопользователи [20].

Разработка бассейнового соглашения основывается на данных водохозяйственных балансов, схемах комплексного использования и охраны водных ресурсов, государственных программах по использованию, восстановлению и охране водных объектов, а также на предложениях органов государственной власти регионов и результатах научных исследований и проектов.

Бассейновое соглашение заключается между федеральным органом исполнительной власти, ответственным за разработку государственной политики и нормативное регулирование в сфере использования и охраны водных ресурсов, и исполнительным органом субъекта Российской Федерации, чья территория находится в границах данного водного бассейна.

Основное преимущество таких соглашений заключается в возможности координации и объединения усилий по охране и восстановлению водных объектов на уровне целых речных экосистем, независимо от административных границ. Роль бассейновых соглашений для водных систем аналогична договорам водопользования для отдельных

водных объектов, однако они носят более выраженный природоохран- ный характер. Это особенно важно, учитывая, что на территории России расположены крупнейшие реки Евразии, такие как Волга, Обь, Енисей и Лена. Поэтому решение ключевых экологических и экономических задач в регионах, находящихся в бассейнах этих рек, возможно только на основе бассейнового подхода к управлению.

Первые бассейновые соглашения в современной России были заключены в 1993–1994 годах, а к 2003 г. насчитывалось уже около 20 таких соглашений, охватывающих крупнейшие водные системы страны. Для выполнения условий этих соглашений формировались координационные бассейновые советы, состоящие из представителей федеральных и региональных властей, местных администраций, общественных объединений и водопользователей. Для финансирования мероприятий по восстановлению и охране водных объектов могли создаваться фонды, формируемые гражданами и юридическими лицами.

Согласно водному законодательству, бассейновые советы остаются консультативными органами, часто называемыми бассейновыми со-вещаниями. Эти советы формируются решением Росводресурсов на пятилетний срок, возглавляются руководителем территориального подразделения Росводресурсов, заседания протоколируются, а решения принимаются простым большинством голосов. На сегодняшний день в состав совета входят представители различных уровней власти, водопользователи, общественные организации и представители коренных малочисленных народов. Среди них также присутствуют представители Росприроднадзора, Ростехнадзора, Росгидромета, Росрыболовства, Россельхознадзора и других ведомств. Состав совета утверждается Росводресурсами на основе предложений заинтересованных сторон.

Бассейновые советы эффективно анализируют проблемы водохозяйственного комплекса своего региона, разрабатывают единую программу совместных действий и передают её соответствующим органам власти, что впоследствии находит отражение в бюджетных планах разных уровней. Примером успешной работы является дея-

тельность бассейнового совета Северной Двины, направленная на решение проблем, вызванных целлюлозно-бумажными комбинатами – основными источниками загрязнений реки. Совет содействовал улучшению очистки воды, снижению объёмов водопотребления, внедрению замкнутых систем водоснабжения и исключению токсичных веществ из технологических процессов.

Позитивный опыт создания бассейновых соглашений и советов (как межтерриториальных, так и межведомственных структур) имеется во множестве стран мира. Во Франции и Испании такие коллегиальные органы играют ключевую роль в управлении водными ресурсами, обладая соответствующими финансовыми и административными полномочиями. Основой такой системы управления является равноправное участие представителей всех заинтересованных сторон: государственных органов разного уровня, водопользователей, бизнеса и общественности.

Методы управления водными ресурсами России не сводятся исключительно к бассейновым соглашениям и советам. Например, в Волжско-Камском бассейне в 1991 году была учреждена Волжская природоохранная прокуратура, которая сегодня известна как Волжская межрегиональная природоохранная прокуратура. Она включает 15 межрегиональных подразделений. Этот подход позволяет детально разбираться в вопросах и конфликтах, возникающих в регионе. Прокуратура успешно защищает природу, следя за соблюдением не только водного, но и лесного законодательства.

Охрана малых и средних рек, которые являются важными источниками водоснабжения для населённых пунктов, промышленности и сельского хозяйства, также имеет бассейновый характер. Охрана небольших рек требует принятия противопаводковых мер. В период ледохода возникают заторы из-за неподготовленных мостов, остатков старых конструкций, переходов и полузапруд для ловли рыбы, что усиливает половодье и приводит к затоплению строений.

3.4. Системы регулирования стока и его территориального перераспределения

Характерной особенностью водных ресурсов России является их неравномерное распределение по территории страны, часто не соглашающееся с потребностями в них. Нехватка водных ресурсов затрудняет развитие регионов с дефицитом воды, а также отдельных водоемных отраслей промышленности. Наиболее доступный способ увеличения запасов воды – это накопление её в специально создаваемых водоёмах во время периодов высокой водности (например, половодий и паводков), для последующего использования в засушливые сезоны.

Водохранилища представляют собой искусственные водоёмы, предназначенные для регулирования стока. Плотины поднимают уровень воды в водном объекте. Шлюзы на водосливных сооружениях позволяют контролировать поток воды: можно временно уменьшить или полностью остановить его, а также увеличить расход воды в нужный момент для удовлетворения потребностей различных отраслей или подъёма уровня воды ниже по течению. Главная цель водохранилищ – регулирование стока воды. Во время половодья вода накапливается, а в периоды низкой водности – сбрасывается.

Водохранилища и крупные пруды могут быть как отраслевыми, обеспечивающими работу одной конкретной отрасли (гидроэнергетика, тепловая и атомная энергетика, водное хозяйство, орошение, рыболовство), так и комплексными, используемыми несколькими отраслями промышленности и сельского хозяйства, а также для обеспечения населения питьевой водой. Обычно большинство водохранилищ со временем начинают использовать комплексно, хотя одна из отраслей может оставаться основным потребителем водных ресурсов. По мере изменения потребностей региона приоритеты использования водохранилищ могут изменяться, а ведущие отрасли могут сменять друг друга.

Необходимость создания водохранилищ может быть обусловлена как природными, так и антропогенными факторами. Водохрани-

лища выполняют следующие задачи: осуществляют равномерное распределение речного стока в течение всего года; защищают окружающую среду от негативного воздействия воды (предупреждают возникновение наводнений, селей, эрозии берегов и других угроз); улучшают климатические условия, особенно в регионах с жарким и сухим климатом; предоставляют возможность круглогодичного использования водных ресурсов в хозяйственных целях (производство гидроэлектроэнергии, водный транспорт, промышленное, сельскохозяйственное и городское водоснабжение, рыбное хозяйство, рекреационные цели).

Например, для орошения и обводнения земель в южных регионах были построены Чардаринское и Токтогульское водохранилища. Для снабжения водой городов и промышленных объектов созданы Иваньковское, Можайское, Магнитогорское, Краснооскольское и другие водохранилища. Для выработки электроэнергии возведены Братское и Красноярское водохранилища. Водоемы Волжско-Камского и Днепровского каскадов, помимо управления стоком и производства энергии, способствуют улучшению условий для орошения земель, судоходства, лесосплава, предотвращения наводнений и организации зон отдыха. В таких регионах, как Дальний Восток, Кавказ и Карпаты, водохранилища играют важную роль в борьбе с наводнениями (например, Зейское и Мингечаурское).

Водохранилища существенно отличаются от естественных водоемов, так как они проектируются и строятся людьми, имеют заранее заданные параметры и управляемый гидрологический режим, а также используются для обеспечения водой различных водопользователей. При создании водохранилищ существенно трансформируется природный ландшафт, и на протяжении всего их существования они оказывают влияние на окружающую среду, изменяя природные условия на прилегающих территориях. На месте природных водоемов создаются искусственные водные объекты, отличающиеся от исходных гидрологическими, гидробиологическими, биохимическими и другими процессами.

Искусственное регулирование уровня воды в водохранилище приводит к образованию волн при сбросах воды, усиливающихся волнений и колебаниям уровня воды. Суточные сбросы воды также вызывают изменения русла в нижнем бьефе. Течение воды в реке размывает берега, и, если до создания водохранилища наносы выносились вниз по течению, то после зарегулирования, из-за снижения скорости течения, они оседают на дно. Эрозия береговой линии (абразия берегов), тем не менее, продолжается и даже усиливается, поскольку волны продолжают разрушать берега.

Благодаря высокой теплоемкости воды водохранилища аккумулируют тепло, что способствует охлаждению атмосферного воздуха летом и его согреванию осенью. Особенно сильно на окружающую среду воздействуют крупные водохранилища с площадью водного зеркала выше 1000 км².

Для большинства водохранилищ характерно увеличение глубин в направлении плотины, за исключением водохранилищ озерного типа; замедленный водообмен, замедление скорости течения; неустойчивая летняя стратификация воды и другие особенности гидрологического режима.

Рассмотрим основные элементы водохранилищ.

При проектировании водохранилища его объем делится на несколько уровней, каждый из которых используется для различных целей.

Нормальный подпорный уровень (НПУ) – это максимальный уровень воды, который поддерживается длительное время без угрозы повреждения сооружений. Он обеспечивает оптимальную работу всех систем водохранилища. При достижении НПУ создается необходимый гидравлический напор в водоводах ГЭС, нужные глубины на судоходных трассах и гарантированный расход воды в нижнем бьефе гидроузла при условии затопления минимальных площадей [94].

Форсированный подпорный уровень (ФПУ) – это уровень, который может поддерживаться непродолжительное время, обычно во время сильных паводков, без повреждения систем гидроузла. Этот

уровень является максимально допустимым для водохранилища. Когда уровень воды в водохранилище поднимается выше НПУ, производятся холостые сбросы воды в нижний бьеф, чтобы вернуть уровень обратно к НПУ.

Минимальный уровень (уровень мертвого объема, УМО) – это самый низкий допустимый уровень воды в водохранилище, при котором оно еще продолжает функционировать нормально. Ниже этого уровня эксплуатация водохранилища становится неэффективной или невозможной.

Объем воды, находящейся между НПУ и УМО, называется *полезным объемом*. Этот объем может быть использован для хозяйственных нужд. Между НПУ и ФПУ располагается резервная емкость, предназначенная для временного хранения избыточного стока во время половодий и паводков. Эта емкость особенно важна для водохранилищ, предназначенных для защиты от наводнений. Мертвый объем – это вода, которая находится ниже УМО. Она практически не участвует в хозяйственной деятельности.

Участок реки выше плотины называется верхним бьефом, а ниже плотины – нижним бьефом.

Объем воды в водохранилище, площадь поверхности и глубины существенно варьируются в зависимости от сезонов года, неравномерности поступления воды и её потребления для различных нужд. Исходя из этих факторов, создаются водохранилища различного размера: от небольших, площадью в десятки гектаров и объемом в сотни тысяч кубических метров, до крупных, занимающих тысячи квадратных километров и содержащих сотни кубических километров воды. Размер водохранилища напрямую влияет на его способность регулировать сток воды [125].

Водохранилища классифицируются по типу регулирования стока: многолетнее, сезонное (годичное), недельное и суточное.

Многолетнее регулирование предполагает накопление воды в многоводные годы и её постепенный расход в маловодные. Например, Цимлянское, Иркутское водохранилища.

Годичное (сезонное) регулирование заключается в накоплении воды во время половодий и её использовании в маловодные периоды года. Излишек воды в многоводные годы сбрасывается через плотину. Такой тип регулирования характерен для большинства гидроузлов, таких как Волгоградский, Горьковский, Камский, Новосибирский, Красноярский и другие.

Недельное регулирование обусловлено неравномерным потреблением электроэнергии в течение недели. Накопленная в выходные дни вода расходуется в рабочие дни, что приводит к неравномерному стоку воды в нижний бьеф.

Суточное регулирование связано с колебаниями спроса на электроэнергию в течение суток. Днём, когда потребление максимальное, работают все турбины, в нижний бьеф поступает больше воды. Ночью, когда спрос снижается, часть турбин отключается, и вода накапливается в водохранилище. Таким образом, расход воды через водо-воды ГЭС может увеличиться утром и вечером в 10 и более раз, а ночью снижаться до минимума. Эти колебания приводят к образованию волн высотой до 2–3 метров и увеличению скорости течения в 10–15 раз в нижнем бьефе. Недельное и суточное регулирование часто применяются на гидроузлах, где уже реализовано годовое или многолетнее регулирование стока [125].

Классификация водохранилищ

В зависимости от географического расположения водохранилища делятся на равнинные, предгорные и горные.

Равнинные – эти водохранилища имеют небольшую глубину (обычно 5–9 метров) и умеренную величину сработки воды (от 2 до 7 метров), но характеризуются большой площадью поверхности. При их образования затопляются значительные территории. Также для равнинных водохранилищ характерны активная переработка берегов

и подтопление прибрежных территорий. Эти водоемы обычно используются комплексно.

Предгорные – водохранилища с более значительной глубиной (до 70-100 метров) или средней глубиной (около 10-20 метров). У них также может быть значительный уровень сработки (до 10–20 метров). Берега таких водохранилищ, как правило, высокие и крутые.

Горные водохранилища относительно невелики по площади, но их глубина часто превышает 100-200 метров, а величина сработки может достигать 50-100 метров. Берега таких водоемов обычно стабильны, но скорость накопления осадков здесь может быть высокой.

Морфогенетическая классификация [164]

По морфологическим признакам все водохранилища России делятся на три класса: долинные, котловинные и смешанные.

Водохранилища *долинного класса* образуются на участке речной долины, которая служит ложем для водохранилища. Ключевой особенностью этих объектов является продольный уклон дна, то есть глубина водного объекта увеличивается от верхней части водохранилища к плотине. Длина водохранилищ этого класса в 5-10 и более раз превышает их ширину. Поскольку долина, в которой находится водохранилище, образована рекой, долинные водохранилища, в соответствии с генезисом ложа, могут называться речными.

Долинные водохранилища подразделяются на три подкласса: русловые, пойменные и котловино-долинные. Последние две группы включают как простые, так и сложные по структуре водные объекты.

Русловыми называются водохранилища, которые образуются вследствие подъема уровня воды плотиной в пределах речного русла и низкой прирусловой поймы, а их берегом становится прирусловой вал высокой и, поэтому, незатопляемой поймы. На равнинных реках такие водохранилища обычно имеют небольшой объем, сильно вытянуты и часто извилисты. Они характеризуются слабой изрезанностью береговой линии, а их ширина и глубина постепенно увеличиваются по направлению к плотине. В таких водохранилищах отсутствует де-

ление емкости на полезную и неиспользуемую. Эти водохранилища чаще всего создаются на участках рек, где притоки уже регулируются вышерасположенными водоемами, поэтому половодье здесь редкость, и высокая луговая пойма не подвергается затоплению. Примером такого объекта является Перервинское водохранилище в Москве, длиной 38 км, площадью около 10,6 км² и объемом 50 миллионов кубометров. Также к этому типу относятся водохранилища, расположенные на горных реках, например, в ущельях или каньонах [164].

Пойменно-долинные водохранилища простого типа формируются за счет затопления не только низких, но и высоких участков поймы, которые подвергались наводнениям лишь в особо многоводные годы, происходящие примерно каждые 3-5 лет. Водами водохранилищ этого подкласса могут затопляться надпойменные террасы и коренные склоны долины. Простые водохранилища данного подкласса создаются на участках рек без притоков или с малым количеством притоков (например, Новосибирское, Угличское, Воткинское, Волгоградское). К этой группе также относятся меньшие по размеру водохранилища, такие как Воронежское, Можайское на реке Москва, Веселовское и Усть-Манычское на Западном Маныче, Белоярское на реке Пышма вблизи Екатеринбурга, а также Майнское на Енисее.

Морфологически простые пойменно-долинные водохранилища имеют форму ложа, схожую с русловыми, однако она менее извилистая. Береговая линия таких водоемов характеризуется большей изрезанностью благодаря наличию множества мелких заливов и уреза воды на поверхности высокой поймы, имеющей сложный микрорельеф, что особенно заметно в верхних частях водохранилищ. Ширина этих водохранилищ, как правило, увеличивается по направлению от верховий к зоне плотины. Самые большие глубины наблюдаются в узком русле бывшей реки и ее низкой поймы, уменьшаются по мере удаления от плотины к месту выклинивания подпора. В небольших и средних равнинных водохранилищах русловая ложбина часто сильно петляет, приближаясь пополам то к одному, то к другому берегу

(как, например, в Воронежском, Рузском или Можайском водохранилищах). Однако в крупных водохранилищах, расположенных в долинах больших рек, русловая зона зачастую тянется вдоль высокого правого берега (например, в водохранилищах Волжской системы, начиная с Горьковского и заканчивая Волгоградским). В речных долинах с переменным профилем, состоящих из чередующихся расширений и сужений, при заполнении водой эти расширения становятся особенно выраженным и часто называются плесами (такими являются Глазовский, Троицкий, Красновидовский, Ильинский плесы в Можайском водохранилище, а также Ундорский, Ульяновский и Новодевический плесы в Куйбышевском водохранилище) [164].

Сложные пойменно-долинные водохранилища формируются на участках речных долин, содержащих крупные притоки. В нижних течениях этих притоков образуются значительные вытянутые плесы и приусտевые заливы меньшей величины, что существенно усложняет общую конфигурацию водоема. С точки зрения морфологии, такие водохранилища можно рассматривать как совокупность нескольких простых пойменно-долинных водохранилищ, соединённых общим нормальным подпорным уровнем (НПУ). Примерами служат Братское водохранилище с его ангарскими и окинскими плесами, Усть-Илимское водохранилище с Илимским плесом, а также Куйбышевское водохранилище с Волжским, Камским плесами и Черемшанским заливом. Береговая линия этих водохранилищ отличается сильной извилистостью из-за большого количества ответвлений акватории.

Водохранилища котловинно-долинного типа образуются при затоплении участков речных долин, включающих озеровидные расширения разного происхождения: древние озёрные котловины или межгорные впадины. Основные черты долинных водохранилищ сохраняются и здесь: общий наклон дна в направлении к плотине гидроузла и значительная протяжённость. Однако вода в таких водохранилищах заполняет не только современную долину, но и участки дна и склоны котловины, находящиеся на более высоких уровнях. Это придаёт ак-

ватории особую форму и влияет на характеристики батиметрических кривых (кривых площадей и объёмов). Наиболее разнообразны по своему строению и, соответственно, форме акватории и распределению глубин сложные котловинно-долинные водохранилища, такие как Рыбинское, Иваньковское, Зейское и Нарвское.

Рыбинское водохранилище было создано на территории Молого-Шекснинской низменности, которая ранее находилась на дне древнего приледникового озера. В рельефе этой низины отчетливо прослеживались долины рек Волга, Молога и Шексна. После строительства Рыбинского гидроузла с плотинами на Шексне и Волге водохранилище заполнило участок волжской долины длиной 120 километров, а подпор распространился ещё дальше по долинам Мологи и Шексны. В районе города Весьегонск образовался дополнительный озеровидный плес. Кроме того, часть невысокого водораздела между долинами Мологи и Шексны, находящаяся в центральной части низменности, также оказалась затопленной, что привело к формированию Главного плеса Рыбинского водохранилища шириной до 60 километров. Таким образом, с морфологической точки зрения это водохранилище состоит как бы из трёх слившихся простых котловинно-долинных водохранилищ, каждое из которых обладает своими особенностями, типичными для долинных водохранилищ [164].

Водохранилища *котловинного класса* отличаются от долинных тем, что у них отсутствует односторонний уклон дна в сторону плотины, а максимальные глубины находятся в центральных зонах ложа. Эти водоемы создаются либо в границах озёрной котловины, либо в аналогичных замкнутых депрессиях или углублениях, поэтому их также можно назвать озёрными. В зависимости от происхождения котловины они подразделяются на озёрно-котловинный и депрессионный подклассы.

Озерно-котловинные водохранилища (например, Выгозерское, Сегозерское, Верхнетуломское, Кубенское) образуются после возведения гидроузла в истоке реки, вытекающей из озера. Уровень воды в

озере поднимается, что приводит к затоплению склонов или ранее сухих участков озёрной котловины. Запас воды, накопленный таким способом, образует полезный объём водохранилища.

Сложные озерно-котловинные водохранилища формируются в результате искусственного подъёма уровня воды в нескольких связанных друг с другом озёрных котловинах. К такому морфогенетическому подклассу относятся, например, Кумское водохранилище в Карелии, которое объединяет котловины Топозера и Пяозера, и Верхневолжское водохранилище, охватывающее котловины озёр Стерж, Вселуг, Пено и Волго. Когда происходит срабатывание полезного объёма воды, эти четыре плеса превращаются в цепь водоёмов, соединённых короткими протоками, а продольный профиль водной поверхности водохранилища принимает ступенчатую форму [164].

Отдельную разновидность сложных озерно-котловинных водохранилищ представляет Кислогубское водохранилище в России. Его ложе состоит из двух котловин (каждая глубиной более 35 метров), разделённых подводным порогом, глубина над которым составляет всего 5 метров.

Депрессионные водохранилища часто называют «наливными», поскольку их ложе обычно представляют собой возвышения пойменного рельефа или сухие впадины, ёмкость которых увеличивают путём обвалования, а воду подают через канал из ближайшего участка реки. Примером могут служить несколько небольших ирригационных водохранилищ в пойме реки Кубани возле Краснодара. К разновидностям этого подкласса относят также так называемые «котлованные» водоёмы, создаваемые в отработанных карьерах или других выемках грунта (копаниях). Большинство депрессионных водоёмов являются морфологически простыми [164].

Водохранилища *смешанного класса* включают в себя затопленные участки речной долины и озёрной котловины. Соответственно, каждый такой объект делится на речную и озёрную части как по морфометрическим параметрам, так и по особенностям гидрологиче-

ского режима. Эти водохранилища, таким образом, можно назвать озёрно-речными. Отличительной чертой формы ложа озёрно-речных водохранилищ является более узкий приплотинный речной участок по сравнению с включённой в состав водохранилища озёрной котловиной, а также чётко выраженный порог на продольном профиле в том месте, где раньше находился исток реки из озера [17].

Формирование водных ресурсов любого водохранилища (путём частичного аккумулирования динамических водных ресурсов и атмосферных осадков) проходит в два этапа: первый – этап заполнения, второй – этап диспетчерской эксплуатации.

Для наполнения водохранилища долинного типа необходимо обеспечить максимальный приток речных вод, чтобы сформировать стационарный объем водных ресурсов в его ложе до достижения уровня проектной отметки. Последующее поступление воды направлено на создание регулируемых запасов в водохранилище. В водоемах, выполняющих сезонное и суточное регулирование, для этого зачастую достаточно объема воды даже относительно маловодного половодья. Однако в водохранилищах многолетнего регулирования этот процесс может продолжаться два-три года и дольше. При формировании озёрно-котловинных водохранилищ начальная фаза заполнения отсутствует.

На этапе диспетчерской эксплуатации израсходованные в течение предыдущего водохозяйственного года контролируемые водные ресурсы восстанавливаются за счет поступления речных динамических ресурсов в период половодья. В водохранилищах, предназначенных для многолетнего регулирования, это удаётся осуществить в те годы, когда половодье достаточно обильное. Однако при низком уровне весеннего стока полезная емкость может быть заполнена не полностью, и тогда водные ресурсы приходится накапливать также в ходе паводков текущего водохозяйственного года, а иногда и в половодье следующего года.

Такт – это завершённый цикл наполнения и последующей сработки полезного объема. Число водохозяйственных тактов работы

водохранилища зависит от режима притока воды и интенсивности её расходования. В России чаще всего встречается однотактный режим, при котором полезный объём водохранилища срабатывается один раз в течение водохозяйственного года, начинающегося весенним наполнением и продолжающегося постепенной сработкой полезного объёма воды в течение года [17].

Водохранилища представляют собой особый тип природно-техногенных систем. Их отличительной чертой являются резкие и частые изменения уровня воды. Летом значительные участки берегов высыхают, а зимой покрываются льдом, что приводит к гибели гидробионтов, обитающих в прибрежной зоне. Из-за большой площади и небольшой глубины в водохранилищах часто возникают сильные ветра и волны, а берега подвергаются интенсивной эрозии. Эти искусственные водоёмы не имеют аналогов в природе, а экосистемы рек или озёр, на месте которых они создаются, подвергаются значительным и необратимым изменениям [117].

В процессе существования водохранилища проходят несколько этапов, связанных с изменением биологической продуктивности:

1. резкий рост трофности («эффект подпора и взрыва»);
2. трофическая депрессия («депрессия экосистемы»);
3. постепенная стабилизация, сопровождающаяся увеличением трофности («относительная стабилизация») [64, 65, 70].

По мнению Л.А. Кудерского [66], первый этап начинается, когда река перекрывается, и её речной режим заменяется водохранилищным. В результате резкого изменения окружающей среды исчезает часть организмов, особенно реофильных, которые не могут адаптироваться к новым условиям [63]. Это приводит к сокращению видового разнообразия и упрощению структуры биологических сообществ. В экосистеме водохранилища происходят значительные изменения: снижается плотность популяций некоторых видов, накапливается большое количество органического вещества, детрита и биогенных элементов, усиливаются процессы продуктивности, возрастает общий

биопродукционный потенциал. Также изменяются пропорции между трофическими уровнями, например, увеличивается продукция зоопланктона. Создаются благоприятные условия для размножения фитофилов, а также для развития пелофилов, обрастателей и других организмов. Таким образом, на месте реки, её поймы и прилегающих наземных экосистем формируется новая экосистема водохранилища, которая значительно отличается от первоначальной [72].

На втором этапе завершается развитие экосистемы водохранилища и её общее формирование, и она переходит в относительно стабильное состояние. Экосистема приобретает черты, характерные для водоёмов с замедленным водообменом. Постепенно увеличивается видовое разнообразие за счёт проникновения организмов из соседних водоёмов, усложняется структура экосистемы и её трофические связи. В этот период происходит смена доминирующих видов, наблюдается асинхронность в преобразованиях разных групп гидробионтов, перестройка продукционных процессов из-за изменения роли отдельных трофических групп организмов. Продолжается рост биопродуктивного потенциала, частично обусловленный завершением разложения остатков растительности (деревьев, кустарников и т.д.), оставшихся после заполнения водохранилища. Однако этот дополнительный источник органики постепенно иссякает, как и субстраты для развития сообществ обрастаний. В некоторых группах гидробионтов продуктивность достигает пиковых значений, но к концу этапа у других групп она может снижаться. На этом этапе иногда отмечается снижение рыбопродуктивности. Если водохранилище наполняется в несколько этапов, возможно частичное возвращение к процессам, характерным для первого этапа развития [66]

По данным профессора КГУ В.А. Кузнецова [68], второй этап развития водохранилищной экосистемы, который длится около 10 лет, характеризуется уменьшением трофности отдельных компонентов, таких как фитопланктон, зообентос и макрофиты. Наблюдается снижение эффективности размножения и ухудшение биологических показа-

телей у многих массовых видов рыб: замедление роста, увеличение сроков достижения половой зрелости, снижение плодовитости. В это время экосистема становится менее сбалансированной, а её компоненты развиваются асинхронно. Происходят процессы сукцессии, а в популяциях рыб начинают проявляться микроэволюционные изменения.

На третьем этапе бурные преобразования, характерные для первых двух стадий, сменяются флуктуациями около средних показателей. Согласно В.А. Кузнецову [68], на этом этапе происходит усиление эвтрофирования, хотя качество воды остаётся на бетамезосапробном уровне. Стабилизируются различные трофические уровни (фитопланктон, зоопланктон, зообентос, рыбы), но состав организмов претерпевает изменения. Биологические показатели рыб начинают улучшаться: ускоряется рост, сокращаются сроки созревания, повышается плодовитость [67]. Практически прекращается увеличение видового разнообразия, достигается равновесное состояние в соотношении аллохтонных и автохтонных органических веществ. Этот этап считается основным в жизни водохранилища, так как отражает его устойчивое состояние и структурно-функциональные особенности. Однако при изменении условий хозяйственного использования возможна трансформация экосистемы, включая антропогенное эвтрофирование [66, 68, 159].

Этап стабилизации, в идеале, должен завершаться переходом к климаксу – терминальной стабильной экосистеме [109]. Это состояние характеризуется тем, что все биологические сообщества водоёма адаптированы к его специфическим условиям. В результате облик водохранилища становится схожим с обликом озера. Такой этап можно наблюдать у некоторых малых водохранилищ, созданных в начале XX века и не подвергавшихся значительному загрязнению, а также у ряда крупных старых прудов, которые не испытали существенного антропогенного воздействия.

Однако, согласно мнению ряда исследователей, при использовании водохранилищ для гидроэнергетики, орошения, водного транс-

порта и других целей экосистемы этих водоемов не стабилизируются, а наоборот, деградируют. Это связано с тем, что водоёмы подвергаются значительному антропогенному воздействию, включая загрязнение от водного транспорта, промышленных и коммунальных сточных вод, смыв пестицидов и удобрений, неблагоприятные колебания уровня воды и другие факторы. Аккумуляционный эффект водохранилищ приводит к интенсивному антропогенному эвтрофированию (летом большинство водохранилищ России «цветёт»), загрязнению, что вызывает дестабилизацию экосистемы и может привести к экологическому кризису. В связи с этим некоторые исследователи выделяют четвёртый этап в развитии водохранилищ – этап «антропогенной дестабилизации» [69]. Например, для Куйбышевского водохранилища, созданного в 1955-1957 годах, продолжительность первого этапа составила 2-3 года, фаза депрессии завершилась в конце 60-х, стабилизация продолжалась до середины 80-х, а нынешний этап характеризуется процессами антропогенной дестабилизации экосистемы [69].

По мнению В.А. Кузнецова [69], этап дестабилизации экосистемы Куйбышевского водохранилища сопровождается рядом негативных изменений. В частности, ухудшается качество воды: увеличивается концентрация биогенных и органических веществ, pH снижается, а также повышается уровень содержания пестицидов и тяжёлых металлов. В организмах гидробионтов накапливаются высокие дозы гербицидов и солей тяжёлых металлов, что нарушает репродуктивную систему рыб и вызывает генетические аномалии. Также изменяется роль фитопланктона: он перестаёт быть лишь источником пищи и энергии для зоопланктона, а начинает подавлять его развитие. Низкое биоразнообразие зоопланктона и зообентоса указывает на снижение устойчивости биотических компонентов экосистемы. Всё это приводит к гибели рыб и росту заболеваемости среди их популяций [145].

Каналы

Для эффективного управления водными ресурсами, наряду с водохранилищами, необходимо создавать каналы.

Каналы представляют собой искусственно созданные русла, предназначенные для перемещения воды или судоходства.

В зависимости от функций выделяют различные типы водоводных каналов. Водопроводные и оросительные каналы доставляют воду в регионы с её дефицитом; осушительные обеспечивают отведение избыточной влаги; энергетические используются для поддержания работы гидроэлектростанций, а судоходные предназначены для проводки судов [48]. Судоходные каналы делятся на глубоководные, по которым могут проходить крупные морские суда, и мелководные, предназначенные для речного или каботажного судоходства [94].

Глубоководные каналы подразделяются на два типа: одни обеспечивают прямой маршрут между океанами или крупными водными бассейнами, другие позволяют морским судам достигать портов, расположенных вдали от морских побережий. К примеру, Хьюстонский канал соединяет порт Хьюстона с Мексиканским заливом, Манчестерский – с морским портом Манчестера, а Североморский канал связывает Амстердам с Северным морем. Среди важнейших глубоководных каналов можно выделить Панамский, который соединяет Атлантический и Тихий океаны, Суэцкий, связывающий Средиземное и Красное моря, и Кильский, проходящий между Балтийским и Северным морями. Без этих транспортных артерий перевозка грузов потребовала бы значительных временных, трудовых и финансовых затрат из-за необходимости обходных маршрутов или перевалки на наземный транспорт [94].

Некоторые судоходные каналы были построены не только для развития торговли, но и с целью быстрого перемещения военных судов между водными бассейнами, что придало этим сооружениям стратегическое значение. Большинство таких каналов возводилось в XIX и начале XX века, и лишь немногие из них соответствуют требованиям современных кораблей с большим водоизмещением. Проблемы связаны с ограниченной пропускной способностью шлюзов, которые часто оказываются слишком узкими или короткими, а также с

недостаточной глубиной каналов для полностью загруженных крупных судов. Например, Суэцкий канал, протянувшийся на 161 км, был открыт в 1869 г.; Кильский, длиной 98,7 км, начал функционировать в 1895 г.; Панамский канал, длиной 81,6 км, был введён в эксплуатацию в 1914 г., а Беломорско-Балтийский канал, протяжённостью 227 км, появился в 1933 г. Эти каналы стали важными звеньями в глобальной транспортной сети, но их изначальные технические характеристики часто требуют модернизации для соответствия современным стандартам.

С развитием современных технологий стало возможным превращать реки в удобные для судоходства каналы. Это осуществляется путём строительства плотин и установки многокамерных шлюзов, что даёт возможность эффективно регулировать уровень воды. Одним из примеров подобной модернизации является Москва-река, чье среднее и нижнее течение включено в водный маршрут, связывающий её с Окой и Волгой.

Мелководные каналы. Большинство мировых судоходных каналов предназначено для судов с небольшой осадкой. Такие каналы, как правило, связывают между собой реки и озёра, формируя региональные системы водных путей. Они играют ключевую роль в транспортировке грузов и пассажиров, особенно в европейских странах, таких как Россия, Польша, Германия, Франция, Нидерланды и Бельгия.

Обводные каналы и канализированные реки. Некоторые каналы прокладывались вдоль рек и озёр, минуя их сложные или непроходимые участки. Такие сооружения называют обходными или обводными каналами. Например, в России к ним относятся Старо- и Новоладожский каналы, расположенные вдоль южного берега Ладожского озера. Их строительство позволяло обходить несудоходные участки рек [94].

Шлюзы

Среди элементов гидротехнических сооружений судоходных каналов особенно выделяются шлюзы, представляющие собой герметичные камеры, предназначенные для подъёма или спуска судна до

уровня воды, соответствующего следующему участку канала. Каналы часто делятся на участки с разной высотой воды, и для преодоления таких перепадов сооружают один или несколько шлюзов. Лишь небольшое число каналов, имеющих важное экономическое значение, проходит через местности с равным уровнем воды на всём их протяжении, что делает использование шлюзов ненужным. Примером таких каналов являются Суэцкий и Кильский, где перепады высоты отсутствуют [48].

Для прохождения судна из верхнего бьефа в нижний используется последовательная система камер с регулируемым уровнем воды. Судно последовательно перемещается через ряд камер, где уровень воды регулируется для преодоления разницы в высотах между участками водного пути.

Процесс начинается с того, что судно из верхнего бьефа входит в первую камеру, для чего открываются верхние ворота. После захода судна ворота закрываются, изолируя камеру. В это время нижние ворота остаются запертыми, а уровень воды в первой камере снижается до уровня второй с помощью водопроводных галерей, встроенных в днище или стенки шлюза. Когда уровень воды сравнивается, открываются внутренние ворота, и судно перемещается во вторую камеру. Эта процедура повторяется столько раз, сколько камер предусмотрено в конструкции шлюза. На финальном этапе уровень воды в последней камере снижается до уровня нижнего бьефа, открываются нижние ворота, и судно покидает шлюз.

Если требуется поднять судно из нижнего бьефа в верхний, все операции выполняются в обратной последовательности. Судно входит в камеру, где уровень воды повышается за счёт поступления из верхнего бьефа. После достижения необходимого уровня открываются следующие ворота, и процесс повторяется до тех пор, пока судно не достигнет верхнего бьефа.

Регулирование уровня воды в камерах осуществляется либо насосами, либо самотёком через специальные каналы. На торцах каж-

дой камеры шлюза размещаются герметичные затворы, чаще всего в виде двустворчатых ворот, которые поворачиваются и смыкаются под тупым углом, обращённым в сторону верхнего бьефа, чтобы выдерживать давление воды. Эти ворота надёжно изолируют камеру, позволяя контролировать уровень воды. Таким образом, многоступенчатый шлюз обеспечивает безопасное и эффективное перемещение судов через участки с различной высотой водного горизонта [166].

Точная дата изобретения шлюзов неизвестна, но считается, что это произошло в XIV или XV веке. В 1481 году два монахадоминиканца из Витербо, Италия, предложили первую схему шлюзовой камеры с затворами. Позже Леонардо да Винчи (1452–1519) спроектировал шесть шлюзов и создал систему каналов для Милана. До этого времени, а также долгое время после, на многих каналах для подъёма или опускания судов использовались наклонные плоскости и канаты, что позволяло транспортировать только небольшие суда. С появлением шлюзов стало возможным проведение крупных судов через каналы с различными уровнями воды.

Шлюзы являются важными сооружениями для современных каналов. Их наличие незначительно увеличивает стоимость строительства и эксплуатации, но замедляет движение судов. На большинстве судоходных каналов, даже на мелководных, шлюзуется обычно одно судно за раз, что приводит к образованию длинных очередей перед шлюзами [166].

Иrrигационные каналы. Переброска воды также используется для ирригации. Ирригация – это искусственный полив земель, необходимый для успешного ведения сельского хозяйства. Она позволяет выращивать урожай в районах с недостаточным количеством осадков [135]. Первые ирригационные системы были созданы в Египте, Азии и на Ближнем Востоке около 3000 года до н. э., когда строились оросительные каналы и водоёмы для переноса воды из рек на сельскохозяйственные поля. Со временем появились простые механические устройства, такие как Архимедов винт, которые использовались для

подачи воды из рек и ручьёв в оросительные каналы. В настоящее время основными источниками воды для орошения являются как поверхностные, так и подземные водоёмы.

Орошение играет ключевую роль в интенсификации сельскохозяйственного производства, особенно в районах с дефицитом осадков. Оно способствует созданию оптимальных условий для более эффективного использования растениями питательных веществ и удобрений. С технической точки зрения, орошение представляет собой искусственное увлажнение почвы, применяемое, когда естественного увлажнения недостаточно для получения стабильных и высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

В XX веке было построено большое количество оросительных систем. Если в 1949 году общая площадь орошаемых земель в мире составляла 92 млн. га, то к 1959 г. она увеличилась до 149 млн. га, а в настоящее время эта цифра превышает 300 млн. га. Орошение применяется более чем в 100 странах. Высокая экономическая эффективность сельского хозяйства на орошаемых землях очевидна: около половины мирового населения получает продовольствие с этих земель, хотя они составляют лишь 16 % всех обрабатываемых сельскохозяйственных угодий.

В России работы по мелиорации начались в конце XIX века. В ответ на засуху и неурожай 1880 г. была организована экспедиция под руководством И.И. Жилинского для изучения методов орошения и водоснабжения земель на юге страны. В 1891–1892 годах работала специальная экспедиция под руководством В.В. Докучаева, которая занималась разработкой методов ведения лесного и водного хозяйства в российских степях. С 1906 по 1917 год проводились широкие изыскания в различных районах Северного Кавказа и Поволжья. В 1921–1928 годах была проведена земельно-водная реформа, в ходе которой восстанавливались оросительные системы.

С началом первых пятилеток в Советском Союзе активизировалось мелиорационное строительство, были упорядочены системы

земле- и водопользования. После окончания Великой Отечественной войны началось восстановление орошаемых земель, и к 1950 году эта работа была завершена. В начале 1960-х годов было принято решение о строительстве Волго-Донского канала, а также Куйбышевской и Волжской ГЭС. Это комплексное решение позволило решить задачи в области электрификации, транспорта, орошения и обводнения, способствуя дальнейшему развитию сельского хозяйства.

Строительство Волго-Донского судоходного канала с Цимлянским водохранилищем обеспечило водный путь из Чёрного и Азовского морей в центральную Россию, ежегодную выработку около 500 млн. кВт·ч электроэнергии, а также способствовало развитию рыболовства и аквакультуры, орошению около 800 тыс. га земель и обводнению 2 млн. га.

Во второй половине 1970-х годов в стране было принято решение о значительном расширении площади орошаемых земель для производства зерна, а также о создании крупных оросительных систем в Поволжье и на Северном Кавказе. Одним из важнейших шагов стало создание крупных инженерных рисовых систем в Краснодарском крае, Астраханской и Ростовской областях, а также в республике Дагестан с целью обеспечения страны рисом [79, 80].

Ставропольский край является крупнейшим регионом России, занимающимся орошаемым земледелием. По данным о годовых осадках, 62 % территории края находится в крайне засушливой зоне, 28 % – в условиях неустойчивого и недостаточного увлажнения, и только 10 % – в зоне достаточного увлажнения. В дореформенный период площадь орошаемых земель в регионе составляла 415 тыс. га, с ежегодным вводом 15-18 тыс. га новых участков. К 2000 г. была поставлена задача перевести на орошение 600-700 тыс. га земель, что соответствовало имеющимся земельным и водным ресурсам, позволяющим увеличить площадь мелиорированных земель до 1 млн. га [39].

3.5. Проблемы управления качеством воды в водохранилищах и пути их решения

Водохранилища, благодаря своим гидрологическим особенностям, обладают большей экологической устойчивостью к антропогенному воздействию по сравнению с реками и озёрами. Чтобы сохранить и улучшить качество воды для питьевых и технологических нужд, необходимо принимать решительные меры для предотвращения их загрязнения и эвтрофирования. Существует два взаимодополняющих подхода: 1) профилактический, предполагающий проведение мероприятий на водосборной площади с целью предотвращения загрязнения водохранилища сточными водами различных типов; 2) восстановительный – управление процессами формирования качества воды непосредственно в водохранилище, интенсификация процессов самоочищения [25].

Первый набор мер часто включает современные технологии сбора и очистки сточных вод, а также очистку поверхностного стока и ливневых вод. Мероприятия на водосборной площади направлены на снижение биогенной нагрузки на водоёмы за счёт ограничения или предотвращения поступления загрязняющих веществ из различных антропогенных источников. Это предполагает улавливание загрязняющих веществ до их попадания в водоём, что помогает предотвратить ухудшение его состояния. Подобные подходы применяются для водоёмов и территорий с разной степенью антропогенного воздействия. Точечные источники загрязнений легче контролировать, и для борьбы с ними достаточно усилить водоохраные меры. В то же время контролировать поступление биогенных веществ из рассеянных источников, например, таких как стоки с сельскохозяйственных полей, весьма сложно. Однако и в этом случае возможен эффективный водоохраный контроль, например, через соблюдение агротехнологий внесения удобрений и правил эксплуатации животноводческих комплексов [50].

К профилактическим мероприятиям относятся: ограничение или запрещение сброса сточных вод, повышение степени очистки сточных вод, предотвращение загрязнения стоками животноводческих комплексов, поверхностным стоком с территории населённых пунктов, ограничение рекреационной нагрузки, залужение и лесомелиоративные мероприятия, гидротехнические мероприятия, создание предводохранилищ на крупных реках, создание коллекторов, установление и соблюдение режима водоохранных зон [170, 178-183, 185, 195, 199-200, 206, 210].

Работы на водосборной площади с целью улучшения состояния водных объектов проводились на многих водоемах в странах Европы и показали хорошие результаты. Снижение трофического статуса удавалось достичь за счет снижения биогенной нагрузки путем запрета на сброс или сокращения объемов поступающих сточных вод [170, 178-183, 185, 195, 199-200, 206, 210].

Тем не менее, даже при активном и эффективном применении водоохранных мер снижение внешней биогенной нагрузки часто не даёт ожидаемых результатов. Мероприятия, проводимые на водосборной площади, не всегда приводят к уменьшению трофического статуса водоёма, а в некоторых случаях эффект этих мероприятий не носит долговременного характера [185]. Это связано с рядом факторов. Во-первых, в глубоких водоёмах часто накапливаются слои донных отложений, которые становятся вторичными источниками загрязнения и биогенных элементов. Снижение концентрации этих элементов в воде усиливает градиент концентрации между водой и донными отложениями, что стимулирует их диффузию в водную среду. Это особенно выражено в гиперэвтрофных водоёмах, где в придонных слоях воды часто возникают бескислородные условия. Такие условия способствуют высвобождению фосфорных соединений, которые поддерживают высокую продуктивность водоёма.

Для управления этими процессами применяются специальные методы, называемые оздоровительными или восстановительными ме-

роприятиями. Восстановительные мероприятия воздействуют на различные компоненты водных экосистем с целью изменения их состояния в желаемом направлении. Эти меры могут включать снижение концентрации загрязняющих веществ, регулирование численности водных организмов, улучшение гидрологических характеристик и другие вмешательства в природные процессы водоёмов.

К восстановительным мерам относятся: аэрация; отвод воды из гиполимниона; осаждение фосфора с использованием химических реагентов; удаление или экранирование слоёв донных отложений; усиление проточности или создание искусственной циркуляции воды; борьба с синезелёными водорослями различными методами; биоманипуляции, включая управление сообществами водных организмов; создание биоплато из высших водных растений или моллюсков и другие способы. Эти меры являются более радикальными, но в ряде случаев необходимыми для восстановления экологического состояния водоёмов [7, 28, 50, 77, 93, 152, 157-158, 168, 173, 185, 193, 198].

Например, в 1990 г. Мальтанское водохранилище (Польша) находилось в гипертрофном состоянии из-за высокой концентрации питательных веществ, поступавших из главного притока – реки Кибины. Попытка снизить содержание биогенных веществ путём создания четырёх небольших предводохранилищ в русле реки не принесла ожидаемых результатов. Эти мелкие и тёплые водоёмы, напротив, способствовали увеличению концентрации фосфора в речной воде в летний период. Даже после реализации мероприятий по биоманипуляции качество воды не улучшилось в значительной степени. В результате было принято решение применить обработку железом как дополнительный метод для снижения концентрации фосфора в толще воды, что позволило достичь более значительных успехов в восстановлении водоёма [185].

В глубоких водоёмах наиболее высокие концентрации соединений биогенных элементов и низкое содержание кислорода в летний период наблюдаются в слое гиполимниона. Откачка воды из гиполимниона

позволяет снизить среднее содержание биогенных элементов в воде. Этот метод можно сочетать с аэрацией воды и её обработкой бентонитом, что способствует улучшению кислородных условий, повышению прозрачности воды и снижению содержания хлорофилла [158].

Процесс эвтрофирования водоёмов часто сопровождается быстрым увеличением объёма донных отложений, что связано с высокой скоростью продуцирования органических веществ, а также поступлением взвешенных веществ с поверхностным стоком. В результате этого наблюдается сокращение глубины водоёма. Соединения биогенных элементов, накопленные в донных отложениях, могут переходить в воду, а в анаэробных условиях этот процесс ускоряется [50, 78]. Водоросли используют эти запасы для увеличения своей численности [133]. При наличии большого объёма донных отложений или их загрязнении токсикантами (тяжёлыми металлами или нефтепродуктами) наиболее рациональным способом является их удаление. Это приводит к снижению концентрации фосфора, увеличению прозрачности воды и замедлению темпов роста водорослей [7, 50, 168, 173, 175, 207, 216]. При использовании этого метода следует учитывать возможные негативные последствия удаления донных отложений на сообщества гидробионтов в ходе выполнения работ. Как отмечают исследователи, негативное воздействие на количественные и качественные показатели зообентоса ощущается только в первый год после проведения дноуглубления и нивелируется к концу вегетационного периода [28].

Одним из неблагоприятных последствий процесса эвтрофирования является дефицит кислорода в придонных слоях воды и появление сероводорода вследствие гниения органических веществ без доступа кислорода. Это приводит к гибели гидробионтов. Для увеличения содержания кислорода применяется искусственная механическая аэрация воды. При этом происходит снижение содержания в воде ионов аммония, нефтепродуктов, органических веществ, замедляется выделение азота и фосфора из донных отложений [78, 124]. Это, в свою

очередь, приводит к снижению численности и биомассы сине-зелёных водорослей и смене доминирующих видов в фитопланктоне [124].

В процессе восстановления водоёмов необходимо использовать естественные механизмы самоочищения и активизировать их. Так, например, сообщества высших водных растений (ВВР) участвуют в процессе первичного продуцирования и самоочищения воды. ВВР извлекают из воды соединения биогенных элементов, вступая в конкурентные отношения с фитопланктоном. Растения извлекают из воды и накапливают неорганические и органические вещества, осуществляя, в том числе, детоксикацию некоторых из них [88]. ВВР могут выполнять роль механических фильтров, способствуя осаждению взвешенных веществ на стеблях и листьях [84]. При этом разложение осаждённых органических веществ в составе взвесей происходит не в воде, а на поверхности субстрата [84]. Таким образом, способность макрофитов извлекать из воды биогенные элементы, очищать её от загрязняющих и взвешенных веществ, а также насыщать воду кислородом может быть использована при экореабилитации водных объектов. ВВР также применяются в качестве биофильтров для очистки сточных вод и загрязнённых притоков [204] или в составе биоплато [111].

Водная растительность играет важную роль в формировании структуры сообщества зоопланктона. Она является убежищем для определённых видов зоопланктона, защищает их от хищников и создаёт экологические ниши. В зарослях ВВР наблюдается более высокое видовое богатство зоопланктона, поддерживается их высокая численность и биомасса. Исчезновение растительности в мелководных водоёмах может негативно повлиять на количественные и качественные показатели зоопланктона [169, 174, 201]. Восстановление водной растительности рекомендуется как метод экореабилитации для поддержания качества воды, биоразнообразия и стабильности экосистемы [208].

Перспективным направлением является использование альгицидов нового поколения. Благодаря существующим механизмам алле-

лопатии, растения с помощью своих метаболитов-аллелохемиков подавляют развитие конкурирующих организмов. Макрофиты могут синтезировать различные аллелохемики, что препятствует «цветению» водорослей и цианобактерий, способствует снижению их численности, улучшению прозрачности и качества воды. Аллелопатия рассматривается как фактор, ограничивающий развитие фитопланктона в мелководных озёрах, когда покрытие макрофитами составляет от 20 до 100 %. Особенное значение аллелопатия имеет в формировании структуры планктонных сообществ в эвтрофных, мелководных озёрах. На основе этого явления перспективным является метаболитный (аллелопатический) метод контроля «цветения» водоёмов, который является безопасным для других компонентов водной экосистемы, поскольку использует естественные природные механизмы [73]. Подавляющее действие на цианобактерии могут оказывать экстракты из соломы сельскохозяйственных культур, а также из зелёного чая [192].

Одним из методов регулирования уровня первичной продукции водоёмов является биоманипуляция. Известны примеры регулирования численности планктоноядных рыб с целью снижения «цветения» воды [176-177, 184, 206, 209]. Многочисленные исследования показали, что снижение численности рыб-планктонофагов путем вселения хищных рыб приводит к замене мелких видов в зоопланктоне более крупными видами-фильтраторами. Увеличение темпов развития и площади застания макрофитами происходит после снижения биомассы планктоноядных рыб (преимущественно леща) [187-188, 197, 213-215]. Сокращение биомассы планктоноядных рыб приводило к заметному увеличению плотности крупных *Daphnia spp.*, питающихся водорослями, что способствовало переходу в фазу «чистой воды», которая продолжалась от двух до четырех недель и стимулировала рост макрофитов. Макрофиты успешно конкурировали с водорослями за биогенные элементы. Эти изменения способствовали успешному применению биоманипуляции [196-197, 188]. Таким образом, увели-

чение прозрачности воды, первоначально вызванное ростом макрофитов, затем поддерживается ими, что способствует продлению периода «чистой воды». Большинство мелководных озер было восстановлено благодаря развитию макрофитов. Однако результаты применения этого метода часто труднопредсказуемы и недолговечны [11, 76, 171-172]. Было немало случаев неудач применения метода биоманипуляции, возможно, даже больше, чем успехов [197, 188], особенно если рассматривать длительный промежуток времени (8-10 лет) [188]. Если восстановительные мероприятия прекращались, то через 2-3 года, когда рыбу уже не контролировали, биомасса планктоядных рыб увеличивалась, состояние «мутной воды» возвращалось, и макрофиты практически исчезали. Причинами неудач были: 1) недостаточное или отсутствие снижения автохтонного фосфора в связи с увеличением нагрузок фосфора из донных отложений или других источников; 2) недостаточное сокращение биомассы планктоядных рыб и быстрый их рост в последующие годы; 3) неспособность растительноядных рыб контролировать планктоядных рыб и другие факторы [186].

Моллюски-фильтраторы активно участвуют в процессах естественного самоочищения. Отфильтровывая из воды взвешенные вещества, бактерии и фитопланктон, моллюски осветляют воду, а также переносят токсические вещества, включая нефтепродукты, из толщи воды в грунт [13]. Поэтому моллюски могут рассматриваться как один из компонентов биоплато [151, 160]. Способность двустворчатых моллюсков отфильтровывать из воды фитопланктон позволяет использовать их для снижения биомассы водорослей [189-190, 194, 202].

Одним из методов уменьшения содержания биогенных веществ в водоемах является осаждение минерального фосфора с помощью коагуляции с использованием сульфата алюминия. Однако стоит учитывать, что этот метод довольно дорогой, и его стоимость варьируется от 1000 до 3000 долларов на гектар площади водоема. Кроме того, у этого метода есть свои недостатки. Во-первых, сульфат алюминия может понижать pH воды, что приводит к соответствующим послед-

ствиям. Во-вторых, влияние коагулянтов на водных организмов еще мало исследовано, оно может быть особенно губительным для микроскопических водных организмов. Коагуляцию можно применять на притоках озер или водохранилищ, которые необходимо сохранить и защитить, а также с целью изменения окислительно-восстановительных процессов в донных отложениях водоема. Для последней цели чаще всего используют нитраты или соли железа. Понижение потребления кислорода в донных отложениях также возможно с помощью стимуляции денитрификации, например, путём насыщения илов нитратом кальция. Эта технология показала интересные положительные результаты, но ее стоимость также крайне высока – порядка 40 000 долларов на гектар.

Следующий метод борьбы с избыточной продуктивностью водоемов заключается в снижении интенсивности фотосинтетических процессов путем удаления водорослей. Один из способов – механическое удаление биомассы водорослей. Для этого применяются гидромеханические агрегаты. В водохранилищах Днепра, где часто наблюдается «цветение» воды, предпринимались неоднократные попытки массового сбора микроводорослей с использованием различных методов. Эти эксперименты показали, что относительно рентабельным изъятие фитопланктона из водоема может быть только при биомассе более 10 мг/л, что характерно для гиперэвтрофных водоемов или кратковременно в периоды ветровых сгонов сине-зеленых водорослей. Если биомасса составляет менее 10 мг/л, то необходимо предварительное концентрирование фитопланктона, что технически представляет собой сложную задачу.

Удаление высшей водной растительности, например, скашивание макрофитов, также является одним из распространенных методов регулирования продуктивности водоемов. Для этого используются специализированные косилки, конструкции которых варьируются и разрабатываются как в России, так и за рубежом. Однако данный метод оказывается эффективным преимущественно в мелководных во-

доемах, поскольку на больших глубинах удаление биомассы погруженных растений не дает значительного результата [62, 90].

Из приведенного обзора видно, что лишь немногие из мероприятий оказываются действительно эффективными и однозначными, даже если не учитывать финансовые затраты на их внедрение.

Для крупных водохранилищ, являющихся источниками водоснабжения, возможно применение следующих методов регулирования качества воды, связанных с управлением процессом первичного производства: селективный сброс вод в нижний бьеф, создание предводохранилищ, реконструкция водоемов в полисекционные водоемы.

Селективный сброс вод возможен только в водохранилищах с многоуровневыми отверстиями в плотине. Поскольку почти все гидроузлы имеют сброс воды в нижний бьеф хотя бы из двух уровней (поверхностный и глубинный), этот метод становится особенно привлекательным. Управление качеством воды через сбросы имеет очевидные преимущества в простоте и экономичности. Глубинный сброс позволяет: уменьшить степень гипоксии в придонных слоях, нарушить стратификацию, по крайней мере, в прилотинной части водохранилища, снизить концентрации фосфора в прилотинном участке и регулировать температуру воды в реке в нижнем бьефе. Однако если в водоеме отсутствует химическая и кислородная стратификация, применение селективного сброса становится нецелесообразным.

Важно отметить, что при селективном сбросе вод могут возникать противоречия, поскольку улучшение качества воды в верхнем бьефе может привести к ухудшению его в нижнем. Глубинные сбросы теплых вод зимой также могут оказывать негативное влияние на нижний бьеф, образуя туман. Например, на водохранилище Гранжет во Франции, где плотина оснащена несколькими отверстиями для сброса воды, было проведено исследование воздействия селективных сбросов на качество воды водоема. Моделирование температурного и кислородного режимов водохранилища показало, что влияние глубинных сбросов зависит от периода водообмена и обратно связано с

биогенной нагрузкой водохранилища. Подобное моделирование проводилось и для водохранилищ Москворецкой системы. Однако, моделируя процессы в Можайском и Истринском водохранилищах, было показано, что колебания параметров качества воды оказываются слабо чувствительными к изменениям в сбросах воды через плотину, и изменения качества воды не прослеживались за пределами приплотинного участка. Таким образом, для этих водохранилищ селективные сбросы воды с целью регулирования продукционных процессов и развития фитопланктона оказались малоэффективными. На Истринском водохранилище был проведен специальный эксперимент с натурными наблюдениями и модельными расчетами при широком диапазоне сбросных расходов воды через глубинный водовод. Результаты показали, что никакие сбросы через галереи ГЭС не смогли разрушить слой плотностного скачка в водохранилище. Глубинные сбросы могут оказать реальное воздействие на качество воды в нижнем бьефе, что является важным для практики регулирования качества воды, но не влияет на регулирование продукционных процессов в верхнем бьефе.

Предводохранилища представляют собой небольшие водоемы, создаваемые на притоках крупных водохранилищ (чаще всего водохранилищ, используемых в качестве источников водоснабжения) с целью осаждения биогенных и органических веществ, поступающих с водосбора основного водоема. Это позволяет снизить биогенную нагрузку на основные водохранилища и улучшить качество воды. Опыт строительства и эксплуатации предводохранилищ имеет значительную историю и широко распространен в различных странах. Наибольшее развитие этот метод получил в Германии, где накоплен богатый опыт, который стал основой для проектирования и расчета таких водоемов. Подобный метод защиты экосистем водоемов также применяется в Чехии, Дании, Англии, Южной Африке и США. Исследования немецких лимнологов и гидрологов позволили разработать принципы проектирова-

ния предводохранилищ и подтвердить их эффективность в снижении внешней нагрузки на основные водохранилища.

Влияние предводохранилищ на снижение внешней биогенной нагрузки проявляется в двух основных аспектах. Во-первых, в этих водоемах происходит осаждение взвешенных частиц и сорбированных фосфатов, что предотвращает их попадание в основное водохранилище. Во-вторых, в предводохранилище развивается «цветение» воды фитопланктоном, которое способствует интенсивному поглощению биогенных элементов, а затем их осаждению на дно вместе с отмирающими водорослями. Это позволяет эффективно удалять как сорбированный фосфор, так и растворимый азот. Особенно эффективно удаление биогенов происходит при цветении диатомовых водорослей, которые имеют высокие скорости осаждения по сравнению с зелеными и синезелеными водорослями. Еще одним важным аспектом использования предводохранилищ является возможность широкого экспериментирования с различными методами биоманипуляции. Предводохранилища становятся своего рода лабораториями для исследований процессов биорегулирования. В них можно использовать различные методы, такие как посадка макрофитов, периодическое удаление донных отложений и даже коагуляция фосфора с использованием солей железа, что способствует более эффективному контролю за качеством воды и уменьшению внешней нагрузки на основное водохранилище.

При проектировании предводохранилищ важным этапом является определение оптимальных размеров водоема и коэффициента водообмена. Методика расчета эффективности снижения фосфорной нагрузки, впервые разработанная немецкими специалистами, была успешно использована на водохранилищах в Германии. Согласно этому подходу, объем водохранилища рассчитывается с учетом времени пребывания воды в нем, которое, в свою очередь, зависит от темпов роста водорослей. Это означает, что скорость роста фитопланктона должна превышать скорость водообмена. Зависимость

скорости осаждения фосфатов от коэффициента водообмена позволяет оценить эффективность их удаления в предводохранилище.

Эффективность удаления фосфора в предводохранилищах наиболее высока в вегетационный период, когда время водообмена составляет от 0,5 до 12 суток. При этом стоит отметить, что короткое время пребывания связано с небольшими размерами водоемов, что важно для строительства и минимизации затопления земель. Для защиты основного водохранилища рекомендуется создание нескольких предводохранилищ на разных притоках. Согласно расчетам, эффективность удержания фосфора в предводохранилищах достигает 55 %. Однако главным недостатком этого метода является необходимость затопления земельных участков в речных долинах, что вызывает ряд социальных и экологических проблем, таких как переселение людей и уничтожение хозяйственных объектов. Эти трудности особенно остро ощущаются в густонаселенных районах, где расположены водохранилища, используемые для питьевого водоснабжения крупных городов.

Восстановление или экореабилитация экосистем должна осуществляться целостно, включать в себя весь водосборный бассейн, восстановление важных для экосистемы процессов, видов и мест их обитания, а также снижение внешней нагрузки. Экологическая реабилитация играет важную роль в восстановлении нарушенной экосистемы.

ГЛАВА 4. ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ

4.1. Водохозяйственные объекты, комплексы, системы: структура, элементы, взаимосвязь.

Водное хозяйство представляет собой важную производственную и природоохранную систему, главной целью которой является обеспечение потребностей хозяйственного комплекса и населения в воде необходимого объема, качества и на определенных территориях. Эта система включает в себя деятельность, направленную на воспро-

изводство водных ресурсов, их охрану от истощения и загрязнения, а также на защиту окружающей среды от негативного воздействия вод.

Водохозяйственный объект – сооружение, связанное с использованием, восстановлением и охраной водных объектов и их водных ресурсов [20]. К водохозяйственным объектам относятся все гидротехнические сооружения: плотины, здания ГЭС, водосбросные и водовыпускные сооружения, тунNELи, каналы, насосные станции, судоходные шлюзы, судоподъемники; сооружения, предназначенные для защиты от наводнений и разрушений берегов водохранилищ и дна русел рек; дамбы, ограждающие хранилища жидких отходов промышленности и сельскохозяйственных организаций; устройства для предотвращения размыва каналов и другие сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов.

Водохозяйственная система – комплекс взаимосвязанных водных объектов и гидротехнических сооружений, предназначенных для обеспечения рационального использования и охраны вод [20]. К сооружениям, обеспечивающим охрану водных ресурсов от загрязнения, могут быть отнесены различные стационарные или передвижные очистные сооружения (региональные, городские, отдельных предприятий и животноводческих комплексов), а также поля орошения.

Гидротехническое сооружение – сооружение, подвергающееся воздействию водной среды и предназначенное для использования и охраны водных ресурсов, предотвращения вредного воздействия вод [137].

Участников водохозяйственного комплекса условно можно разделить на водопотребителей и водопользователей.

Водопользование – юридически обусловленная деятельность граждан и юридических лиц, связанная с любым использованием водных объектов, в том числе для нужд хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения, водоотведения, потребностей сельского и рыбного хозяйства, водного транспорта и гидроэнергетики, а также в рекреационных целях [20].

Различают общее водопользование – водопользование без применения сооружений или технических устройств, оказывающих влияние на воды, и специальное – водопользование с применением сооружений или технических устройств, или водопользование, влияющее на состояние вод [20].

Водопотребитель – гражданин или юридическое лицо, получающее в установленном порядке от водопользователя воду для обеспечения своих нужд (водопотребление – потребление воды из водного объекта или систем водоснабжения).

По своим требованиям водопотребители различаются по следующим основным признакам: а) месту приема и выпуска воды; б) качеству воды; в) распределению водопотребления по часам, суткам, дням недели, сезонам года; г) расчетной обеспеченности водопотребления.

При водопотреблении вода изымается из водоемов, и часть её, после использования, возвращается обратно в тот же или иной водный объект, в то время как другая часть теряется безвозвратно, поскольку она становится частью производимой продукции. Основными потребителями воды являются промышленность, системы коммунального водоснабжения и сельское хозяйство, которое забирает примерно половину всей воды, используемой в народном хозяйстве. Возвратные воды обычно имеют изменённый состав, и для того чтобы их можно было снова использовать или подвергнуть биологической очистке, требуется их разбавление.

Водопользование, в отличие от водопотребления, не предусматривает извлечение воды из водных объектов. Оно охватывает такие сферы, как гидроэнергетика, водный транспорт, сплав леса, рекреация и частично рыбное хозяйство. Однако по мере более интенсивного использования водных ресурсов граница между водопользователями и водопотребителями становится менее очевидной. Например, при создании водохранилищ для нужд энергетики значительная часть воды теряется из-за испарения и фильтрации, и эта вода становится недоступной для других пользователей. Подобная ситуация возникает

на водохранилищах, используемых для охлаждения тепловых и атомных электростанций. Также в рыбном хозяйстве, когда затапляются обширные мелководья для нереста, происходит интенсивное испарение воды [53].

В водопользовании существенную роль играют водопотребление и водоотведение. Водопотреблением называют потребление воды из водного объекта или систем водоснабжения, а водоотведением, или сбросом сточных вод, – удаление сточных вод за пределы населенного пункта, предприятия или других мест использования. В объем водоотведения входят все виды сточных вод, которые отводятся непосредственно в водоемы, подземные горизонты, бессточные впадины, поступают на очистные сооружения или передаются другим организациям. При учете водопотребления важно учитывать не только прямое использование воды, но и потери, возникающие из-за испарения и фильтрации воды из каналов и водохранилищ.

С точки зрения использования и охраны водных ресурсов деятельность водопотребителей оценивается по нескольким ключевым показателям. К ним относится общее водопотребление, которое представляет собой сумму забора как свежей, так и оборотной воды за определенный промежуток времени (год, сутки, час, секунда). Также учитывают забор свежей воды, который обозначает извлечение воды непосредственно из водного объекта, и забор оборотной воды, происходящий из системы замкнутого водоснабжения. К числу важных показателей относится и водоотведение, то есть сброс воды в водный объект, замкнутые понижения или подземные горизонты. Безвозвратное водопотребление определяется как забор свежей воды, за вычетом объема воды, подлежащей отведению. Кроме того, учитываются объемы сброса загрязнений, которые представляют собой количество загрязняющих веществ в сбрасываемой воде после вычитания концентрации этих веществ в исходной воде, поступающей из источника. Важным показателем также является тепловое загрязнение, которое отражает количество тепла, сбрасываемого в водоем. Этот показатель определяется исходя

из объема сбрасываемой воды и разницы температуры воды, сбрасываемой в водоем, и температуры забираемой воды.

Водопользователи характеризуются несколькими параметрами, основными из которых являются объемы необходимого расхода воды, уровни воды, которые требуются для функционирования таких сфер, как судоходство, гидроэнергетика, рыбное хозяйство, рекреация, а также сохранения природных экосистем. Кроме того, важно учитывать влияние этих водопользователей на качество воды. Например, гидроэнергетика может потребовать значительных объемов воды для выработки электроэнергии, а судоходство и рыбное хозяйство – для поддержания определенных уровней воды в реках и водоемах для обеспечения бесперебойного движения судов и сохранения жизнедеятельности водных организмов. Влияние этих видов деятельности на качество воды может проявляться в виде загрязнения, приводящего к изменениям в экосистемах.

Одна из ключевых особенностей участников водохозяйственно-го комплекса заключается в том, что их требования к режиму водисточников не всегда совпадают по времени. Это несогласование может приводить к конфликтам и противоречиям между различными компонентами комплекса. Например, водный транспорт нуждается в поддержании судоходных глубин в нижнем бьефе гидроэлектростанции (ГЭС) в период навигации, тогда как гидроэнергетика заинтересована в накоплении воды в водохранилище для более эффективного использования в зимний период пиковой нагрузки. В то время как в период половодья гидроэнергетика стремится сохранить воду в водохранилище, рыбное хозяйство требует значительных сбросов из водохранилища, чтобы поддерживать оптимальные условия для нереста рыбы и для мелководий, где она обитает. Эти противоречия разрешаются при формировании ВХК и оптимальном функционировании. При создании комплексных гидроузлов для каждого из них выделяется основной (приоритетный) участник. В каскадах Волжского, Камского, Ангарского и Енисейского регионов основная роль отводится

энергетике. В южных районах страны приоритетным является сельское хозяйство, однако в любом случае основным приоритетом остается хозяйственно-питьевое водоснабжение населения.

Кроме того, существуют расхождения в требованиях к качеству воды. Гидроэнергетика, судоходство и лесосплав не предъявляют строгих требований к загрязненности воды. Однако для таких отраслей, как здравоохранение, водоснабжение, рыбное хозяйство, орошение и рекреация, качество воды имеет критическое значение. Это также учитывается на стадии планирования и формирования водохозяйственного комплекса.

Структура водного хозяйства России – это комплексная система, охватывающая различные области использования водных ресурсов, их защиту, регулирование и управление ими. Эффективное управление водными ресурсами требует учета множества факторов, включая экологические, экономические и социальные потребности [71].

Классификации ВХК по масштабам распространения

ВХК можно классифицировать по масштабам распространения, типам сооружений и числу участников.

По масштабам распространения они делятся на: глобальные (межгосударственные), государственные, региональные, бассейновые, части бассейнов.

Глобальные. К ним относятся ВХК, использующие водные ресурсы пограничных рек или рек, проходящих транзитом через ряд стран. Это, например, Амур (Россия и Китай), Припять (Белоруссия и Украина), Дунай (несколько стран).

Государственные ВХК приравниваются к Единой водохозяйственной системе страны. Единая водохозяйственная система страны – это комплекс взаимосвязанных элементов, включающих водные ресурсы, водоемы, водоснабжающие и водоотводящие сети, а также организации и учреждения, занимающиеся их управлением и эксплуатацией. Ее основное назначение – объединить крупнейшие природные источники водных ресурсов по всей стране и осуществлять их

регулирование и распределение между основными регионами. Общий принцип такой системы заключается в решении водохозяйственных задач страны на основе долгосрочных прогнозов ее экономического роста. Для удовлетворения водных потребностей могут быть использованы ресурсы, расположенные на значительном удалении от мест непосредственного потребления.

Основные задачи Единой водохозяйственной системы следующие: контроль за количеством и качеством вод в основных водоемах и реках; прогнозирование развития водного хозяйства с учетом изменений в природной среде, а также ключевых тенденций в социальном и научно-техническом прогрессе; разработка крупных водохозяйственных программ, финансируемых централизованно на федеральном уровне; обеспечение всех отраслей экономики необходимыми водными ресурсами, соответствующими их требованиям по количеству, качеству и режиму подачи; контроль за состоянием водных ресурсов, качеством воды на всех этапах ее использования, очистки и отведения.

На данный момент Единая водохозяйственная система еще не сформирована, и, скорее всего, это не произойдет в ближайшем будущем из-за огромных масштабов территории России [71].

Следующей ступенью является *региональная водохозяйственная система*. Она формируется в рамках отдельных регионов страны и объединяет водные объекты и системы крупнейших водотоков и водоемов, характерных для этих территорий. Регулирование водных ресурсов в этих областях осуществляется через перераспределение водных потоков между бассейнами. Управление региональными водохозяйственными системами происходит централизовано, на уровне конкретных регионов.

В период Советского Союза были выделены три основные водохозяйственные зоны: Европейская часть страны, Западная Сибирь с Казахстаном и Средней Азией, а также Восточная Сибирь и Дальний Восток. На текущий момент наиболее развита региональная водохозяйственная система в Европейской части страны. Основные меро-

приятия, реализуемые в рамках этой системы, заключаются в территориальном перераспределении речных стоков. Это осуществляется с помощью системы каналов, таких как канал имени Москвы, Волго-Дон и другие. Объем переброски составляет 25-30 км³ воды в год. Также была создана глубоководная транспортная система, включающая такие каналы, как Беломорско-Балтийский, Волго-Донский и канал им. Москвы. Эти каналы соединяют крупнейшие реки, озера и моря Европейской части России, включая Волгу, Днепр, Дон, Неву, Ладожское и Онежское озера, а также Балтийское, Каспийское, Азовское и Черное моря. В дальнейшем предполагается увеличение объема переброски стоков до 60-70 км³ в год.

Создание региональной водохозяйственной системы в Западной Сибири, Казахстане и Средней Азии связывалось с переброской части стока рек Оби и Иртыша в бассейн Аральского моря. На первом этапе планировалось, что объем таких перебросок составит 25-30 км³ в год. Однако с распадом СССР этот проект был приостановлен, и теперь каждая страна, входившая в эту систему, решает свои водохозяйственные задачи самостоятельно.

Развитие региональной водохозяйственной системы в восточных районах страны началось с освоения водных ресурсов рек Ангары, Енисея и Амура. На Ангаре и Енисее построены каскады водохранилищ и ГЭС, а на Амуре возведена Зейская ГЭС с водохранилищем, построена Бурейская ГЭС. Эти водохранилища не только обеспечивают выработку электроэнергии, но и служат для защиты территорий от наводнений [71].

Следующая ступень водохозяйственной структуры страны – это *бассейновые водохозяйственные системы* (БВХС). Они создаются в пределах водосборных бассейнов отдельных крупных рек. Основой их формирования являются, как правило, каскады водохранилищ на основной реке и ее притоках. Основной задачей бассейновых водохозяйственных систем (БВХС) является регулирование стока рек с целью удовлетворения потребностей всех водопользователей, используя

зующих водные ресурсы данного бассейна, при условии рационального их использования. На большинстве крупных рек южного склона Европейской части страны созданы каскады водохранилищ, общая емкость которых составляет около 150 км³ зарегулированного стока. Наибольшее развитие водохозяйственные системы получили в бассейнах рек Волги, Камы, Днепра, Дона и Днестра. Практически все БВХС в Европейской части страны имеют комплексное назначение. В восточных регионах России такие системы наиболее развиты в бассейнах рек Енисея и Ангары, а частично – в бассейне верхней Оби.

Следующей ступенью иерархической лестницы водохозяйственной структуры страны являются *водохозяйственные комплексы* (ВХК). ВХК формируются, в основном, на основе комплексных гидроузлов и связанных с ними объектов, становясь основными элементами БВХС. Главной задачей ВХК является регулирование стока рек с целью согласованного удовлетворения потребностей всех водопользователей, включая водоснабжение населения, промышленности, сельского хозяйства, энергетики, водного транспорта и других отраслей, в плане объема, качества воды и своевременности ее доставки, особенно в условиях неравномерного стока. Природоохранные функции ВХК в зоне влияния гидроузла включают: обеспечение пропусков воды для поддержания гидробиологического режима водотока; регулирование уровня подтопления земель; выполнение необходимых санитарно-гигиенических норм в районе водохранилища и нижнем течении реки.

На самой нижней ступени водохозяйственной структуры страны расположены *отраслевые водопользователи*, которые непосредственно забирают воду или используют водную среду. Это могут быть как отдельные предприятия, так и более мелкие пользователи и потребители [71].

Создание водного хозяйства и его отдельных (единых) систем начинается с самой нижней ступени – с конкретных водопотребителей и водопользователей, которые объединяются в водохозяйствен-

ные комплексы (ВХК). Именно эта единица водохозяйственной системы является важнейшей, так как она наиболее тесно связана с реальной хозяйственной и социальной структурой страны.

Водохозяйственный комплекс (ВХК) представляет собой совокупность различных отраслей экономики, которые совместно используют водные ресурсы одного водного бассейна. ВХК бассейна реки – это совокупность водных ресурсов этого бассейна, а также расположенных на его территории объектов, предназначенных для формирования, транспортировки и регулирования стока, а также для водопотребления и водоотведения.

Кроме того, ВХК можно рассматривать как совокупность мероприятий и объектов, направленных на рациональное использование водных и связанных с ними природных ресурсов, что позволяет максимально эффективно удовлетворить потребности всех водопользователей в доступной воде. Правильно организованный ВХК должен обеспечивать наибольшую экономическую эффективность в целом, а не только для какой-либо отдельной отрасли, и предотвращать вредное воздействие на окружающую среду. Сооружения в составе ВХК должны способствовать защите водных ресурсов от загрязнения и истощения, а также обеспечивать простоту и надежность эксплуатации.

Водохозяйственный комплекс включает несколько участников, среди которых: водоснабжение, водоотведение, гидротехнические мелиорации, гидроэнергетика, водный транспорт, лесосплав, рыбное хозяйство, здравоохранение, водные рекреации и другие.

К водохозяйственному комплексу предъявляются следующие требования: обеспечение рационального снабжения потребителей водой в необходимых объемах и с требуемым качеством; сохранение природных условий; защита водных ресурсов от загрязнения, засорения и истощения; обеспечение максимально возможного народнохозяйственного экономического эффекта; гарантия простоты и надежности работы комплекса.

Деятельность водохозяйственных комплексов регулируется водным законодательством России, которое устанавливает основные принципы использования и охраны рек, озер, водохранилищ и других водных объектов, как поверхностных, так и подземных [71].

Структура водохозяйственных комплексов

Водохозяйственный комплекс (ВХК) включает три взаимосвязанных компонента: природную, техническую и экономическую части.

Природная часть представляет собой водные объекты и ресурсы, а также другие элементы природной среды, включая местные природные условия. Эти компоненты являются основой для создания и развития ВХК и подвергаются техногенному воздействию со стороны комплекса.

Техническая часть включает общие и отраслевые сооружения, водохранилища, защитные и другие объекты, которые обеспечивают эффективную работу комплекса. Основой являются водохозяйственные объекты (ВХО), включающие гидроузел с водохранилищем и сопутствующими сооружениями. ВХО могут быть специализированными (энергетическими, водотранспортными, оросительными, водоснабженческими) или комплексными, если водные ресурсы используются для разных целей. В последнем случае сооружения могут быть как отраслевыми, так и общими.

Экономическая часть учитывает интересы всех участников ВХК, включая производственную сферу, перспективы социального развития территории и водохозяйственный баланс. Её главной целью является обеспечение максимальной экономической эффективности от функционирования ВХК и минимизация ущерба от дефицита воды, ее загрязнения, засорения и истощения. Экономическая часть также отвечает за распределение капиталовложений на строительство и эксплуатацию объектов ВХК.

Общие элементы водохозяйственного комплекса (ВХК) включают подпорные сооружения, такие как плотины и дамбы, водохранилища, а также объекты, регулирующие расход воды, например, водос-

ливы и водосбросы. Отраслевые объекты включают гидроэлектростанции, судоходные шлюзы, водозаборы, рыбопропускные сооружения и другие специализированные объекты. Сопутствующие объекты обеспечивают технологические связи между гидроузлом и его потребителями. К ним относятся линии электропередачи (ЛЭП) от гидроэлектростанций до приемных подстанций, магистральные и оросительные каналы, водопроводы и другие инфраструктурные элементы.

Завершая характеристику структуры ВХК, стоит подчеркнуть, что при проектировании комплекса важно достичь максимальной экономической эффективности от использования водных ресурсов для всего хозяйственного комплекса в целом, а не только для отдельных отраслей. При этом обязательно учитывается, что вредное воздействие на водные ресурсы и другие компоненты окружающей среды должно оставаться в пределах допустимых норм [71].

Классификация ВХК по типам сооружений и по числу участников

Одноузловые отраслевые водохозяйственные комплексы (ВХК) могут иметь либо энергетическое, либо ирригационное назначение. По мере роста народного хозяйства в данном бассейне такие комплексы трансформируются в *многоузловые*, то есть *каскадные межотраслевые* ВХК. Это наиболее распространённый тип водохозяйственных комплексов как в нашей стране, так и за рубежом. Такие комплексы создаются на каскадах гидроузлов рек, таких как Волга, Днепр, Енисей и другие. Завершение формирования ВХК обычно совпадает с окончанием строительства всего каскада, поэтому получение полного народнохозяйственного эффекта может занять много лет. Тем не менее, такие комплексы способствуют активному развитию экономики региона и рациональному использованию водных ресурсов.

В случае нехватки водных ресурсов одного бассейна для создания ВХК возможно развитие *межбассейнового отраслевого комплекса*, который затем может стать *межбассейновым многоотраслевым*. Масштабные проекты такого рода обычно затрагивают несколько от-

раслей и влияют на изменения природной среды, экономические и социальные условия. Примером такого ВХК является Каракумский канал, который используется для ирригации, транспортных целей, рыбоводства, сельского хозяйства, водоснабжения и обводнения.

Многоузловые и многоотраслевые водохозяйственные комплексы образованы на таких крупных реках, как Волга, Днепр, Свирь (река Свирь в Ленинградской области), Нарын, Дон, Иртыш и других. Поскольку работа этих комплексов может оказывать негативное воздействие на окружающую среду, включая водные экосистемы, возникает необходимость в создании *водоохраных комплексов*.

Водоохраный комплекс включает системы сооружений и устройств, направленных на поддержание необходимого качества и количества воды в установленных створах или водных объектах. Такие комплексы проектируются при строительстве осушительных систем, водохранилищ, а также выпускных сооружений сточных вод и других элементов ВХК, которые могут оказывать вредное влияние на водные объекты.

Водоохранные комплексы могут выполнять различные функции в зависимости от части природоохранной системы, к которой они относятся. Это могут быть меры по борьбе с последствиями орошения, минимизации негативного воздействия водохранилищ, регулирования расхода воды в русле реки или улучшения качества воды в случае сброса сточных вод. Таким образом, водоохранные комплексы могут включать объекты, связанные с осушением, орошением, водохранилищами, поймами, загрязненными участками водных объектов, а также сооружения, предотвращающие вредное влияние ВХК [71].

Водохозяйственные системы

Водохозяйственная система (ВХС) – это комплекс взаимосвязанных водных объектов и гидротехнических сооружений, предназначенных для обеспечения рационального использования и охраны вод участниками ВХК [71].

Водохозяйственный комплекс (ВХК) и водохозяйственная система (ВХС) – это два разных понятия в области водного хозяйства, хотя оба они связаны с использованием водных ресурсов. Их различия можно рассматривать с точки зрения масштаба, структуры и назначения.

Водохозяйственный комплекс (ВХК) – это отдельное водохозяйственное образование, которое действует на уровне водного бассейна или территории, где осуществляется использование водных ресурсов для различных отраслей (энергетика, сельское хозяйство, водоснабжение, промышленность и др.). ВХК включает в себя различные объекты (гидроузлы, водохранилища, каналы и т. д.), которые работают вместе для эффективного использования водных ресурсов в рамках конкретной области.

Водохозяйственная система (ВХС) – это более широкое понятие, которое охватывает все элементы водохозяйственной деятельности на более высоком уровне (например, на уровне страны или региона). ВХС объединяет не только отдельные ВХК, но и более крупные структурные единицы, такие как федеральные и региональные управления водными ресурсами, межбассейновые перераспределения воды, а также стратегии охраны водных ресурсов на глобальном уровне.

ВХК включает конкретные объекты и сооружения, направленные на регулирование водных ресурсов для достижения хозяйственных целей в пределах одного бассейна (например, система водохранилищ и водозаборов для сельского хозяйства или гидроэлектростанций для энергетики).

ВХС имеет более комплексную структуру и включает несколько таких комплексов, а также инструменты и органы управления, которые координируют деятельность всех водохозяйственных объектов на более высоком уровне, обеспечивая интеграцию различных ВХК в рамках общей водной политики.

ВХК ориентирован на решение локальных водохозяйственных задач, например, для поддержания водоснабжения, орошения, водоснабжения населения или гидроэнергетики в определенном регионе.

ВХС направлена на более комплексное управление водными ресурсами, включая их распределение и охрану на национальном или межрегиональном уровне. Включает создание и поддержку целых водохозяйственных программ и проектов.

В целом, можно сказать, что ВХК является частью более широкой ВХС, которая охватывает все водные ресурсы и водохозяйственные мероприятия на более крупном уровне.

Существует три аспекта описания ВХС: морфологический, функциональный и информационный [71].

Морфологически водохозяйственная система (ВХС) может быть разделена на иерархические уровни по территориальному признаку, начиная от региональных систем, которые делятся на бассейновые, а внутри них – на водохозяйственные районы и участки. Основой участка является комплексный гидроузел, включающий плотину и водохранилище с необходимыми техническими сооружениями для многозадачного использования водных ресурсов. Примером является ВХС Западной Сибири, включающая бассейны рек Обь и Енисей. В пределах бассейна Обь выделяются верхняя, средняя и нижняя части, каждая из которых состоит из нескольких участков с каскадами гидроузлов, например, с гидроэлектростанциями и водозаборами.

Функции ВХС включают добычу водных ресурсов, их распределение, сбор сточных вод и подготовку к повторному использованию. Структура ВХС требует эффективной информационной координации между её элементами для бесперебойной работы.

Задачи по управлению водохозяйственной системой (ВХС) можно разделить на две группы: планирование структуры системы и управление её режимами работы.

Первая группа задач связана с долгосрочным планированием использования водных ресурсов. В этом процессе учитывается, что ВХС является подсистемой народнохозяйственного комплекса территории. В рамках этой группы решаются следующие задачи: определение размещения водоемных производств, их состава и мощностей; планиро-

вание размещения водохранилищ, их параметров и характеристик; установление расположения водохозяйственных объектов (водозаборных устройств, каналов и др.) и их параметров; разработка мероприятий по охране природы, направленных на поддержание высокого качества воды в бассейне при проведении водохозяйственных операций.

Задачи на разных уровнях иерархии ВХС могут варьироваться по деталям. Например, размещение водоемных производств планируется на уровне страны, региона или бассейна, а состав и параметры водохозяйственных объектов – на уровне бассейна и водохозяйственных участков. На всех уровнях учитываются природоохранные мероприятия, связанные с водохозяйственными работами.

Вторая группа задач включает в себя планирование и реализацию работы функционирующей или планируемой ВХС. Она делится на две подгруппы. Разработка плана работы: определяются объемы воды, которые должны быть сброшены из верхних бьефов водохранилищ, уровни воды в водоемах и каналах, а также режимы работы водохозяйственных объектов. В процессе планирования учитываются различные варианты исходных данных, такие как гидравлические показатели и режимы водопотребления, зависящие от метеорологических условий, которые имеют стохастический характер.

Реализация плана: после выработки плана выбирается наиболее подходящий вариант, учитывая текущие водохозяйственные условия. План корректируется в соответствии с изменяющимися метеорологическими условиями, и затем осуществляется регулирование потоков воды в водотоках согласно скорректированному плану [71].

Территориальное перераспределение стока

Для решения задач водоснабжения важно соотнести доступные водные ресурсы с потребностями пользователей. Для этого составляют водохозяйственный баланс, который используется при разработке планов рационального распределения воды и позволяет детально оценивать текущие и прогнозируемые сценарии использования водных ресурсов. В рамках баланса анализируют основные компоненты

бассейна: количество осадков, поверхностный и подземный сток, испарение и поглощение влаги растительностью.

Когда местного регулирования стока оказывается недостаточно, особенно в засушливые периоды, проблему решают за счет перераспределения водных ресурсов. В зависимости от целей и масштаба задач, системы перераспределения речного стока подразделяются на три категории: транспортировка воды от источника к районам потребления; перераспределение стока в пределах одного бассейна; межбассейновое перемещение водных ресурсов, при котором вода поступает из богатого ресурсами бассейна-донора в водоприемник. Наиболее часто для перераспределения воды используются открытые каналы, которые обеспечивают надежную и эффективную транспортировку.

Межбассейновое и внутрибассейновое перераспределение стока осуществляется через более чем 50 каналов с суммарным объемом порядка 100 км³ в год. Основные каналы, как правило, расположены в районах активного орошения. При транспортировке воды по каналам может происходить ухудшение её качества. Для предотвращения этого разрабатываются специальные мероприятия по его сохранению [71].

4.2. Особенности водоснабжения и требования к качеству воды в промышленности, сельском и коммунально-бытовом хозяйстве

4.2.1. Коммунально-бытовое водоснабжение

Основная задача коммунально-бытового водоснабжения – обеспечение населения питьевой водой. Поэтому к качеству воды предъявляются особые требования по ряду показателей (органолептическим, химическим, микробиологическим, радиационным и другим).

Органолептические показатели определяют восприятие воды органами чувств человека. Вода не должна иметь неприятного запаха, постороннего привкуса, должна быть прозрачной и бесцветной, не содержать видимых частиц.

Химические компоненты в воде контролируются для предотвращения токсического воздействия на организм человека. Общее содержание солей, жесткость, содержание железа, марганца, фторидов, хлоридов, сульфатов, нитратов, аммонийного азота не должны превышать установленных пределов (ПДК) [128].

Микроорганизмы в воде также могут представлять опасность для здоровья людей. Контролируется содержание в воде общих кишечных бактерий, термотолерантных кишечных бактерий, кишечников (они должны отсутствовать в 100 мл воды), спор сульфитредуцирующих клоストридий, цист лямблий.

Радиоактивное загрязнение воды может привести к долгосрочным последствиям для здоровья. Общая альфа-радиоактивность не должна быть более 0,1 Бк/л, а общая бета-радиоактивность – не более 1 Бк/л.

Вода должна удовлетворять общим гигиеническим требованиям. Перманганатная окисляемость, содержание нефтепродуктов, ПАВ не должны превышать ПДК, значения рН должны быть в пределах нормы [128].

Для некоторых регионов или отдельных случаев могут устанавливаться дополнительные критерии контроля качества воды, включая контроль содержания тяжелых металлов, пестицидов, гербицидов и других специфических загрязнителей.

Соблюдение этих требований гарантирует безопасность и качество питьевой воды, поставляемой населению через системы коммунально-бытового водоснабжения.

Для коммунально-бытового водоснабжения используют различные источники воды, выбор которых зависит от географического положения населенного пункта, доступности ресурсов и их качества. В качестве источников водоснабжения широко используются поверхностные водные объекты (реки, озера, водохранилища). Они часто являются основными поставщиками воды для крупных городов. Однако они требуют тщательной очистки, так как вода в них подверже-

на загрязнению промышленными и бытовыми сточными водами, сельскохозяйственными удобрениями и другими веществами.

В качестве источников воды для коммунально-бытового водоснабжения часто используют подземные воды. Обычно они менее загрязнены по сравнению с поверхностными, поскольку проходят естественную фильтрацию через слои почвы и горных пород. Колодцы, родники часто используются в небольших населенных пунктах или районах с ограниченными ресурсами поверхностных водоемов.

В регионах с дефицитом пресной воды, особенно в прибрежных зонах, опресняют морскую воду для использования в коммунально-бытовых нуждах. Этот процесс требует значительных затрат энергии и соответствующих технологий, но становится все более распространенным в условиях глобального изменения климата и роста населения.

Каждый источник водоснабжения имеет свои преимущества и недостатки, поэтому выбор конкретного источника зависит от местных условий и потребностей населения.

Если в водном объекте, который используется в качестве источника питьевой воды, качество воды не соответствует установленным требованиям, то необходимо провести очистку воды, водоподготовку. Для этого используются различные методы. Самый простой из них – механическая фильтрация с использованием решеток, сетчатых фильтров, песчаных фильтров. Коагуляция и флокуляция предполагают добавление коагулянтов (например, сульфатов алюминия или железа) для объединения мелких частиц в более крупные хлопья, которые затем легче удалить. Для удаления органических соединений, хлора, вкусовых и ароматических компонентов применяют активированный уголь и другие сорбенты. Замещение нежелательных ионов (например, кальция и магния, вызывающих жесткость воды) на ионы натрия или водорода осуществляется при помощи ионобменных смол. Обеззараживание воды осуществляют с помощью ультрафиолетового излучения, которое уничтожает бактерии, вирусы и другие патогены, озонирования или хлорирования.

Выбор конкретных методов водоподготовки зависит от состава исходной воды, требований к конечному продукту и технических возможностей водоподготовительного комплекса. Часто применяется комбинация нескольких методов для достижения наилучшего результата.

Характерной особенностью коммунально-бытового водоснабжения является равномерность потребления воды в течение года и неравномерность в течение суток. Когда температура повышается, увеличивается и расход воды, однако сезонные изменения обычно не выходят за рамки 15-20 %. Суточные же колебания гораздо заметнее, ведь свыше 70 % всего объема воды потребляется именно в дневное время. Чтобы учесть эти различия, в расчетах применяют коэффициенты суточной и часовой неравномерности. Такие колебания необходимо принимать во внимание при разработке проектов систем водоснабжения, включая водопроводные сооружения. Их мощность должна быть достаточной для того, чтобы обеспечивать подачу необходимого количества воды даже при пиковой нагрузке. В периоды максимального потребления возможно временное увеличение нагрузки на всю систему водоснабжения, что означает работу с максимальной производительностью. Предварительный расчет требуемого количества воды выполняют, опираясь на нормы хозяйственно-питьевого водоснабжения [49].

Норма хозяйственно-питьевого водоснабжения – это установленный объем воды, необходимый для удовлетворения повседневных бытовых и питьевых нужд одного человека в течение суток. Она рассчитывается исходя из различных факторов, таких как климатические условия, уровень благоустройства жилья, образ жизни населения и технологические нормы эксплуатации инженерных коммуникаций. Эта норма определяет количество воды, которое требуется для удовлетворения бытовых нужд, таких как приготовление пищи, личная гигиена, стирка, уборка и др. Обычно она выражается в литрах на человека в сутки (л/чел•сут).

Примерные значения нормы хозяйственно-питьевого водоснабжения могут варьироваться в зависимости от региона и типа жилого фонда. Например, в России эта норма может составлять от 150 до 300 литров на человека в сутки. В городах с развитой инфраструктурой и современным жильем этот показатель выше, чем в сельской местности или в домах с ограниченным уровнем комфорта.

Нормативы устанавливаются государственными органами и учитываются при планировании и строительстве систем водоснабжения, а также при расчете тарифов на коммунальные услуги. Они зафиксированы в строительных правилах [142-143].

Прогнозирование потребности в воде для населения конкретного населённого пункта – это сложный процесс, требующий учёта множества факторов. Начинать стоит с оценки текущего потребления воды, включая средний ежедневный объём водопотребления на душу населения, структуру потребления (хозяйственная, бытовая, промышленная сферы), а также динамику изменения этих показателей за последние годы. Также важны демографические прогнозы, которые позволяют оценить численность населения через определённый период времени. Здесь учитываются естественный прирост, миграция и прочие факторы, влияющие на изменение численности населения. Экономические и социальные тенденции тоже играют значительную роль. Рост экономики, развитие промышленности, урбанизация и повышение уровня жизни могут существенно увеличить потребность в воде. Кроме того, планы по строительству новых жилых комплексов, предприятий и инфраструктуры также должны быть учтены. Климатические изменения нельзя упускать из виду. Засухи или аномальная жара способны заметно увеличить потребление воды на полив, охлаждение и другие цели. Наконец, важен уровень благоустройства. Переход на более экономичные технологии водоснабжения, установка счётчиков воды и внедрение программ по экономии воды могут оказать значительное влияние на общий объём потребления. Все эти

факторы должны быть тщательно проанализированы и включены в статистические модели для создания точного прогноза [45].

Коммунальное водоснабжение играет важную роль в водохозяйственном комплексе (ВХК) и оказывает значительное влияние на других участников этого комплекса. Рассмотрим основные аспекты этого влияния.

1. Поддержание уровня воды в водохранилищах

Чтобы обеспечить стабильное водоснабжение коммунально-бытового хозяйства, необходимо поддерживать оптимальный уровень воды в водохранилищах. Забор воды на водозаборных устройствах производится преимущественно со средних глубин, чтобы избежать попадания воздуха, поверхностных загрязнений и взвешенных частиц. Учитывая эти обстоятельства, устанавливают минимально допустимый уровень воды в водохранилище, что зачастую противоречит интересам других водопользователей.

2. Специальные попуски воды из водохранилищ

Для стабильной работы водозаборов в нижних бьефах гидроузлов часто требуются специальные попуски воды из водохранилищ. Эти попуски могут осуществляться в интересах коммунального хозяйства, а также других пользователей, таких как транспорт и рыбное хозяйство. Однако попуски могут наносить ущерб энергетике, так как воду, которую можно было бы расходовать равномерно, приходится выпускать в определенные периоды. При планировании объемов попусков воды учитываются интересы всех потребителей, однако приоритет отдается коммунальной сфере.

3. Высокие требования к качеству воды

Коммунальное хозяйство предъявляет высокие требования к качеству подаваемой воды и стабильности её подачи. Загрязнение сточными водами промышленных предприятий, сельского хозяйства, водного транспорта и рекреации может снижать качество поверхностных вод. Поэтому на некоторых водохранилищах вводятся огра-

ничения на деятельность, способствующую загрязнению воды, вплоть до запрета строительства баз отдыха и купания.

4. Воздействие сточных вод коммунального хозяйства

Коммунальное хозяйство само производит сточные воды, которые могут оказывать негативное влияние на качество воды в водных объектах, особенно в местах сброса. Это касается как поверхностных, так и подземных вод. Такое воздействие отрицательно сказывается на других участниках ВХК, таких как рыбное хозяйство, промышленность, рекреация и водоснабжение населённых пунктов, расположенных ниже по течению. Поэтому сброс неочищенных сточных вод строго регулируется и запрещён [71].

Таким образом, коммунальное водоснабжение неразрывно связано с деятельностью других участников водохозяйственного комплекса и оказывает влияние на их работу. Взаимодействие между ними требует взвешенных решений, которые учитывают интересы всех сторон и обеспечивают устойчивое управление водными ресурсами.

Пути экономии воды в коммунально-бытовом хозяйстве.

Экономия воды в коммунально-бытовом секторе становится особенно важной в условиях современных экономических и экологических вызовов. Сократить потребление воды можно за счет применения различных методов и мероприятий.

Одним из ключевых направлений является внедрение водосберегающих технологий и оборудования. Смесители и душевые лейки с аэрационными насадками снижают объём потребляемой воды без ущерба для комфорtnого напора. Унитазы с системой двойного слива позволяют уменьшить расход воды за счёт выбора оптимального режима смыва. Энергоэффективные стиральные и посудомоечные машины класса А+++ характеризуются минимальным потреблением воды и электроэнергии.

Рациональный подход к использованию водных ресурсов в быту также имеет большое значение. Например, рекомендуется закрывать кран во время чистки зубов или бритья.

Немаловажно уделять внимание устранению утечек. Регулярные проверки кранов, труб и сливных бачков унитазов на предмет протечек помогают предотвратить значительные потери воды. Установка датчиков утечки воды позволяет автоматически прекращать подачу воды при обнаружении неисправности.

В садоводческой практике целесообразно применять системы капельного орошения, которые обеспечивают точечную подачу воды непосредственно к корневой зоне растений, сводя к минимуму испарение и избыточный расход. Сбор дождевой воды также является эффективным способом оптимизации водопотребления. Собранная вода может использоваться для полива растений, мойки автомобилей и других целей, не требующих питьевой воды.

Многоступенчатое использование воды – ещё одна перспективная практика. Внедрение раздельного водопровода для коммунального и промышленного водоснабжения позволяет экономить высококачественную воду для питья, а для других коммунальных нужд (например, мытья машин, полива улиц и зелёных насаждений) использовать воду более низкого качества, такую как неочищенная речная вода или доочищенные сточные воды.

Повышение информированности и образовательного уровня среди членов домохозяйств способствует формированию культуры бережного отношения к водным ресурсам. Учёт водопотребления с помощью счётчиков позволяет контролировать динамику расхода воды и своевременно вносить корректизы в привычные практики.

Реализация перечисленных мер способствует не только сокращению финансовых затрат на оплату коммунальных услуг, но и сохранению водных ресурсов, что крайне важно для обеспечения их рационального использования.

4.2.2. Водоснабжение промышленных предприятий

Вода играет важнейшую роль в обеспечении функционирования различных отраслей промышленности, где она выполняет широкий спектр функций.

Вода используется при производстве продукции. Например, она является важным компонентом в пищевой промышленности и при изготовлении напитков, применяется для приготовления, обработки и упаковки продуктов. В некоторых процессах вода входит в состав конечного продукта, как в случае с производством цемента, где она используется для создания бетонной смеси.

В промышленности вода также служит охлаждающей жидкостью. Она циркулирует через теплообменники, отводя тепло от оборудования, что особенно важно для металлургии и химической промышленности. Как универсальный растворитель, вода участвует во множестве процессов. Например, в фармацевтической и пищевой промышленности её используют для растворения активных ингредиентов и создания растворов. В электрохимических процессах, таких как гальванизация и электролиз, вода необходима для создания растворов электролитов, применяемых при нанесении покрытий и выделении металлов.

Очистка и промывка – ещё одна важная функция воды. Она используется для промывания сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Например, в текстильной промышленности вода удаляет красители и загрязнения с тканей. В автомобильной промышленности её используют для мойки деталей и узлов.

Кроме того, вода применяется для образования пара, который служит источником тепла и энергии. В энергетической отрасли пар приводит в движение турбины,рабатывающие электричество.

Вода используется для транспортировки сыпучих материалов, таких как уголь, руда и песок, по трубопроводам или каналам – этот метод называется гидротранспортировкой.

В гидроэнергетике энергия текущей воды используется для вращения турбин и выработки электроэнергии, преобразуя кинетическую энергию потока воды в электрическую.

Кроме того, вода является основным средством тушения пожаров на промышленных объектах, где специальные системы пожаротушения помогают локализовать и устранить возгорания.

Таким образом, вода выполняет множество функций в промышленности, обеспечивая эффективность и безопасность производственных процессов, а также участвуя в создании продукции.

Промышленное водопотребление имеет свои особенности, выделяющие его среди других сфер. Промышленные предприятия являются одними из крупнейших потребителей воды, особенно в таких отраслях, как металлургия, химическая промышленность и энергетика [4, 44].

Требования к качеству воды зависят от конкретной отрасли. Например, в микроэлектронике и фармацевтике требуется чистая, дедионизированная вода, тогда как в тяжёлой промышленности возможно использование технической воды. Промышленные предприятия нуждаются в стабильной и непрерывной подаче воды, так как перебои в снабжении могут привести к остановке производства. Системы водоснабжения разрабатываются с учётом минимизации рисков прерываний. Технологии производства определяют характер и объём водопотребления. В отличие от бытового сектора, где водопотребление изменяется в течение дня, в промышленности оно остаётся стабильным, так как ряд предприятий работают круглосуточно. При этом значительная часть воды теряется безвозвратно, например, в виде пара или сточных вод. Загрязнение сточными водами промышленных предприятий может представлять серьёзные экологические риски.

Эффективное управление водопотреблением в промышленности требует учёта всех этих особенностей для минимизации воздействия на окружающую среду и оптимизации использования ресурсов.

Расчёт необходимого объёма воды для предприятия основывается на характере его деятельности. Например, тяжёлая промышлен-

ность, где вода используется для охлаждения, требует значительных объёмов, тогда как в лёгкой промышленности, такой как текстильная, водопотребление обычно ниже.

Существенное влияние на объём потребляемой воды оказывает технология производства. Разработка и внедрение технологий оборотного водоснабжения могут значительно снизить водопотребление. Например, использование высокотехнологичных систем очистки позволяет повторно использовать воду, что уменьшает её расход.

Потребность в воде зависит и от её качества. Высококачественная вода (например, деионизированная или дистиллированная) может требоваться в меньшем количестве для выполнения тех же задач, чем обычная техническая вода.

Объём потребляемой воды также зависит от количества и типа оборудования. Крупные заводы с многочисленными станками и машинами потребляют больше воды, чем небольшие цеха с ограниченным количеством оборудования. Круглосуточный режим работы предприятия увеличивает потребление воды, особенно в секторах, где оборудование активно эксплуатируется 24 часа в сутки.

Требуемые объёмы воды рассчитываются с использованием удельной нормы водопотребления для промышленных предприятий. Этот показатель отражает среднее количество воды, которое предприятие использует на единицу произведённой продукции или выполненной работы в расчёте на определённый период времени (обычно год). Удельная норма определяется как отношение общего объёма потреблённой воды к объёму произведённой продукции. Например, если предприятие произвело 10 000 единиц продукции и израсходовало 100 000 литров воды, то удельная норма составит 10 м^3 на 10 000 единиц продукции. Удельная норма водопотребления зависит от типа деятельности предприятия; технологии производства; качества воды; количества и типа оборудования; режима работы [4].

При увеличении масштабов производства удельное водопотребление зачастую снижается благодаря оптимизации процессов. Тем не ме-

нее, различия в водопотреблении между предприятиями одной отрасли могут достигать значительных величин. Например, для производства 1 тонны угля требуется от 3 до 5 м³ воды, для производства бумаги – от 400 до 800 м³, а для синтетического волокна – от 2500 до 5000 м³.

Кроме удельных норм, применяются укрупнённые нормы водопотребления, учитывающие все расходы на воду, включая производственные и бытовые нужды, уборку, образование сточных вод, пожаротушение и другие. Эти нормы используются при проектировании новых предприятий, реконструкции существующих объектов, а также при разработке генеральных схем комплексного использования и охраны водных ресурсов.

Потребление воды в течение суток на большинстве предприятий остаётся относительно равномерным, а коэффициент часовой неравномерности составляет около 1,1–1,2.

Системы промышленного водоснабжения

Системы промышленного водоснабжения классифицируются по способам использования и обращения воды. Существуют следующие основные типы: прямоточные, повторные, оборотные и комбинированные. Выбор системы водоснабжения зависит от характеристик производства, доступности водных ресурсов и требований к качеству воды.

Прямоточная система водоснабжения – это система, в которой вода однократно используется в технологических процессах и после этого сбрасывается обратно в водный объект. К преимуществам такой системы следует отнести простоту конструкции, её надёжность и низкие капитальные затраты. Основным недостатком является высокое водопотребление. Система требует постоянного забора больших объёмов воды, что может привести к истощению местных водных ресурсов. Если перед сбросом в водоём сточные воды не прошли очистку, это может привести к загрязнению природных водных объектов. В свою очередь, если в водоисточнике вода загрязнена, это может негативно сказаться на технологическом процессе.

Прямоточные системы водоснабжения используются на предприятиях, где требуются большие объёмы воды, а её качественные параметры не должны существенно изменяться в процессе, например, в энергетике. Электростанции, использующие паровые турбины, применяют воду для охлаждения конденсаторов. В металлургической промышленности вода используется для охлаждения металла, станков и оборудования в процессе производства. В горнодобывающей промышленности вода необходима для промывки руды, транспортировки породы и осаждения пыли.

Оборотная система водоснабжения промышленных предприятий применяется при значительном потреблении воды, особенно в условиях её ограниченности и риска загрязнения. В такой системе использованная вода после охлаждения или очистки вновь вводится в производственный процесс. Для компенсации неизбежных потерь периодически добавляется свежая вода.

В случае применения системы для охлаждения воды различают два её типа: открытую и закрытую. В открытой системе охлаждение осуществляется при контакте воды с воздухом, что происходит в градирнях, брызгальных бассейнах или охлаждающих прудах. В закрытой системе вода циркулирует без соприкосновения с атмосферным воздухом и охлаждается в теплообменниках или испарительных установках холодильных станций.

Если отработанная вода загрязняется, система рециркуляции включает этап очистки, где вода проходит через специальные сооружения для удаления загрязнений. Использование таких систем позволяет значительно сократить потребление свежей воды, обеспечивая её экономное и рациональное использование.

Главное преимущество системы оборотного водоснабжения – экономия водных ресурсов. Значительно сокращается потребление свежей воды, снижается нагрузка на окружающую среду, минимизируются сбросы сточных вод в природные водоёмы. К недостаткам следует отнести высокие капитальные затраты, необходимость уста-

новки очистных сооружений и дополнительного оборудования, сложность эксплуатации. Требуются квалифицированные специалисты для управления системой.

Повторная система водоснабжения промышленных предприятий – это способ организации водопользования, при котором использованная в одном технологическом процессе вода после очистки направляется для использования в других технологических процессах. В отличие от оборотной системы, где вода рециркулирует внутри одного цикла, повторная система подразумевает её применение в разных производственных циклах.

Преимущества повторной системы включают экономию водных ресурсов, уменьшение сброса сточных вод и снижение затрат на забор и очистку воды. Повторные системы водоснабжения широко используются на предприятиях металлургической, химической, пищевой промышленности и в других отраслях, где вода задействована в различных производственных процессах. Например, очищенная вода из системы охлаждения может быть направлена для приготовления технических растворов или в процесс мойки оборудования.

Комбинированная система водоснабжения промышленных предприятий представляет собой организацию водопользования, при которой одновременно применяются прямоточные, оборотные и повторные схемы водоснабжения. Такая система создаётся с целью оптимального использования водных ресурсов, снижения их потребления и минимизации сброса загрязнённых вод в окружающую среду.

Принципы работы комбинированной системы следующие: вода высокого качества направляется на процессы, где необходима высокая степень чистоты (например, для приготовления технических растворов или в пищевой промышленности). Менее чистая вода после определённых этапов очистки может использоваться в процессах, менее чувствительных к качеству воды, таких как охлаждение оборудования или промывка. Для процессов, где требуется постоянный большой объём воды, но её качество может быть ниже (например, для охлаждения),

применяется замкнутый цикл (оборотное водоснабжение) с охлаждением воды в градирнях или теплообменниках. Вода, использованная в одном производственном процессе, после очистки направляется в другой технологический цикл (повторное водоснабжение). Это позволяет максимально использовать ресурс перед окончательным сбросом или утилизацией. Для компенсации неизбежных потерь (испарение, утечки) система периодически дополняется свежей водой.

Преимущества комбинированной системы включают экономию водных ресурсов, гибкость в эксплуатации, снижение загрязнения окружающей среды и экономическую эффективность [4].

Комбинированные системы водоснабжения применяются на предприятиях, где водопотребление разнообразно и включает процессы с различными требованиями к качеству воды. Это характерно для металлургических заводов, нефтеперерабатывающих предприятий, энергетики, химических и фармацевтических производств. Например, на металлургическом комбинате свежая вода может использоваться для охлаждения доменных печей (прямоточная схема), оборотная вода – для охлаждения прокатных станов, а очищенные сточные воды – для орошения шлаковых отвалов или технического мытья.

Безвозвратные потери воды в промышленности – это объём воды, который используется в производственных процессах и не возвращается обратно в систему водоснабжения предприятия или окружающей среды. Примеры безвозвратных потерь – испарение, поглощение, утечки и другие. Вода может испаряться при нагревании, охлаждении или других технологических операциях (например, в градирнях). Некоторые материалы могут впитывать воду во время производства (например, древесина, бумага, ткани). Вода может быть частью конечного продукта (например, растворители, химические соединения) и удаляться вместе с ним. Если утечки происходят в местах, где невозможно собрать воду для повторного использования, их также можно считать безвозвратными. Вода может использоваться для промывки оборудования или удаления загрязнений и уходить

вместе с отходами. Такие потери важно учитывать при планировании водопотребления на предприятии, так как они напрямую влияют на общий расход водных ресурсов и эффективность водосберегающих технологий. По видам производства безвозвратные потери могут значительно различаться. В разных отраслях промышленности используются разные технологические процессы, что приводит к различным видам и масштабам безвозвратных потерь воды.

Потребление свежей воды при оборотной системе водоснабжения гораздо ниже, чем при прямоточной. Например, для производства 1 тонны стали при оборотной системе требуется в 10 раз меньше свежей воды, чем при прямоточной; для изготовления каучука – в 12 раз меньше, а для добычи медной руды – в 20 раз. При применении схемы повторного использования воды сброс осуществляется только на последней ступени, следовательно, объём сбросов уменьшается пропорционально количеству ступеней. Таким образом, улучшение производственных технологий должно способствовать снижению объёма сбросов [4].

Требования к качеству воды в промышленности и виды промышленного загрязнения

Требования к качеству воды, используемой в промышленности, зависят от конкретного вида производства и назначения воды. В целом можно выделить следующие ключевые параметры, которым должна соответствовать вода для промышленного использования.

1. Физико-химические показатели. В ряде производств предъявляются определенные требования к жесткости воды. Жесткая вода содержит высокие концентрации кальция и магния, что может вызывать отложение солей на оборудовании и снижать его эффективность. Поэтому для большинства производств требуется мягкая вода. Уровень кислотности или щелочности воды должен находиться в пределах допустимых значений для каждого конкретного технологического процесса. Щелочная или кислая среда может ускорять коррозию металлов, повреждать оборудование. Железо и марганец могут остав-

лять осадок и окрашивать продукцию, что недопустимо в ряде отраслей, например, в текстильной и бумажной промышленности. Хлориды способствуют коррозии металлических поверхностей, поэтому их содержание должно строго контролироваться.

2. Микробиологическое состояние. В воде не должны присутствовать патогенные микроорганизмы, способные нанести вред здоровью работников или повлиять на качество продукции. Особенно это критично в пищевой и фармацевтической промышленности. Наличие колиформных бактерий указывает на возможное загрязнение воды, что неприемлемо для большинства видов производства.

3. Органолептические свойства. Вода должна быть безвкусной и без запаха, особенно если она используется в пищевой промышленности или в производстве напитков. Вода не должна иметь окраски, что важно для текстильных и бумажных производств, где даже незначительное изменение цвета может испортить готовую продукцию. Мутная вода свидетельствует о наличии взвешенных частиц, которые могут забивать фильтры и трубы, а также ухудшать качество продукции.

4. Специальные требования для отдельных отраслей. Вода, используемая в теплоэнергетике, должна иметь низкую минерализацию, чтобы предотвратить образование накипи и коррозии в котлах и турбинах. Для фармацевтики требуется особо чистая вода, соответствующая стандартам для инъекционных препаратов. Для производства полупроводников и микросхем нужна ультрачистая вода, практически свободная от любых примесей. Вода, используемая в пищевой промышленности, должна соответствовать санитарным нормам и требованиям безопасности пищевых продуктов.

В целом вода, используемая в тех или иных отраслях промышленности, должна соответствовать государственным и отраслевым стандартам качества, ГОСТам, СанПиНам и другим нормативным документам.

При комбинированном использовании вода может выполнять сразу несколько функций: служить средой для транспортировки, по-

глощения, извлечения и одновременно выступать в роли теплоносителя (например, при очистке газов). Соответственно, качество воды должно отвечать требованиям, зависящим от той роли, которую она играет в данном комплексном процессе.

Для того чтобы получить воду нужного качества, применяются разнообразные методы очистки. Самый простой из них заключается в устраниении крупнодисперсных примесей, взвешенных частиц и гумусовых соединений. Крупные взвешенные вещества удаляются путем отстаивания, а взвешенные и органические компоненты – посредством коагуляции и фильтрации через песчаные фильтры, что позволяет перевести взвеси в осадок и отфильтровать. Для предотвращения биологического обрастания трубопроводов и оборудования воду периодически хлорируют, а охладительные устройства (градирни) обрабатываются медным купоросом.

Чтобы защитить металл и бетон от коррозии, воду обрабатывают специальными ингибиторами, поддерживая определённый уровень pH. Помимо pH, агрессивность воды по отношению к металлу определяется содержанием хлоридов (Cl) и сульфатов (SO₄), температурой и общим количеством солей. Когда концентрация растворённых солей превышает 1000 мг/л, содержание хлоридов и сульфатов достигает более 150 мг/л, карбонатная жёсткость падает ниже 2 мг-экв/л, а температура поднимается до 70 °C, риск коррозии металла возрастает. По этой причине термальные воды, особенно с высоким содержанием соли, обладают повышенной агрессивностью. В местах, где требуется добавка фтора, проводят фторирование (добавляют NaF), а при избыточном содержании фтора применяют обработку серной кислотой. Для устранения железа из воды (превращения Fe²⁺ в Fe³⁺) используют аэрацию, коагуляцию, обработку перманганатом калия и другие методы. Для уменьшения жёсткости воды применяют умягчение воды содой, а для подземных вод с высокой жёсткостью – ионный обмен, электролиз, дистилляцию и гиперфильтрацию.

Что касается воздействия промышленного производства на водные ресурсы, то теплоэнергетика в основном вызывает тепловое загрязнение водных объектов, а также частично механическое. При использовании воды в технологических процессах она загрязняется преимущественно крупнодисперсными взвешенными частицами. Максимальное и самое разнообразное химическое загрязнение вода получает, когда она используется в качестве сырья или растворителя [4].

Эффективность использования водных ресурсов в промышленности

Оценка эффективности использования воды в промышленности основывается на анализе ряда показателей, которые помогают определить, насколько рационально и продуктивно используется водный ресурс. Основные критерии оценки включают следующие показатели.

Коэффициенты водопотребления: удельный расход воды и коэффициент оборотного водоснабжения. Удельный расход воды показывает количество воды, необходимое для производства единицы продукции. Он рассчитывается как отношение общего объема использованной воды к объему произведенной продукции. Чем ниже удельный расход, тем эффективнее использование воды. Коэффициент оборотного водоснабжения отражает долю оборотной воды в общем объеме водопотребления. Высокая доля оборотной воды свидетельствует о снижении потребления свежей воды и повышении эффективности водного хозяйства.

Показатели эффективности оборотного водоснабжения: степень регенерации воды, срок службы оборотной воды. Степень регенерации воды характеризует процентное соотношение регенерированной воды к общему объему оборотной воды. Чем выше этот показатель, тем меньшее количество свежей воды требуется для пополнения системы. Срок службы оборотной воды – это время, в течение которого вода циркулирует в системе до необходимости замены или добавления свежей воды. Увеличение этого срока говорит о повышении эффективности использования воды.

Анализ потерь воды: безвозвратные потери и возвратные потери. Оцениваются объемы воды, которые уходят из системы безвозвратно (например, через испарение, поглощение продукцией, утечку). Минимизация этих потерь улучшает общую эффективность водного хозяйства. Возвратные потери включают воду, которая может быть возвращена в систему после соответствующей очистки. Эффективная работа очистных сооружений позволяет снизить эти потери и увеличить долю оборотной воды.

Пути экономии воды в промышленности

Экономия воды в промышленности является важной задачей, позволяющей снизить издержки, уменьшить нагрузку на водные ресурсы и сократить воздействие на окружающую среду. Существует множество подходов и технологий, которые помогают эффективно использовать воду в производственном процессе. Одним из ключевых направлений является оптимизация технологических процессов и использование водосберегающих технологий. Например, замена мокрых технологий на сухие, где это возможно, а также модернизацию оборудования для снижения водопотребления. Замкнутая система водоснабжения, предполагающая многократное использование воды после её предварительной очистки, также является эффективным способом экономии.

Другим важным аспектом является контроль за утечками. Регулярные проверки трубопроводной сети и мониторинг давления и расхода воды помогают выявить и устранить возможные утечки, предотвращая ненужные потери. Повышение эффективности охлаждения достигается за счет использования замкнутых систем охлаждения и аэрозольного охлаждения, что позволяет снизить расход воды.

Очистка и повторное использование сточных вод представляют собой перспективные варианты для сокращения водопотребления. Оптимизация работы оборудования и автоматизация процессов помогают экономить воду и использовать ее эффективнее.

Большое значение имеет разработка научно обоснованных норм водопотребления и водоотведения, соблюдение технологической дисциплины. Информирование и обучение персонала, а также мотивация сотрудников на поиск инициатив по экономии воды способствуют созданию культуры бережливого отношения к водным ресурсам.

Наконец, создание системы мониторинга и регулярная подготовка отчетов о водопотреблении позволяют отслеживать динамику использования воды и оценивать результаты принятых мер. Экономическим стимулом для экономии воды является плата за воду. Такой комплексный подход к экономии воды в промышленности не только снижает затраты, но и способствует улучшению эффективности использования водных ресурсов на предприятии.

4.2.3. Водоснабжение в сельском хозяйстве

Сельское хозяйство занимает одно из центральных мест среди отраслей экономики. В сельских районах проживает более половины населения страны. В последние годы заметное улучшение бытовых условий в деревнях и активное развитие аграрного сектора привели к значительному улучшению водоснабжения сельского хозяйства. Вода в этой отрасли используется в большом количестве для различных целей: обеспечение питьевой водой жителей села, снабжение ферм, предприятий по первичной обработке сельхозпродукции, приготовление жидких удобрений для полевых культур, охлаждение моторов сельскохозяйственной техники и автотранспорта, а также полив растений в парниках и теплицах.

Системы сельскохозяйственного водоснабжения по своему назначению делятся на несколько основных групп. Хозяйственно-питьевое водоснабжение – водой обеспечивается население сельских районов. Включает системы подачи воды в жилые дома, общественные здания и учреждения. Системы водоснабжения животноводческих комплексов и сельскохозяйственных предприятий. Предназна-

чены для обеспечения водой животноводческих комплексов и ферм. Вода используется для поения скота, уборки помещений, санитарной обработки животных и оборудования. Вода также используется на предприятиях, занимающихся первичной обработкой зерна, овощей, фруктов и другой продукции, для мойки сырья, охлаждения оборудования, приготовления растворов и других технологических процессов. Системы пастбищного водоснабжения – это комплекс инженерных сооружений и мероприятий, направленных на обеспечение водой сельскохозяйственных животных, которые находятся на пастбище. Эти системы играют важную роль в животноводстве, особенно в районах с недостаточным количеством природных источников воды. Системы полевого водоснабжения представляют собой инженерные комплексы, предназначенные для обеспечения полива сельскохозяйственных культур на открытых полях. Они используются для доставки воды от источника до орошаемых участков земли, что позволяет поддерживать оптимальный уровень влажности почвы и способствует повышению урожайности [42].

В сельском водоснабжении основными потребителями воды являются сельское население и производственные объекты. Нормы водопотребления для сельского населения устанавливаются в зависимости от уровня благоустройства населённых пунктов и сопоставимы с городскими стандартами. Расходы воды для производственных объектов, таких как ремонтные мастерские, электростанции и предприятия по переработке сельскохозяйственной продукции, рассчитываются исходя из технологических требований проекта. Объём водопотребления в сельских поселках варьируется от нескольких десятков до нескольких тысяч кубометров в сутки, в зависимости от вида хозяйственной деятельности. В зерноводческих хозяйствах расход воды на одного жителя ниже, чем в животноводческих. Например, в южных зерносовхозах водопотребление центральной усадьбы обычно составляет 1000–1500 м³/сут.

Системы водоснабжения сельских поселков

Система водоснабжения сельских поселков выполняет важные функции, направленные на обеспечение жизнедеятельности населения и поддержку хозяйственной деятельности. Основная цель этой системы – предоставить жителям питьевую воду нужного качества в достаточном количестве для ежедневных нужд, таких как приготовление пищи и личная гигиена. Помимо этого, вода используется для обеспечения сельскохозяйственных предприятий, ферм и ремонтных мастерских. Она необходима для поения скота, уборки помещений, а также для технологических процессов на сельскохозяйственных предприятиях, таких как мойка сырья, охлаждение оборудования и переработка сельхозпродукции (зерновых, молочных, мясных и овощных продуктов). Вода также используется для обслуживания двигателей сельскохозяйственной техники, обеспечивая их охлаждение. Наличие гидрантов и достаточного запаса воды позволяет оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации, связанные с возгораниями, и защищать материальные ценности и жизни людей.

Система водоснабжения сельских поселков организуется с учетом особенностей местной инфраструктуры, доступности водных ресурсов и потребностей населения. В качестве источников воды могут использоваться поверхностные водные объекты (реки, озера, водохранилища). Артезианские скважины и колодцы широко распространены в сельских районах, где нет крупных рек или озёр. Вода забирается из источников насосами и направляется в систему распределения. Для равномерного распределения воды в течение суток её хранят в накопительных резервуарах, а регулирующие ёмкости поддерживают постоянное давление в системе водоснабжения. Далее вода подается в магистральные трубопроводы, доводится до поселков и по водопроводным сетям внутри населённых пунктов подводится к домам и общественным зданиям.

При наличии защищённых подземных вод требуемого качества система водоснабжения сельского поселка состоит из водозаборного

сооружения в виде двух или нескольких трубчатых колодцев, оборудованных погружёнными насосами, регулирующих резервуаров, насосной станции второго подъёма и разводящей сети. На насосной станции второго подъёма устанавливают насосы с производительностью, позволяющей подавать как пиковые, так и минимальные расходы воды, а также пожарный насос, который обеспечивает тушение пожара непосредственно из пожарных гидрантов (без использования пожарной машины) [82].

Население, проживающее в одноэтажных домах, часто получает воду из водоразборных колонок. Если качество подземных вод не соответствует санитарным нормам, установленным для питьевой воды, система водоснабжения оснащается установками для очистки воды.

Если для водоснабжения используется поверхностный источник (река, озеро), то система водоснабжения меняется: используются другие типы водозаборных сооружений, а также применяются специальные установки для очистки и обеззараживания воды. В системах сельскохозяйственного водоснабжения широко применяются безреагентные методы осветления воды на медленных фильтрах.

В ряде сельскохозяйственных районов России подземные воды имеют высокую степень минерализации, а поверхностные водоемы встречаются редко. В таких ситуациях строятся групповые водопроводы, которые берут воду из отдаленных водоемов с большим запасом воды. Примеры таких систем – Ишимский и Булаевский водопроводы, снабжающие сотни населённых пунктов. Групповые системы также распространены в Ставропольском крае, Голодной степи и на Кавказе. Иногда воду берут из каналов обводнительно-оросительных систем [44].

В районах с нехваткой пресной воды для водоснабжения сельских поселений используют минерализованные воды из подземных и поверхностных источников. Эти воды опресняют до нужных показателей для питья и бытовых нужд. Учитывая высокую стоимость опреснения, рекомендуется создавать дуплексные системы водо-

снабжения, подающие как пресную, так и минерализованную воду. Выбор источника и типа водозабора зависит от гидрологических условий каждого конкретного района.

Системы водоснабжения животноводческих комплексов и ферм

Эти системы обеспечивают подачу воды требуемого количества и качества для потребителей, включая противопожарные нужды. Расход воды рассчитывается согласно установленным нормам, а потребление на пожаротушение варьируется от 5 до 20 литров в секунду в зависимости от размеров комплекса, при продолжительности тушения в течение 3 часов.

Типовая схема водоснабжения включает следующие элементы: водозабор с насосной станцией, разводящая сеть и регулирующие сооружения (водонапорная башня и резервуар для противопожарного запаса воды). Если требуется улучшение качества воды, добавляются установки для очистки и обеззараживания.

Пример схемы для фермы на 400 молочных коров включает трубчатый колодец, погружной насос, водонапорную башню и разводящую сеть. Емкость бака водонапорной башни обычно составляет 12–15 % от суточного потребления воды. Стандартные водонапорные башни для ферм имеют бак объемом 25 м³. Конструкции насосных станций, водонапорных башен и смотровых колодцев выполняются из сборного железобетона. Трубы водопроводной сети изготавливаются из асбестоцемента или полиэтилена, а вводы в здания – из чугуна.

В промышленных животноводческих комплексах применяют безбашенные системы водоснабжения высокого давления. Для небольших ферм с суточным расходом воды до 40 м³ часто используют подземные воды, добываемые из шахтных колодцев. Для подъема воды применяют автоматические пневматические установки. Если расход воды небольшой, установка включается редко, но в моменты пикового потребления она работает непрерывно до снижения нагрузки. Аналогично работают установки с погружными насосами, предназначенные для подъема воды из трубчатых колодцев глубиной до 40 метров [134].

Объемы требуемой воды рассчитываются в соответствии с отраслевыми нормами. В жарких и сухих районах норма водопотребления может увеличиваться до 25 %. Расход воды на удаление навоза составляет от 4 до 10 л на одну голову в зависимости от метода его утилизации. Нормы водопотребления на поение животных составляют: для овец и коз – 10 л в сутки для взрослых особей и 6 л для молодняка; для лошадей – 50 л в сутки на одну голову. Рекомендуемая температура воды для поения животных – 5...15 °С. Слишком теплая вода хуже утоляет жажду, а слишком холодная снижает продуктивность скота и увеличивает расход кормов [16].

Животноводческие комплексы и фермы должны обеспечиваться водой питьевого качества в соответствии с СанПиН 2.1.3684-21. В районах с дефицитом пресной воды допускается использование минерализованной воды для поения животных, приготовления кормов, уборки помещений и мытья животных, если невозможно подать воду питьевого качества на все нужды фермы. Допустимый уровень минерализации такой воды регулируется отраслевыми нормативами.

Система пастбищного водоснабжения

Представляет собой комплекс инженерных решений, предназначенные для обеспечения сельскохозяйственных животных водой во время их пребывания на пастбищах. Особенno важна такая система в засушливых районах с недостаточным количеством природных источников воды.

На пастбищах пустынных и полупустынных зон Средней Азии и Казахстана водоснабжение обеспечивается водопойными пунктами. Задача водоснабжения здесь сложна и зависит от характера источника воды и местных условий. Расход воды на пунктах невелик – от 5 до 20 м³/сут, один пункт обслуживает до 2000 овец или 250 голов крупного рогатого скота. Режим водопотребления меняется в зависимости от сезона: летом скот пьет 2-3 раза в сутки, зимой потребность в воде снижается. Для поения скота допустима вода непитьевого качества, тогда как для людей необходима вода, соответствующая сани-

тарным нормам. В ряде случаев эту воду подвозят на расстояние до 20 км от источников питьевой воды или воды, требующей минимальных затрат на ее очистку. Деминерализация воды, ее очистка и обеззараживание в необходимых случаях производится с помощью передвижных установок.

Схема водоснабжения водопойного пункта состоит из следующих сооружений: водозабора с водоподъемной установкой, регулирующей емкости и водопойной площадки с корытами. В некоторых районах Кавказа и Средней Азии невозможно обеспечить каждый водопойный пункт отдельным источником воды. Поэтому там строят групповые системы водоснабжения, использующие центральный водозабор и сеть водоводов для обслуживания нескольких пунктов. В Казахстане воду иногда доставляют на водопойные пункты в автоцистернах.

Размещение водопойных пунктов определяется радиусом водопоя – расстоянием от пункта до самой удалённой точки пастбища. Плотность сети пунктов зависит от кормовой ценности пастбищ и определяется технико-экономическими расчётами. Оптимальную схему водоснабжения выбирают на основе анализа различных вариантов, учитывая местные условия и экономические показатели.

Системы полевого водоснабжения

Это комплекс инженерных сооружений и технологий, предназначенных для обеспечения полива сельскохозяйственных культур на открытых полях. Он используется для доставки воды от источника к орошающим участкам земли. Особенности систем полевого водоснабжения связаны с их сезонностью. Полевые станции функционируют с ранней весны до поздней осени, обеспечивая работников питьевой водой, а сельскохозяйственную технику – водой с жёсткостью до 7 мг-экв/л. На станах, обслуживающих пропашные культуры, подача воды требуется и для подкормки растений, что увеличивает суточный расход до 1000–1200 м³. Для колосовых культур расход воды составляет 10–15 м³/сут, из которых 2–3 м³/сут приходится на питьевую воду [32].

Схема водоснабжения полевого стана зависит от источника воды. Если доступны подземные воды хорошего качества с жёсткостью до 7 мг-экв/л, то система будет включать водозабор с водоподъёмной установкой, регулирующую емкость, водозаборную колонку для снабжения водой людей и кран для заправки двигателей сельскохозяйственных машин. Когда вода из источника требует дополнительной обработки, в систему водоснабжения интегрируются установки для очистки, обеззараживания и умягчения воды. Часто для этого используются передвижные установки, смонтированные на автоприцепах, способные обслуживать сразу несколько полевых станов. Также возможен вариант подвоза воды автоцистернами и использование ветродвигателей для подъёма воды.

4.3. Использование бытовых сточных вод для орошения и земледелия

Согласно статистическим данным, в России наибольшее количество воды потребляется в сельском хозяйстве – около 66 % от общего объема водопотребления. При этом только 17 % используемой воды возвращается обратно в водоемы. С древних времен люди использовали реки и водоемы для отвода сточных вод от поселений, параллельно пытаясь предотвратить их загрязнение. Применение хозяйственно-бытовых сточных вод в сельском хозяйстве, особенно в странах с засушливым климатом, получило широкое распространение. Это позволяет экономить водные ресурсы, минеральные и органические удобрения, а также увеличивать производство продовольствия. Такие стоки чаще всего используют для орошения сельскохозяйственных культур, полива зеленых насаждений, в прудовом хозяйстве и аналогичных целях.

Коммунальные сточные воды для орошения сельскохозяйственных земель активно используются в Индии, США, Израиле, Мексике и других странах. Например, в Мексико значительная часть стоков ис-

пользуется для полива 80 тыс. га земли, занятых люцерной, кукурузой, ячменем и овсом. В Израиле, Иордании, Перу и Саудовской Аравии повторное использование сточных вод для орошения является государственной политикой. В Израиле утилизируется свыше 70 % городских стоков. В Московской области в 1970-1980-х годах сточными водами орошалось 5 тыс. га земли, преимущественно под многолетними травами. Очищенные сточные воды также широко применяются для полива зеленых насаждений в США, Латинской Америке, Австралии, Средиземноморье, арабских странах и Северной Африке.

Сточные воды также находят применение в прудовых хозяйствах, где они используются для выращивания рыбы и водных растений. В Калькутте (Индия) существует крупнейшая в мире система площадью 4400 га, куда направляются неочищенные бытовые и ливневые стоки. В этих прудах разводят карпа и тиляпию, которые достигают товарной массы за 5–6 месяцев, обеспечивая продуктивность более 1000 кг/га. В Мюнхене (Германия) около 75 % отстоянных стоков проходит дополнительную очистку в рыбоводных прудах.

Бытовые сточные воды содержат высокие концентрации патогенных микроорганизмов, таких как вирусы, бактерии, простейшие и гельминты. Кроме того, в городах, где промышленные стоки смешиваются с бытовыми, присутствуют химические загрязнители, включая тяжёлые металлы и неразлагаемую органику. Всемирная организация здравоохранения разработала стандарты качества сточных вод для орошения, требующие снижения количества яиц гельминтов до 1 и менее на литр, что подразумевает удаление около 99,9 % загрязнений в процессе предварительной подготовки стоков [21].

Российское законодательство допускает использование сточных вод для орошения, однако это строго регламентировано и требует соблюдения определённых условий [130]. Использование сточных вод для орошения возможно только после их соответствующей очистки и дезинфекции. Сточные воды, используемые для орошения, должны соответствовать установленным гигиеническим стандартам. Они

должны пройти предварительную обработку, чтобы снизить содержание патогенных микроорганизмов, химических веществ и тяжёлых металлов до безопасных уровней. Использование сточных вод разрешено только для определённых видов сельскохозяйственных культур, которые не употребляются в пищу в сыром виде. Например, это могут быть технические культуры, корма для животных, древесные породы и декоративные растения. Важно правильно выбирать методы орошения, чтобы избежать прямого контакта сточных вод с растениями и почвой. Предпочтительны методы подземного орошения или капельного полива. Процесс использования сточных вод для орошения должен сопровождаться регулярным мониторингом качества воды и состояния почвы. Это необходимо для предотвращения возможного загрязнения окружающей среды и защиты здоровья людей.

Все действия по использованию сточных вод для орошения должны осуществляться в строгом соответствии с действующими законодательными актами Российской Федерации, такими как Федеральный закон "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" (№52-ФЗ) [100] и соответствующие СанПиНЫ.

Поверхностный полив приводит к значительным потерям воды из-за стока, просачивания и испарения. Растения используют лишь около трети воды, используемой для полива, остальное теряется. Внутрипочвенное капельное орошение позволяет доставлять воду прямо к корням с минимальными потерями. Оно поддерживает оптимальную влажность почвы на протяжении всего вегетационного периода. Традиционное орошение создает резкие колебания влажности почвы, тогда как капельное орошение автоматически регулирует подачу воды, что упрощает расчёт площади орошаемого участка. Правильно спроектированная система капельного полива равномерно распределяет сточную воду, богатую азотом и фосфором, что способствует равномерному развитию растений и своевременному созреванию урожая. Это упрощает сбор урожая и снижает его потери. Капельное орошение предотвращает намокание растений и плодов,

снижает риск заболеваний и повышает качество урожая. Внутрипочвенный капельный полив уменьшает вероятность бактериологического и паразитологического загрязнения продукции, так как исключается прямой контакт сточных вод с частями растений, употребляемыми в пищу. Исследования показывают, что почва служит естественным фильтром, уничтожая болезнетворные микроорганизмы, содержащиеся в сточной воде.

Дозированное капельное орошение является оптимальным способом полива, так как вода подается непосредственно к корням, не препятствуя дыханию корневой системы. Почва вокруг корней поддерживается в оптимальном влажном состоянии. Этот метод подходит для полива деревьев, кустарников, цветников и плодовых растений. Он особенно эффективен на суглинистых и глинистых почвах. Готовые системы капельного полива чувствительны к содержанию взвесей в воде, поэтому не подходят для полива неочищенными сточными водами [46].

4.4. Использование осадков сточных вод и активного ила в качестве удобрений

Осадки сточных вод и активный ил могут рассматриваться как потенциальные источники питательных веществ для растений, содержащие важные макроэлементы, такие как азот, фосфор и калий. Однако их использование в качестве удобрений сопряжено с необходимостью тщательной оценки и переработки, так как они могут содержать опасные примеси, включая тяжёлые металлы, патогенные микроорганизмы и токсичные органические соединения. Перед внесением осадков и активного ила в почву необходимо провести их детоксикацию и обеззараживание, чтобы исключить риски для экосистем и здоровья человека. После специальной обработки, которая гарантирует уничтожение патогенных микроорганизмов и паразитов,

осадки сточных вод и избыточный активный ил могут использоваться как удобрения [83].

Термическая сушка является одним из самых эффективных способов обезвоживания таких отходов. Методы обезвоживания, включающие использование фильтр-прессов, центрифуг и сушки, позволяют получить удобрения в виде гранул, которые удобно транспортировать, хранить и вносить в почву. Такое удобрение богато азотом, фосфором и другими важными элементами. В России действуют строгие санитарные и экологические требования, определяющие параметры безопасного использования подобных материалов в агротехнических целях.

Хотя осадки сточных вод и активный ил содержат питательные вещества, в них также могут присутствовать тяжёлые металлы и другие токсичные соединения. Для безопасного применения осадков в качестве удобрений требуется их предварительная обработка, включая извлечение тяжёлых металлов и вредных примесей.

В Германии осадки сточных вод перед применением в качестве удобрений проходят специальную обработку, включая термическую сушку, компостирование и пастеризацию. Пастеризация проводится при температуре 65–70 °С в течение 20–30 минут, что уничтожает яйца гельминтов и патогенные микроорганизмы. Более высокая степень обезвреживания достигается при повышении температуры до 80–90 °С с последующим выдерживанием в течение 5 минут. Если осадки содержат большое количество тяжёлых металлов, что делает их непригодными для использования в качестве удобрений, предлагаются применять альтернативные методы утилизации, такие как сжигание [87]. Методы утилизации активного ила разнообразны и включают его использование в качестве флокулянта для сгущения суспензий, получения сорбентов и сырья для производства строительных материалов. Исследования показали, что сырой активный ил и осадки сточных вод могут быть переработаны в цементном производстве, что подтверждает их потенциальное применение в промышленности.

ГЛАВА 5. ПРОБЛЕМЫ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ

5.1. Качество воды водных объектов. Использование и охрана вод

В России водозабор составляет менее 2 % от общего объема доступных водных ресурсов. Наибольшая доля извлекаемой воды (64 %) используется в промышленности. Остальная часть делится практически поровну между сельским хозяйством и коммунальными нуждами, составляя 17 % и 19 % соответственно. Водообеспечение большинства крупных городов страны осуществляется за счет поверхностных водоисточников, которые не имеют должной защиты.

Орошающее земледелие позволяет использовать малопродуктивные и неиспользуемые земли, превращая их в высокоурожайные участки для сельского хозяйства. На орошаемых землях производится более 90 % всех овощей и бахчевых культур, около 50 % садов, а также весь выращиваемый рис. Стоимость продукции с 1 га орошаемых земель в три раза выше, чем на неорошаемых.

Водный транспорт, преимущественно используемый для внутренних грузоперевозок, является самым экономичным видом транспорта. Содержание водных путей обходится в десятки раз дешевле, а затраты на топливо и стоимость перевозок на тонно-километр значительно ниже, чем на железнодорожном транспорте, и в десятки раз меньше, чем на автомобильном. Высокие транспортные возможности водных объектов России создают перспективы для существенного развития водного транспорта в будущем.

Рекреация на водных объектах, включающая отдых на воде, также является экономически выгодной, поскольку затраты на организацию такого отдыха значительно ниже, чем на другие виды рекреации.

В России ежегодно используется 61,3 км³ пресной воды. Более 80 % этого объема приходится на регионы с водопотреблением свыше 0,5 км³ в год. Наибольшие объемы воды потребляют те территории, где находится большое количество орошаемых земель, такие как Республика Дагестан, Краснодарский и Ставропольский края, Ро-

стовская область, а также регионы с развитой промышленностью. Примером таких регионов являются Тюменская область и Красноярский край, где основное место занимает добывающее и обрабатывающее производство. В промышленности основной потребитель воды – это тепловые и атомные электростанции. Поэтому самые высокие показатели промышленного водопотребления наблюдаются в Ставропольском, Красноярском, Пермском краях, а также в Ленинградской, Ростовской, Кемеровской, Оренбургской, Костромской, Тюменской, Мурманской и других областях.

На данный момент водопотребление для нужд сельского хозяйства в большинстве федеральных округов, за исключением Южного округа, сведено к минимуму. Это объясняется тем, что даже имеющиеся орошаемые земли в этих округах не получают воды для полива. В Южном федеральном округе, где находятся основные орошаемые территории России, потребление воды для нужд сельского хозяйства практически не изменилось. Что касается водопотребления на коммунальные нужды, то оно сохраняется на стабильном уровне во всех округах страны.

Основным недостатком водных ресурсов России является их крайне неравномерное распределение по территории, что не совпадает с потребностями в пресной воде. Эта проблема усугубляется в ряде южных регионов, где миграция населения, сокращение водных ресурсов и их загрязнение создают особенно острые вопросы водообеспечения.

Состояние водных объектов, таких как реки, водохранилища, озера, каналы и пруды, ухудшается из-за загрязнения, вызванного поступлением значительных объемов сточных вод, особенно в экономически развитых районах. В результате большинство водоёмов можно отнести к категории загрязнённых или сильно загрязнённых. Только в верховьях некоторых рек вода сохраняет качество, которое позволяет отнести её к чистым или умеренно загрязнённым. Режимы водоохранных зон и прибрежных полос часто не соблюдаются: эти территории подвергаются застройке и используются для различных

хозяйственных нужд. Кроме того, многие гидротехнические сооружения требуют ремонта [33].

Поверхностные водные объекты

Загрязнение поверхностных водных объектов в России является особенно актуальной проблемой, поскольку оно снижает или полностью исключает способность водоемов к естественному самоочищению. Основными источниками загрязнения являются сточные воды промышленных предприятий, коммунальные стоки, а также сточные воды сельского хозяйства [54].

Одним из главных факторов загрязнения водоемов является сброс сточных вод. В России ежегодно в водные объекты сбрасывается до 52 км³ сточных вод. Из этого объема 19,2 км³ подлежат очистке. Однако более 72 % сточных вод, подлежащих очистке, сбрасывается в водоемы с недостаточной очисткой (13,8 км³), 17 % (3,4 км³) сбрасывается без предварительной очистки, а только 11 % (2 км³) очищается до требуемых норм.

Ежегодно в поверхностные водные объекты России поступает около 11 миллионов тонн загрязняющих веществ в составе сточных вод. Особенно большой объем загрязненных сточных вод сбрасывается предприятиями жилищно-коммунального хозяйства – более 60 % от общего объема сточных вод в стране. Это связано со значительным износом очистных сооружений, использованием устаревших технологий очистки сточных вод, приемом загрязненных стоков промышленных предприятий.

Среди крупных городов России наибольшие объемы забора воды и её отведения приходятся на Москву, Санкт-Петербург, Новочеркасск, Нижний Новгород, Новосибирск и другие важнейшие промышленные центры и города-миллионники. В бассейне Каспийского моря основная нагрузка по водопотреблению и водоотведению, включая сброс загрязненных сточных вод, ложится на реку Волгу и ее притоки. Этот регион также характеризуется самыми высокими потерями воды при транспортировке среди всех речных бассейнов России.

Сбросы промышленных сточных вод составляют 25 % от общего объема сбрасываемых загрязненных сточных вод. Основными производствами, загрязняющими водные объекты, являются предприятия целлюлозно-бумажной, химической и металлургической промышленности, а также производства кокса, добыча и переработка нефтепродуктов, добыча металлических руд, угля и другие. Эти отрасли вносят значительный вклад в загрязнение водоемов, что требует внедрения более эффективных методов очистки и контроля за сбросами сточных вод.

Значительное воздействие на водные объекты оказывает диффузный сток с сельскохозяйственных угодий, населенных пунктов, а также с территорий, занятых отвалами и отходами промышленности. Важной частью экосистемы речного бассейна является водосбор, где атмосферные осадки преобразуются в различные виды стоков – поверхностный, внутрипочвенный и подземный, что влияет на формирование водных ресурсов. Развитие промышленности, сельского хозяйства, энергетики, транспорта и рост городского населения оказывают комплексное влияние на гидрологический режим и качество вод. В процессе освоения водосборных территорий изменяются рельеф местности, структура ландшафта, а также гидрологические и гидрогеологические условия, что приводит к ухудшению состояния почвы и растительности. В свою очередь, такая хозяйственная деятельность вызывает деградацию водосборных территорий, нарушает равновесие экосистем, приводит к изменениям в круговороте веществ и потоках энергии, что отрицательно сказывается на способности водосборов регулировать стоки, а также на качестве и количестве формирующихся вод.

Поступление фосфора и азота в водоемы с водосборных территорий, с водами притоков способствует ускорению процессов эвтрофикации. Исследования показали, что концентрации биогенных веществ, которые не приводят к эвтрофированию, значительно ниже предельно допустимых концентраций (ПДК) как для водоснабжения,

так и для рыбоводства. Однако в периоды весеннего половодья в стоке малых рек ПДК по ряду элементов часто превышены, особенно по аммонийному и нитритному азоту. Во многих регионах влияние сельского хозяйства на загрязнение водоемов соединениями биогенных элементов составляет более 70 %.

Высокий уровень антропогенного загрязнения вод рек, озер, водохранилищ приводит к накоплению загрязняющих веществ, в том числе токсичных, в донных отложениях, водной растительности и водных организмах.

На территории России большинство водохозяйственных участков сталкивается с серьезными проблемами загрязнения водных объектов и плохим качеством воды. Особенно напряженная экологическая обстановка наблюдается в бассейнах рек Волги, Оби, Енисея, Амура, Северной Двины и Печоры, а также в бассейнах рек Дона, Кубани, Терека и водоемах бассейна Балтийского моря.

Для сохранения водных экосистем, сокращения объемов загрязненных сточных вод, сбрасываемых промышленными предприятиями, требуется модернизация очистных сооружений, применение новейших технологий очистки. Для защиты и восстановления малых рек, необходимо в первую очередь уменьшить антропогенное воздействие, вызванное рассредоточенным (диффузным) стоком. Важно восстановить естественные процессы самоочищения рек и внедрить комплекс мероприятий по экологической реабилитации водоемов, как в городах, так и в сельских населенных пунктах.

К числу наиболее распространенных загрязняющих веществ, попадающих в поверхностные водоемы со сточными водами, относятся тяжелые металлы, нефтепродукты, фенолы, диоксины, бенз(а)пирен, синтетические моющие вещества (СПАВ), углеводороды, радиоактивные вещества, пестициды, нитраты, аммонийный азот и фосфор. Азотные удобрения, широко используемые в сельском хозяйстве, усваиваются растениями лишь на 60 %, а остальная часть теряется в виде газообразных веществ или вымывается в процессе

осадков. Фосфорные удобрения, включая аммофос, нитрофоски и суперфосфаты, могут также содержать тяжелые металлы. Например, при внесении 90 кг/га суперфосфата в почву поступает 11 г меди, 55 г свинца и 1 г кадмия. Пестициды, применяемые в сельском хозяйстве, являются высокоактивными биологически опасными веществами, которые могут негативно воздействовать на человека, животных и полезные микроорганизмы. Например, только 3 % применяемого инсектицида остаются активными, в то время как остальные 97 % теряются, загрязняя почву и накапливаясь в растениях и животных. Некоторые пестициды также содержат тяжелые металлы, такие как ртуть, цинк, медь и железо. Содержание ртути в гранозане может достигать 75,6 %, а в фунгицидах часто присутствуют медь и цинк [211].

Одним из источников загрязнения почвы являются загрязненные атмосферные осадки [42]. Среднегодовая минерализация осадков в европейской части России составляет от 10 до 20 мг/л, при этом концентрации сульфатов и нитратов могут достигать 35–40 % от общей минерализации осадков. В отдалённых от промышленных центров районах выбросы нитратного азота не превышают 0,1 т/км² в год, тогда как в промышленных зонах, особенно там, где развиты чёрная металлургия и топливно-энергетическая отрасль, они могут превышать 4 т/км² в год.

Кислотность осадков, вызванная присутствием серной и азотной кислот, увеличивается по мере приближения к западной границе России, тогда как в восточных и южных районах наблюдается тенденция к повышению щелочности. В нашей стране часто встречается западный перенос атмосферных осадков, что приводит к поступлению загрязняющих веществ из других стран, в первую очередь из Центральной и Восточной Европы. Атмосферные осадки также могут содержать тяжелые металлы, такие как свинец, кадмий, мышьяк, торий, ртуть, хром, никель, цинк, марганец, кобальт, медь и другие. Концентрация свинца в осадках может варьироваться от 1,6 мкг/л в районах, удаленных от промышленных зон, до 350 мкг/л и выше в крупных го-

родах. Ртуть, поступая в атмосферу при сжигании угля и выбросах предприятий цветной металлургии, осаждается с дождем и снегом, проникая в почву и водные экосистемы, где, благодаря деятельности микроорганизмов, она трансформируется в метилртуть – высокотоксичное органическое соединение [51, 131, 156].

Коллекторно-дренажные воды гидромелиоративных систем также являются источником загрязнения водных объектов. Эти воды часто содержат повышенные концентрации загрязняющих веществ, что делает их опасными для почвы, подземных вод и сельскохозяйственных культур. Для защиты почв и водных экосистем от загрязнения, вызванного оросительными водами, необходимо внедрение обоснованных норм и эффективного контроля качества этих вод [41, 108].

Вблизи крупных промышленных предприятий на крупных реках и водохранилищах могут образовываться донные отложения с высоким содержанием загрязняющих веществ, таких как тяжелые металлы, нефтепродукты, хлороганические соединения и другие токсичные вещества. В водохранилищах, расположенных в сельскохозяйственных районах, основными загрязняющими компонентами в донных отложениях являются азотные и фосфорные соединения, поступающие из удобрений. Особенно опасными для экосистем являются полихлорированные бифенилы, инсектициды (например, ДДТ, линдан, гексахлорбензол), полициклические ароматические углеводороды и углеводороды нефти.

В донных отложениях рек, таких как Волга, уровень загрязнения существенно ниже, чем в реках Центральной Европы, что связано с меньшим объемом сточных вод, поступающих от промышленных предприятий, а также с более высоким уровнем стока, обеспечивающим эффективное разбавление загрязняющих веществ. Однако полагаться только на разбавление нельзя: донные отложения могут служить источником вторичного загрязнения водных ресурсов рек, озер и водохранилищ [3, 38, 60].

Несовершенство существующей системы водопользования ведет к изменениям в геоэкосистемах водосборных территорий, что требует применения экосистемного подхода в водопользовании и землепользовании в бассейнах рек. Это подразумевает разработку и внедрение организационно-хозяйственных мер, направленных на сохранение баланса между природным потенциалом ландшафтов и уровнем антропогенного воздействия.

Один из подходов к экологизации хозяйственной деятельности – это управление состоянием водосборных территорий, что предполагает очистку поверхностного стока, соблюдение режима водоохраных зон, обеспечение экологической безопасности. Леса на водосборных территориях, к примеру, играют ключевую роль в снижении загрязнения вод, замедляя процесс таяния снега, что, в свою очередь, уменьшает интенсивность поверхностного стока и способствует более эффективному проникновению воды в почву. Важную роль в снижении загрязненности воды также играет травянистая растительность, которая усиливает противоэрозионные свойства почвы. Растительность способствует лучшему удержанию осадков в почвах и снижает вынос биогенных веществ, что на нераспаханных лугах и в лесах происходит в 3-10 раз реже по сравнению с сельскохозяйственными угодьями.

Подземные воды

Несмотря на относительную защищенность подземных вод, их качество ухудшается с каждым годом. На территории Российской Федерации зафиксировано около 6 тысяч участков техногенного загрязнения подземных вод, в первую очередь в Приволжском, Сибирском и Центральном федеральных округах. Наибольшее количество участков, где обнаружены загрязняющие вещества 1 класса опасности (чрезвычайно опасные), расположено в районах с крупными промышленными предприятиями [33].

Основными загрязняющими подземные воды веществами являются соединения азота (нитраты, нитриты, аммиак или аммоний),

нефтепродукты, сульфаты, хлориды, тяжелые металлы (медь, цинк, свинец, кадмий, кобальт, никель, ртуть, сурьма), фенолы.

Наибольшее загрязнение подземных вод происходит из-за нефтепродуктов и их производных. Потенциальными источниками загрязнения являются действующие и закрытые склады горюче-смазочных материалов, автозаправочные станции, нефтепроводы, крупные авиа-предприятия, нефтехимические заводы, локомотивные депо и другие объекты. Загрязнение подземных вод нефтепродуктами часто связано с добычей, транспортировкой, переработкой и хранением нефти, а также с авариями, такими как разрывы трубопроводов и транспортные происшествия. Новые участки загрязнения могут возникать вследствие несанкционированных сбросов нефти и нефтепродуктов в заброшенные карьеры или долины ручьев и мелких притоков [115].

Загрязнение подземных вод также наблюдается вблизи крупных свалок и полигонов твердых бытовых отходов (ТБО), а также в районах очистных сооружений. Во время хранения отходов происходят изменения, вызванные как внутренними физико-химическими процессами, так и внешними факторами. В результате могут образовываться новые экологически опасные вещества, особенно опасен жидкий фильтрат. Этот фильтрат образуется, когда атмосферные осадки и ливневые стоки проникают в накопленную массу ТБО. Процесс фильтрации приводит к накоплению большого количества вредных веществ в воде, превращая её в высококонцентрированный раствор токсичных веществ. Эти загрязняющие потоки могут проникать в почву и загрязнять как поверхностные, так и подземные водоносные слои [47].

В целом, в подземных водах при промышленном загрязнении можно обнаружить практически весь спектр загрязняющих веществ как неорганических, так и органических. При сельскохозяйственном загрязнении основными загрязнителями являются соединения азота и пестициды. При коммунальном загрязнении в подземных водах преобладают соединения азота, а также железо, марганец, хлориды и фе-

нолы. При загрязнении некондиционными природными водами обнаруживаются хлориды, сульфаты, железо, марганец, фтор и стронций.

На участках, загрязненных промышленными объектами, содержание загрязняющих веществ обычно составляет от 10 до 100 ПДК, но в некоторых случаях оно может достигать 1000 ПДК и более. В других случаях загрязнение подземных вод чаще всего не превышает 10 ПДК, а максимальные концентрации могут доходить до 100 ПДК и выше.

Охрана и восстановление водных объектов

Для восстановления водных объектов и приведения их в удовлетворительное состояние необходимо снизить нагрузку на водные ресурсы, охранять подземные воды от загрязнения, проводить экореабилитацию водоемов и ликвидировать накопленные экологические последствия.

Одним из способов снижения нагрузки является улучшение систем очистки сточных вод и строительство новых очистных сооружений. Другим важным направлением является экономическое стимулирование сокращения сбросов загрязняющих веществ, в том числе через внедрение прогрессивной шкалы платы за сверхнормативные сбросы сточных вод. Дополнительным шагом является предоставление льготного кредитования для строительства, реконструкции и модернизации очистных сооружений, а также софинансирование проектов по очистке ливневых сточных вод в городах.

Для снижения антропогенной нагрузки на водные объекты необходимо усовершенствовать систему нормирования, включая создание нормативов допустимого воздействия на водоемы, которые будут учитывать региональные особенности, индивидуальные характеристики и цели использования водных объектов.

Значительная часть загрязняющих веществ поступает в водные объекты через рассредоточенный (диффузный) сток с хозяйственно освоенных территорий. Поэтому требуется разработка методов для оценки объемов и степени негативного воздействия такого стока.

Обустройство зон санитарной охраны водных объектов и строгое соблюдение режима этих зон, а также водоохранных зон и прибрежных защитных полос помогут повысить качество воды в источниках водоснабжения.

В районах с неблагоприятной экологической ситуацией требуется восстановление водных объектов, включая малые реки, для ликвидации накопленного экологического ущерба, а также проведение мер по защите подземных вод от техногенного загрязнения.

5.2. Мониторинг водохозяйственных объектов и систем

Своевременное выявление и прогнозирование негативных процессов, оказывающих влияние на состояние водных объектов и качество воды в них, играет ключевую роль в их сохранении и рациональном использовании. Для решения этой задачи был проводится государственный мониторинг водных ресурсов.

Термин «мониторинг» был заимствован из англоязычной литературы, где слово *monitoring* означает «контрольное наблюдение». Впервые это понятие было предложено в 1971 году специальной комиссией СКОПЕ (Научный комитет по проблемам окружающей среды) при ЮНЕСКО. Уже в 1972 году были сформулированы первые инициативы по созданию Глобальной системы мониторинга окружающей среды. Однако реализация этой системы до сих пор не завершена из-за отсутствия согласия относительно объема, форматов, объектов мониторинга и распределения функций между существующими наблюдательными структурами.

Экологический мониторинг представляет собой систематические наблюдения за состоянием природных сред, ресурсов, флоры и фауны, проводимые по заранее разработанной программе. Эти наблюдения позволяют фиксировать изменения, происходящие под воздействием человеческой деятельности, и анализировать их.

Основные этапы мониторинга включают: определение объекта наблюдения, проведение обследования выбранного объекта, планирование необходимых измерений, оценку состояния объекта, прогнозирование изменений его состояния, подготовку данных в удобной для пользователя форме и предоставление их заинтересованным сторонам.

Цель экологического мониторинга – обеспечить управление природоохранными мероприятиями и экологической безопасностью за счет предоставления точной и актуальной информации. Это позволяет оценивать состояние экосистем и среды обитания человека, а также их функциональную целостность; анализировать причины изменений и прогнозировать их последствия; определять корректирующие действия в случаях, когда целевые показатели состояния окружающей среды не достигаются; разрабатывать меры для предотвращения неблагоприятных ситуаций до того, как они нанесут вред.

Кроме того, экологический мониторинг может быть нацелен на выполнение специальных задач. Он предоставляет данные для реализации конкретных природоохранных проектов, выполнения международных соглашений и обязательств, а также других программных мероприятий, требующих экологической информации.

Основные задачи экологического мониторинга:

- наблюдение за источниками антропогенного воздействия;
- наблюдение за факторами антропогенного воздействия;
- наблюдение за состоянием природной среды и происходящими в ней процессами под влиянием факторов антропогенного воздействия;
- оценка фактического состояния природной среды;
- прогноз изменения состояния природной среды под влиянием факторов антропогенного воздействия и оценка прогнозируемого состояния природной среды [146].

Программы экологического мониторинга окружающей среды могут разрабатываться на уровне промышленного предприятия, города, района, области, края, республики в составе федерации. Мониторинг окружающей среды классифицируется по различным критериям.

В зависимости от компонентов, за которыми ведутся наблюдения, выделяют следующие виды мониторинга.

Биологический (биотический) – отслеживание состояния живых организмов и экосистем.

Геофизический (абиотический) – мониторинг физических и химических характеристик окружающей среды.

Мониторинг окружающей среды осуществляется по различным объектам и факторам наблюдения в различных средах. В атмосфере контроль включает состояние приземного слоя, верхних слоев атмосферы и атмосферных осадков. В гидросфере наблюдение охватывает поверхностные воды, морские и океанические воды, а также подземные воды. В литосфере проводится мониторинг состояния почв и других геологических компонентов.

Масштаб наблюдений может быть различным. Глобальный мониторинг охватывает всю планету. Национальный – включает территорию конкретной страны. Региональный – затрагивает отдельные крупные регионы или области. Локальный – ограничивается небольшими территориями, например, городами или конкретными объектами. Детальный – направлен на изучение точечных объектов или зон.

Методы мониторинга окружающей среды включают различные подходы, позволяющие получать данные о состоянии природных ресурсов и экосистем. Одним из распространенных методов является спутниковое наблюдение, которое использует дистанционное зондирование для мониторинга крупных территорий и глобальных изменений. Спутники могут фиксировать изменения земной поверхности, уровень загрязнения атмосферы, состояние водоемов, лесов. Еще одним важным методом является мониторинг с использованием воздушных судов, таких как самолеты и вертолеты, которые проводят аэрофотосъемку и используют лидары для анализа территорий. Эти данные позволяют изучать состояние экосистем на обширных территориях, например, проводить оценку состояния лесов или водоемов.

Кроме того, проводятся полевые исследования, при которых специалисты выполняют наблюдения и измерения непосредственно на местах. Этот метод позволяет собирать данные о локальных изменениях и проводить более детализированные исследования. В ходе исследований применяются как стационарные, так и переносные приборы и оборудование.

Также существуют автоматизированные системы мониторинга, которые обеспечивают непрерывный сбор данных о различных параметрах, таких как качество воздуха, уровень воды или температура. Эти системы включают в себя датчики, которые фиксируют информацию в реальном времени и передают её для анализа.

Не менее важным этапом являются лабораторные исследования, когда пробы воды, почвы, воздуха или осадков, собранные в полевых условиях, анализируются в лабораториях для выявления загрязняющих веществ и других параметров.

Для анализа собранных данных также активно применяется моделирование и математический анализ, что позволяет прогнозировать изменения в экосистемах и оценивать возможные последствия антропогенных воздействий [81, 163].

Службы мониторинга

Мониторинг окружающей среды организуется и проводится различными федеральными ведомствами в зависимости от его вида и компонентов, подлежащих наблюдению.

Федеральное агентство водных ресурсов (Росводресурсы) отвечает за мониторинг водных объектов, включая поверхностные и подземные воды, с целью оценки их состояния, использования и охраны. Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра) занимается мониторингом состояния недр, включая подземные воды и другие ресурсы литосферы, обеспечивая их устойчивое использование и предотвращение загрязнения. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) осуществляет наблюдения за атмосферными процессами, гидросферой, а также

климатическими изменениями, предоставляя данные о состоянии окружающей среды. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор) осуществляет контроль и надзор за соблюдением экологических норм, а также мониторинг в рамках своей компетенции.

Кроме того, в мониторинге принимают участие уполномоченные органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации, которые проводят локальные наблюдения и предоставляют информацию на региональном уровне.

В соответствии со статьей 30 Водного кодекса Российской Федерации [20], государственный мониторинг водных объектов представляет собой систему наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния водных объектов, находящихся в федеральной собственности, собственности субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, физических и юридических лиц. Государственный мониторинг водных объектов является частью государственного экологического мониторинга.

Государственный мониторинг водных объектов осуществляется с целью: 1) своевременного выявления и прогнозирования негативного воздействия вод, а также развития негативных процессов, влияющих на качество воды в водных объектах и их состояние, разработки и реализации мер по предотвращению негативных последствий этих процессов; 2) оценки эффективности осуществляемых мероприятий по охране водных объектов; 3) информационного обеспечения управления в области использования и охраны водных объектов, включая государственный надзор в области использования и охраны водных объектов.

Государственный мониторинг водных объектов включает: 1) регулярные наблюдения за состоянием водных объектов, количественными и качественными показателями состояния водных ресурсов, а также за режимом использования водоохранных зон, зон затопления, подтопления; 2) сбор, обработку и хранение сведений, полученных в

результате наблюдений; 3) внесение сведений, полученных в результате наблюдений, в государственный водный реестр; 4) оценку и прогнозирование изменений состояния водных объектов, количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов.

Государственный мониторинг водных объектов состоит из: 1) мониторинга поверхностных водных объектов с учетом данных мониторинга, осуществляемого при проведении работ в области гидрометеорологии и смежных областях; 2) мониторинга состояния дна и берегов водных объектов, а также состояния водоохранных зон; 3) мониторинга подземных вод с учетом данных государственного мониторинга состояния недр; 4) наблюдений за водохозяйственными системами, в том числе за гидротехническими сооружениями, а также за объемом вод при водопотреблении и сбросе вод, в том числе сточных вод, в водные объекты [20].

Основными задачами системы государственного мониторинга водных объектов являются оптимизация состава государственной наблюдательной сети, улучшение её технического оснащения, внедрение современных методов прогнозирования для повышения точности и заблаговременности прогнозов, а также создание информационной системы, которая позволит систематизировать и интегрировать данные мониторинга, обеспечивая их доступность для государственных органов, участников мониторинга, научных организаций и граждан [106].

Мониторинг поверхностных вод

Контроль качества поверхностных вод осуществляется на основе ГОСТ 17.1.3.07–82, который регламентирует единые требования к организации сети мониторинга, выполнению наблюдений и обработке собранных данных. Этот стандарт определяет принципы построения сети контроля, включая выбор мест для отбора проб, их частоту и объем, что обеспечивает репрезентативность данных; методы наблюдений, включая определение физических, химических и биологических показателей качества воды; а также процедуры обработки результатов, направленные на систематизацию и анализ информации

для последующего использования в управлении водными ресурсами и оценке их состояния.

Применение ГОСТ 17.1.3.07–82 способствует унификации подходов к контролю качества поверхностных вод, обеспечивая сопоставимость данных и возможность комплексной оценки водных экосистем.

Контроль качества поверхностных вод осуществляется на основе следующих ключевых принципов: комплексность и систематичность наблюдений, согласованность сроков их проведения с характерными гидрологическими условиями, а также использование единых методов определения показателей качества воды.

Для реализации этих принципов разрабатываются специальные программы контроля, охватывающие широкий спектр показателей, включая физические, химические, гидробиологические и гидрологические характеристики водных объектов. Наблюдения проводятся с заданной периодичностью, что позволяет учитывать изменения, связанные с сезонными и климатическими особенностями. Пробы воды анализируются по унифицированным методикам, обеспечивающим необходимую точность и сопоставимость результатов. Кроме того, выполняются гидрометрические работы, направленные на определение количественных характеристик водных ресурсов.

Комплексный подход и применение единых стандартов позволяют обеспечить надежный мониторинг состояния поверхностных вод и эффективно управлять их качеством.

Первым этапом при организации наблюдения и контроля качества поверхностных вод является выбор местоположения контрольных пунктов. Контрольный пункт представляет собой определенное место на водоеме или водотоке, где проводятся работы для получения данных о качестве воды. Такие пункты обычно устанавливаются на водоемах и водотоках, которые имеют важное хозяйственное значение, а также в местах, подверженных значительному загрязнению, связанному с промышленными, бытовыми и сельскохозяйственными

сточными водами. На водоемах и водотоках, не загрязняемых сточными водами, создаются пункты для фоновых наблюдений [129].

Выбор местоположения контрольных пунктов осуществляется с учётом факторов, которые необходимо учитывать при управлении водными ресурсами, а именно: качество воды, уровень её загрязнения, потребности в водоснабжении и водоотведении, а также в обеспечении гидроэнергетики или других производственных процессов, связанных с использованием водных ресурсов. Для этого проводятся предварительные исследования, включающие сбор и анализ информации о водопользователях, источниках загрязнения, аварийных сбросах, а также о водных и ледовых режимах, физико-географических характеристиках водоема и его хозяйственном значении. В процессе исследований также проводится обследование водоемов или водотоков и их отдельных участков [31, 114, 129].

Пункты контроля чаще всего размещаются в следующих районах: вблизи крупных городов и поселков, чьи сточные воды сбрасываются в водоемы или водотоки; в местах сброса сточных вод крупными промышленными предприятиями, такими как заводы, шахты, нефтяные платформы и электростанции; а также в районах сельскохозяйственного загрязнения. Важными местами для организации контрольных пунктов являются нерестилища и зимовья промысловых видов, предплотинные участки рек, которые имеют значение для рыбного хозяйства, а также устья загрязненных притоков крупных водоемов и водотоков [89].

На водоемах с интенсивным водообменом пункты контроля размещаются аналогично тем, что расположены на водотоках. Один из контрольных створов устанавливается примерно на 1 км выше источника загрязнения, в зоне, не затронутой сточными водами. Остальные створы размещаются ниже источника загрязнения, как минимум два, на расстоянии 0,5 км от места сброса сточных вод и непосредственно за границей зоны загрязненности. Зону загрязненно-

сти определяют по максимальным ее размерам, которые рассчитываются и уточняются в процессе обследования водоема.

В водоемах с умеренным (0,1...0,5) и замедленным (до 0,1) водообменом один створ устанавливают в части водоема, не подверженной загрязнению. Второй створ совмещают с точкой сброса сточных вод, а оставшиеся створы размещают параллельно этому створу с обеих сторон на расстоянии не менее 0,5 км от места сброса и непосредственно за границей зоны загрязненности.

Определение количества горизонтов на вертикали зависит от глубины водоема или водотока в точке измерения. При глубине до 5 м устанавливается один горизонт, обычно у поверхности льда зимой. При глубине от 5 до 10 м устанавливаются два горизонта: один у поверхности и второй на расстоянии 0,5 м от дна. При глубине более 10 м устанавливают три горизонта, включая промежуточный горизонт, расположенный на половине глубины. Для глубоких водоемов создаются горизонты на поверхностном уровне, а также на глубинах 10, 20, 50 и 100 м, а также у дна. В случае стратифицированных водоемов добавляется дополнительный горизонт, который устанавливается в слое скачка плотности.

Пункты контроля качества вод подразделяются на четыре категории, в зависимости от частоты проверок и программ контроля. Категория пункта определяется с учетом таких факторов, как хозяйственное значение водоема, качество воды, размер и объем водоема, а также водность водотока. Если на водоем или водоток осуществляется организованный сброс сточных вод, должны быть созданы как минимум два контрольных створа – один выше и один ниже источника загрязнения.

Контроль по гидробиологическим показателям рекомендуется проводить ежемесячно (по сокращенной программе) и ежеквартально (по полной программе). Ежемесячный контроль по сокращенной программе осуществляется только в вегетационный период [121].

Если невозможно провести контроль по гидробиологическим показателям в установленные сроки, его следует проводить в периоды, наиболее важные для оценки состояния водных экосистем, такие как начало, середина и конец вегетационного периода. Эти моменты соответствуют окончанию весеннего половодья, летней межени и времени, предшествующему ледоставу. В зимний период по возможности проводится одна гидробиологическая съемка, поскольку состояние организмов в это время является важным индикатором степени загрязненности водоема.

Также возможно проведение одноразового гидробиологического контроля в тех пунктах, где за два-три года регулярных гидробиологических съемок не было зафиксировано изменений в экологической ситуации. При одноразовом контроле особое внимание уделяется правильному выбору места для отбора проб, чтобы максимально охватить все биологические периоды.

Если невозможно провести контроль по гидробиологическим показателям, допускается ограничение контроля только гидрохимическими и гидрологическими параметрами.

Сокращенная программа контроля № 2 по гидрологическим и гидрохимическим показателям включает в себя измерения расхода воды на водотоках или уровня воды на водоемах, температуры (°C), водородного показателя, удельной электрической проводимости, концентрации химических веществ, химического потребления кислорода, биохимического потребления кислорода за 5 суток, а также определение концентрации двух-трех основных загрязняющих веществ, характерных для данного водоема или водотока. Помимо этого, программа включает визуальные наблюдения.

Перечень загрязняющих веществ, которые должны быть проверены по сокращенной программе, составляется на основе данных о составе сбрасываемых в данный участок водного объекта сточных вод и результатов предварительных обследований. На начальном этапе, при составлении программы контроля, может быть использован

ориентировочный перечень загрязняющих веществ, который будет уточняться по мере проведения обследований [31].

При проведении обследований на водоеме, в местах сброса сточных вод, устанавливаются радиальные створы. Вертикали на створах располагаются таким образом, что первые из них находятся на расстоянии 0,5 км от источника сброса, а последние – за пределами зоны загрязнения. Принцип размещения вертикалей и горизонтов при обследованиях соответствует принципам, применяемым при систематических наблюдениях.

Обследования водных объектов должны проводиться в определенные сроки, которые соответствуют основным фазам водного режима в условиях минимальных и максимальных расходов воды. Это позволяет учесть особенности водообмена и загрязненности воды в различные сезоны. На водотоках обследования проводятся в периоды половодья, зимней и летней межени, то есть при минимальных уровнях воды. На водоемах с умеренным и замедленным водообменом исследования обычно проводятся в летний период или осенью, до начала дождей. На водоемах с интенсивным водообменом обследования проводятся весной, в период максимального притока воды, а также летом и осенью, когда уровни воды минимальны. В зимний период, в условиях ледостава, на водоемах с низкими уровнями воды также необходимо проводить исследования.

На основе результатов анализа проб воды, собранных во время обследований, проверяют корректность расчетов по созданию створов для смешения природных и сточных вод, а также определяют зоны загрязнения. После этого уточняются места расположения створов, вертикалей и горизонтов на основании максимального удаления створа смешения и размера зоны загрязнения. Определяют категорию пункта контроля в зависимости от уровня загрязненности, выявленного в ходе обследования. На основе анализа данных назначают загрязняющие вещества, для которых необходимо проводить контроль, если их содержание в воде превышает установленные нормы. Разра-

батывается программа работ для пункта контроля, которая включает контролируемые параметры качества воды, а также определяет периодичность и сроки проведения контрольных мероприятий.

Пункты мониторинга организуются на водоемах и водотоках, которые имеют народнохозяйственное значение, а также подвержены загрязнению промышленными, хозяйственно-бытовыми и сельскохозяйственными сточными водами. Наблюдения проводятся через стационарные и временные экспедиционные посты.

Пункты контроля размещаются с учетом расположения потенциальных источников загрязнения, которые определяются с помощью экспедиционных наблюдений. В каждом пункте контроля организуют один или несколько створов. Когда имеется организованный сброс сточных вод, первый створ обычно размещают на расстоянии 1 км выше места сброса (этот створ считается фоновым), а остальные располагаются ниже. Нижний створ, как правило, размещается в зоне, где происходит практически полное смешение сточных и природных вод. Если присутствует несколько источников загрязнения, фоновый створ размещают выше первого источника, а нижний – ниже последнего [31].

Количество вертикалей в створе зависит от условий смешения воды. Если химический состав воды в створе неоднороден, устанавливают не менее трех вертикалей: на стрежне и у берегов. При однородном распределении загрязняющих веществ в воде достаточно одной вертикали, размещенной на стрежне реки.

На водотоках с небольшой глубиной (до 2-3 м) пробы воды обычно отбираются с глубины 0,2-0,5 м на створах наблюдения. Если русло узкое (до 20-30 м), опыт показывает, что возможно взять одну пробу в центре потока (на стрежне). Однако более эффективным является отбор трех проб (на стрежне и ближе к берегам), которые затем усредняются на месте отбора.

На крупных реках возможно проведение отбора проб с различных горизонтов. Обычно пробы берутся с трех вертикалей (на стрежне и ближе к берегам) и с трех уровней (поверхностный, срединный и

придонный). В зависимости от целей исследования, эти пробы могут быть проанализированы раздельно или усреднены. На малых и средних реках чаще всего применяют усреднение проб непосредственно на месте. Для крупных рек, особенно если существует значительное антропогенное воздействие на берега, предпочтителен раздельный анализ проб.

Основным элементом государственного мониторинга водных объектов является государственная наблюдательная сеть. На сегодняшний день существующая сеть гидрологических наблюдений, управляемая Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, включает 3085 гидрологических постов, из которых 2731 находятся на реках, а 354 – на других водных объектах. Однако после распада Советского Союза количество гидрологических постов было сокращено на 30 %, а в регионах Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока – до 50 %. Это сокращение сети, а также использование устаревших методов и технологий, привели к ухудшению качества гидрологических прогнозов. Также сократилось количество пунктов гидрохимических наблюдений, уменьшился объем отбираемых проб воды и донных отложений. Важной проблемой является отсутствие автоматизированных и дистанционных методов наблюдения за состоянием вод, а также недостаточное оснащение современным аналитическим лабораторным оборудованием. В результате качество проводимых наблюдений значительно ухудшилось.

Мониторинг подземных вод в Российской Федерации осуществляется в рамках государственного мониторинга состояния недр. Организационная структура этого мониторинга включает один федеральный, семь региональных и 76 территориальных центров, действующих в субъектах страны. Существующая государственная сеть наблюдений не обеспечивает полноценную оценку состояния подземных вод в различных регионах России. Значительная часть пунктов наблюдательной сети сосредоточена в Центральном федеральном округе, в то время как восточные регионы, где активно разрабатыва-

ются месторождения полезных ископаемых, фактически лишены эффективного контроля за состоянием подземных вод.

5.3.Международное сотрудничество в области охраны водных ресурсов. Международные организации по охране природы

Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды реализуется в различных формах:

- деятельность международных организаций природоохранной направленности;
- заключение договоров, соглашений и конвенций на международном уровне;
- государственные инициативы, направленные на взаимодействие с другими странами.

На сегодняшний день насчитывается более 100 организаций, которые занимаются экологическими вопросами. Среди них наиболее значимую роль играет Организация Объединенных Наций (ООН), являющаяся авторитетной межправительственной структурой. Одна из ключевых задач ООН – координация усилий по защите окружающей среды. На Генеральной Ассамблее обсуждаются важные экологические вопросы, принимаются резолюции и декларации, проводятся конференции и совещания международного масштаба. Организация разработала фундаментальные принципы защиты окружающей среды, отраженные, например, в Стокгольмской декларации (1972 г.) и Всемирной Хартии природы (1982 г.).

Под эгидой ООН работают специализированные подразделения, занимающиеся природоохранной деятельностью. Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) реализует долгосрочные проекты, финансируемые через созданный Генеральной Ассамблей Фонд окружающей среды.

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) отвечает за выполнение программы «Ядерная безопасность и защита

окружающей среды». ЮНЕСКО, представляющее Организацию Объединенных Наций в сфере образования, науки и культуры, занимается изучением природных ресурсов и инициирует проекты, такие как «Человек и биосфера» и «Человек и его окружающая среда».

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) исследует проблемы загрязнения воздуха и вопросы гигиены окружающей среды. Всемирная метеорологическая организация (ВМО) анализирует климатические изменения. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО) работает над вопросами обеспечения продовольственной безопасности на национальном и международном уровнях.

Существенный вклад в решение экологических задач вносит Международный союз охраны природы (МСОП), который объединяет усилия правительств, организаций и отдельных лиц для защиты природы и рационального использования ресурсов. МСОП подготовил 10-томное издание Международной Красной книги, включающее информацию о редких и исчезающих видах. Сохранение биологического разнообразия является одной из приоритетных задач, над которыми активно работает Всемирный фонд дикой природы (WWF).

Международные договоры, соглашения и конвенции выступают важными инструментами для обеспечения сотрудничества в сфере экологии. Они могут быть различными по своему характеру: общими или специализированными, двусторонними или многосторонними, а также глобальными или региональными. Инициатива их разработки может исходить от отдельных стран или международных организаций.

Общие международные договоры зачастую включают положения, касающиеся охраны природы. Например, в соглашениях о режиме государственной границы часто предусматриваются пункты, связанные с управлением приграничными водоемами, защитой растительности и животных.

Специализированные природоохранные соглашения полностью посвящены вопросам защиты окружающей среды.

Примерами глобальных договоров являются: Конвенция о запрещении военного или иного враждебного воздействия на природную среду (1977 г.); Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (1979 г.); Конвенция об охране мигрирующих видов диких животных (1979 г.) и др.

Региональные договоры включают такие примеры, как: Соглашения об охране и использовании Дуная и Черного моря; Европейские природоохранные договоры; Африканская конвенция о защите природы и ресурсов (1968 г.); Конвенция по охране Средиземного моря от загрязнений (1976 г.); Конвенция об охране морских биологических ресурсов Антарктики (1980 г.); Соглашение об охране белого медведя (1974 г.); Конвенция о рыболовстве в северо-восточной части Атлантического океана (1959 г.); Конвенция о рыболовстве и сохранении биологических ресурсов Балтийского моря и Датских проливов (1973 г.); Соглашение о совместных действиях по борьбе с нефтяным загрязнением Северного моря (1969 г.).

Особую значимость имеют международные договоры, направленные на ограничение, сокращение и запрет испытаний оружия массового поражения, включая ядерное, химическое и бактериологическое, в различных регионах и средах.

Одним из ключевых примеров международного экологического сотрудничества является Базельская конвенция (1989 г., Швейцария). Этот документ регулирует контроль над трансграничным перемещением опасных отходов и их утилизацией. Основные задачи конвенции: сокращение международных перевозок опасных отходов, включенных в список; минимизация объемов и токсичности таких отходов; обеспечение их экологически безопасной переработки; поддержка развивающихся стран в утилизации опасных отходов.

Венская конвенция по охране озонового слоя, принятая в 1985 году в Австрии, направлена на защиту здоровья людей и сохранение природной среды от негативных последствий, вызванных изменениями в озоновом слое.

Конвенция о биологическом разнообразии, подписанная в Риоде-Жанейро в 1992 году, ставит перед собой задачи по сохранению разнообразия живых организмов, рациональному использованию его компонентов и справедливому распределению выгод от применения генетических ресурсов.

Рамсарская конвенция (Конвенция о водно-болотных угодьях), утвержденная для защиты территорий, имеющих международное значение, ориентируется на сохранение водно-болотных экосистем, особенно важных для обитания водоплавающих птиц. Она также подчеркивает их экологическую, экономическую, культурную и научную ценность.

Конвенция СИТЕС, принятая в Вашингтоне в 1973 году, регулирует международную торговлю видами флоры и фауны, находящимися под угрозой исчезновения. Основная цель – предотвращение чрезмерной эксплуатации этих видов и установление таможенного контроля.

Хельсинкская конвенция о трансграничных промышленных авариях (1992 г.) ориентирована на защиту людей и природы от последствий техногенных аварий. Она предусматривает профилактику подобных инцидентов, снижение их вероятности и тяжести, а также минимизацию ущерба.

Бухарестская конвенция по защите Черного моря от загрязнения, подписанная в 1992 году, направлена на решение проблем загрязнения морской среды. Ее цели – предотвращение и снижение уровня загрязнений в акватории Черного моря.

Рамочная Конвенция ООН об изменении климата, утвержденная в Нью-Йорке в 1992 году, фокусируется на стабилизации уровня парниковых газов в атмосфере. Это необходимо для предотвращения вредного влияния человеческой деятельности на климатические процессы.

Первым международным соглашением, применившим рыночные механизмы для решения климатических проблем, стал Киотский протокол (1997 г.), подписанный представителями 55 стран. Он предусматривает сокращение выбросов парниковых газов. Среди

стран-участниц доли выбросов распределяются следующим образом: США – 33,6 %, страны ЕС – 23 %, Россия – 16,75 %, Япония – 6,7 %.

В условиях усиления экологических проблем, включая глобальное потепление, требуется дальнейшее развитие международных инициатив по защите окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов.

Государства также играют значимую роль в международном сотрудничестве. Наша страна выдвинула ряд предложений для обеспечения экологической безопасности, включая: защиту морской среды Балтийского моря (Мурманск, 1987 г.); природоохранное взаимодействие в Азиатско-Тихоокеанском регионе (Красноярск, 1988 г.); координацию экологических усилий под эгидой ООН (43-я сессия Генеральной Ассамблеи ООН, 1988 г.) и др.

Международное сотрудничество в сфере защиты окружающей среды регулируется нормами международного экологического права, основы которого заложены на общепризнанных принципах, одобренных мировым сообществом [127].

В процессе формирования этих принципов можно выделить несколько ключевых этапов.

Первым важным событием стала Конференция ООН по проблемам окружающей среды (Стокгольм, 1972 г.). Итогом конференции стало принятие Декларации, которая определила стратегические направления и задачи мирового сообщества в области экологической защиты. Документ включал 26 основных принципов охраны окружающей среды. Также 5 июня было объявлено Всемирным днем окружающей среды, и был создан специализированный орган ООН – ЮНЕП (Программа ООН по окружающей среде), расположенный в Найроби (Кения).

Следующим шагом стало принятие Всемирной хартии природы (1982 г.), которая была одобрена Генеральной Ассамблей ООН. В этом документе развивались ранее утвержденные принципы международного сотрудничества, и их количество увеличилось до 27. Хар-

тия определила приоритетные направления экологической деятельности мирового сообщества в тот период.

Знаковым событием стала Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.), крупнейший экологический форум в истории. В нем участвовали 114 глав государств и представители 1600 неправительственных организаций. Впервые на таком уровне было достигнуто согласие по ключевым глобальным экологическим проблемам, включая необходимость радикальных изменений в экономической и социальной сферах. Конференция подчеркнула важность экологических интересов, признавая их приоритет над экономическими задачами.

Результатом работы форума стало принятие пяти основополагающих документов: Декларации Рио об окружающей среде и развитии; Повестки дня на XXI век; Заявления о принципах управления, сохранения и устойчивого использования лесов; Рамочной конвенции по изменению климата; Конвенции о биологическом разнообразии.

Одним из важнейших достижений конференции стало утверждение концепции устойчивого развития. Этот подход предполагает одновременное решение экологических и экономических проблем, не заменяя национальные программы, но определяя общие ориентиры.

Многие экологические проблемы приобрели глобальный характер и требуют совместных действий всех стран. К таким вызовам относятся разрушение озонового слоя, загрязнение атмосферы и океанов, а также последствия ядерных испытаний. Эти угрозы оказывают влияние не только на отдельные государства, но и на все человечество. В связи с этим страны объединяют усилия под эгидой ООН или на основе двустороннего сотрудничества, чтобы обеспечить защиту окружающей среды и биологического разнообразия.

Принципы международного экологического сотрудничества впервые были систематизированы в Декларации Стокгольмской конференции 1972 года. Однако наиболее полно и детально они были из-

ложены в Декларации по окружающей среде и развитию, принятой на Конференции ООН в Рио-де-Жанейро в 1992 году.

Современная международно-правовая система охраны окружающей среды основывается на ряде ключевых принципов. Принцип защиты окружающей среды для блага настоящих и будущих поколений подразумевает обязанность государств совместно работать над сохранением и улучшением качества природной среды, что включает устранение негативных последствий для экосистем и управление природными ресурсами на основе научных подходов.

Принцип предотвращения трансграничного ущерба. Государства обязаны воздерживаться от деятельности, которая наносит вред окружающей среде других стран или территориям общего пользования. Этот принцип закрепляет ответственность за экологический ущерб, причиненный за пределами национальной юрисдикции.

Принцип рационального и экологически оправданного использования природных ресурсов. В условиях нехватки альтернативных источников энергии истощение невозобновляемых ресурсов (например, нефти, газа, угля) угрожает устойчивости техногенной цивилизации. Сокращение запасов питьевой воды и воздуха может поставить под угрозу существование человечества. Реализация этого принципа требует поддержания ресурсов на оптимальном уровне и управления биологическими ресурсами на научной основе.

Принцип недопустимости радиоактивного загрязнения. Он охватывает как мирное использование атомной энергии, так и военные программы. Его соблюдение обеспечивается как договорными обязательствами, так и международной практикой.

Принцип защиты экосистем Мирового океана. Государства должны предотвращать, сокращать и контролировать загрязнение морской среды из различных источников. Они обязаны избегать переноса загрязнений из одного региона в другой и исключать перекладывание экологической угрозы на другой вид загрязнения. Также этот принцип требует, чтобы деятельность, находящаяся под контро-

лем государства, не наносила ущерба другим странам или морским экосистемам.

Принцип запрета на использование природной среды в качестве оружия. Этот принцип требует от государств эффективных мер по предотвращению применения природных ресурсов или их модификации для нанесения серьезного и долгосрочного ущерба другим государствам.

Принцип обеспечения экологической безопасности. Он отражает глобальный и острый характер современных экологических вызовов. Государства обязаны учитывать экологический аспект при ведении военно-политической и экономической деятельности, чтобы поддерживать удовлетворительное состояние окружающей среды.

Принцип контроля за выполнением международных обязательств по охране окружающей среды. Он предусматривает создание системы мониторинга качества природной среды на глобальном, региональном и национальном уровнях, основанной на общепризнанных критериях.

Принцип ответственности за ущерб окружающей среде. Этот принцип устанавливает обязанность государств возмещать значительный экологический ущерб, причиненный за пределами их юрисдикции. Хотя данный принцип еще окончательно не оформлен, его признание продолжает расширяться [24].

Каждый из этих принципов представляет собой важный элемент международного сотрудничества и направлен на сохранение природы для будущих поколений [59].

Сотрудничество в области водных ресурсов играет ключевую роль не только в обеспечении справедливого распределения этого жизненно важного ресурса, но и в поддержании гармоничных отношений как внутри отдельных сообществ, так и между ними. На государственном уровне взаимодействие может выражаться через координированные действия профильных министерств. На уровне местных сообществ пользователи могут объединяться в ассоциации для

совместного решения вопросов водопользования. Когда водные ресурсы находятся в пределах нескольких государств, создаются совместные структуры для их управления. На глобальном уровне сотрудничество осуществляется через различные учреждения ООН, которые работают над устойчивым использованием водных ресурсов в интересах всего человечества.

Форматы сотрудничества разнообразны. Они включают как формальные, так и неформальные соглашения, создание специализированных организаций, обмен информацией, а также разработку совместных механизмов управления.

Глобальное исследование, проведенное в 2011 году механизмом «ООН – водные ресурсы», показало прогресс в применении комплексного подхода к устойчивому управлению водными ресурсами. Данные более чем из 125 стран подтвердили, что эти методы способствовали значительному улучшению управления водными ресурсами на многих территориях.

Литература

1. *Абдрахимов Р.Г.* Сток в верхнем течении реки Ертис (Иртыш) / Р.Г. Абдрахимов, А.А. Джаксыкельдинов // Гидрометеорология и экология. – 2013. - № 4. – С. 61–67.
2. *Абдулмуталимова Т.О.* Оценка качества подземных вод, используемых в хозяйственно-питьевых целях в Республике Дагестан/ Т.О. Абдулмуталимова, О.М. Рамазанов, А.Б. Алхасов, И.М. Газалиев// Юг России: экология, развитие. – 2023. – Т. 18. – № 2. – С. 92–101.
3. *Акатова Е.В.* Оценка экологического состояния донных отложений водоемов Тульской области / Е.В. Акатова, В.А. Арляпов // Известия Тульского государственного университета. Сер. Естественные науки. – 2015. – Вып. 4. – С. 220–231.
4. *Аксенов В.И.* Промышленное водоснабжение: учебное пособие / В.И. Аксенов, Ю.А. Галкин, В.Н. Заслоновский, И.И. Ничкова. – Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 221 с.
5. *Аладин Н.В.* Перспективы биоразнообразия Аральского моря / Н.В. Аладин, В.И. Гонтарь, Л.В. Жакова, И.С. Плотников, А.О. Смурров // Совместные действия по смягчению последствий Аральской катастрофы: новые подходы, инновационные решения и инвестиции: сб. материалов международной конференции (Ташкент, 7-8 июня 2018 г.). – Ташкент, 2018. – С. 114–118.
6. *Анискин Н.А.* Строительство, конструкции и инновации плотин из малоцементного бетона / Н.А. Анискин, А.М. Шайтанов // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15, вып. 7. – С. 1018–1029. – URL: <https://doi:10.22227/1997-0935.2020.7.1018-1029>.
7. *Апарина Н.И.* Защита компонентов природной среды при реабилитации городских водоемов на примере пруда Планового института / Н.И. Апарина, Н.А. Звягинцев // Студенческая наука. Исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды: тезисы докладов 33-й Межвузовской студенческой научно-технической конференции по материалам научно-исследовательской работы студентов в 2013 году (Самара, 26–27 марта 2014 г.) – Самара: [б. и.], 2014. – С. 204–205.

8. *Арутамов Э. А. Подземные воды РФ: ресурсный потенциал и проблемы его рационального использования / Э.А. Арутамов, А.А. Медведков, О.А. Пястолов // Географическая среда и живые системы. – 2020. – № 4. – С. 17–27. – URL: <https://doi: 10.18384/2712-7621-2020-4-17-27>.*

9. *Бабинцева Е.А. Управление водными ресурсами Африки / Е.А. Бабинцева // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Государственное и муниципальное управление. – 2023. – Т. 10. – № 3. – С. 434–449. – URL: <https://doi.org/10.22363/2312-8313-2023-10-3-434-449> (дата обращения: 1.12.2024).*

10. *Белоглазов А.В. Международные водные конфликты в Центральной Азии (1992–2006 гг.) / А.В. Белоглазов // Ученые записки Казанского государственного университета. Гуманитарные науки. – 2007. – Т. 149. – кн. 3. – С. 160–174.*

11. *Биотические взаимоотношения в экосистеме озер-питомников / под ред. А.Ф. Алимова. – С.-Петербург: Гидрометеоиздат, 1993. – 350 с.*

12. *Богославчик П.М. Грунтовые плотины: пособие для студентов специальности 1-70 04 01 «Водохозяйственное строительство» / П.М. Богославчик, Ю.А. Медведева, О.В. Немеровец. – Минск: БНТУ, 2022. – 74 с.*

13. *Бойко Е.В. Роль мидий в очищении морской воды от нефтепродуктов (в эксперименте) / Е.В. Бойко, Ю.М. Петров // Гидробиологический журнал. – 1975. – Т. 11. – № 2. – С. 28-33.*

14. *Букуру Ж.-Б. Международно-правовое сотрудничество по использованию и охране от загрязнения трансграничных водных ресурсов в Африке / Ж.-Б. Букуру, А.М. Солнцев // Правовая парадигма. – 2017. – Т. 16. – № 1. – С. 186–192. – URL: <https://doi.org/10.15688/lc.jvolsu.2017.1.29>.*

15. *Википедия – свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/> (дата обращения: 1.12.2024).*

16. *ВНТП-Н-97. Нормы расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения*

17. *Вода России. Водохранилища* / Под науч. ред. А.М. Черняева; ФГУП РосНИИВХ. – Екатеринбург: Издательство «АКВА-ПРЕСС», 2001. – 700 с.
18. *Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года* (утв. распоряжением Правительства РФ от 27 августа 2009 г. № 1235-р).
19. *Водные ресурсы* // Официальный сайт Организаций объединенных наций. – URL: <https://www.un.org/ru/global-issues/water> (дата обращения: 1.12.2024).
20. *Водный кодекс Российской Федерации* [федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ (ред. от 08.08.2024)] // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». – URL: <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 1.12.2024).
21. *Волкова С.Н. Сельскохозяйственное использование сточных вод как перспективное направление их утилизации* / С.Н. Волкова, Е.Е. Сивак, И.В. Панченко // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – №3. – С. 66–60.
22. *Володина А. Отрасль водоотведения в России: проблемы и решения* / А. Володина // Промышленные страницы Сибири». – 2017. – Т. 118. – № 4. – URL: <https://epps.ru/journal/print.php?id=1782> (дата обращения: 1.12.2024).
23. *Вопросы Федерального агентства водных ресурсов* [постановление Правительства РФ № 169 от 06.04.2004 (ред. от 28.12.2020)] // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». – URL: <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 1.12.2024).
24. *Воротников А.А. Международные экологические принципы: теория и практика конституционной реализации* / А.А. Воротников // Правовая политика и правовая жизнь. – 2019. – № 3. – С. 41–43.
25. Восстановление экосистем малых озер / отв. ред.: В.Г. Драбкова, М.Я. Прыткова, О.Ф. Якушко. – С.-Петербург: Наука, 1994. – 143 с.
26. *Гавrilова Ю.А. О некоторых проблемах охраны и использования трансграничных водных объектов, расположенных на терри-*

тории Республики Казахстан и сопредельных государств / Ю.А. Гаврилова // Вестник КАСУ. – 2010. – № 4. – С. 260-264.

27. Гаглоева А.Е. Влияние изменения климата на водные ресурсы Центральной Азии / А.Е. Гаглоева // Вопросы географии и геоэкологии. – 2016. – № 3. – С. 51–56.

28. Горелов В.П. Восстановление и функционирование донных биоценозов водоемов Волго-Ахтубинской поймы под влиянием масштабных дноуглубительных работ (на примере оз. Дегтярное) / В.П. Горелов // Электронный научно-образовательный журнал ВГСПУ «Границы познания». – 2015. – Т. 38. – № 4. – С.125–128.

29. Горохов Е.Н. Речной гидроузел: учеб. пособие / Е.Н. Горохов, А.Н. Ежков, И.С. Соболь. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2018. – 153 с.

30. Горюнова С.В. Региональные кризисы водопотребления: причины и возможные пути их преодоления / С.В. Горюнова, А.Л. Суздалева // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Естественные науки. – 2018. – № 1 (29). – С. 47–55.

31. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.

32. ГОСТ Р 58331.3-2019. Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур.

33. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». – М.: НИА-Природа, 2019. – 290 с.

34. Гусев Е.М. Изменение влагообеспеченности территории речных бассейнов, расположенных в различных регионах земного шара, в связи с возможными изменениями климата / Е.М. Гусев, О.Н. Насонова, Е.Э. Ковалев // Аридные экосистемы. – 2021. – Т. 27. – № 3 (88). – С. 3–15. – URL: <http://doi: 10.24411/1993-3916-2021-10158>.

35. Данилов-Данильян В.И. Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России / В.И. Данилов-Данильян. – М.: ООО «Типография ЛЕВКО», Институт устойчивого развития, Центр экологической политики России, 2009. – 88 с.

36. *Данилов-Данильян В.И.* Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты / В.И. Данилов-Данильян, К. С. Лосев. – М.: Наука, 2006. – 218 с.
37. *Данилов-Данильян В.И.* Экологическая безопасность. Общие принципы и российский аспект / В.И. Данилов-Данильян, М.Ч. Залиханов, К.С. Лосев. – М: МППА БИМПА, 2007. – 288 с.
38. *Даувальтер В.А.* Геоэкология донных отложений озёр / В.А. Даувальтер. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. – 242 с.
39. *Демен А.П.* Трансформация состояния орошаемых земель в степных регионах России / А.П. Демен. – URL: <http://doi: 10.24412/cl-36359-2021-260-266>.
40. *Добровольский С.Г.* Глобальные изменения речного стока / С.Г. Добровольский. – М.: ГЕОС, 2011. – 660 с.
41. *Дрововозова Т.И.* Оценка пригодности воды из открытых коллекторов Семикаракорского района Ростовской области для орошения / Т.И. Дрововозова, Н.Н. Паненко, С.А. Манжина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2020. – № 3(39). – С. 154–169. – URL: <http://www.rosniiiprsm.ru/article?n=1144>. – URL: <http://doi: 10.31774/2222-1816-2020-3-154-169>.
42. *Ерёмина И.Д.* Химический состав атмосферных осадков в Москве и тенденции его многолетних изменений / И.Д. Ерёмина // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2019. – № 3. – С. 3–10.
43. *Ерёмина Т.В.* Современные системы водоснабжения в сельском хозяйстве / Т.В. Ерёмина, А.Л. Гармаев // Вестник ВСГУТУ. – С. 54–57.
44. *Жирма В.В.* Воздействие промышленности и сельского хозяйства на водные ресурсы Краснодарского края / В.В. Жирма, З.П. Щеглова // Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований: сб. материалов III Международной научно-практической конференции (Новосибирск, 4 февраля 2013 г.). Вып. № 3. – Новосибирск, 2013. – С. 21–26.

45. *Жирма В.В.* О проблемах жилищно-коммунального водопользования в Краснодарском крае / В.В. Жирма, З.П. Щеглова // Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований: сб. материалов III Международной научно-практической конференции (Новосибирск, 4 февраля 2013 г.). Вып. № 3. – Новосибирск, 2013. – С. 26-30.
46. *Захаров Р.Ю.* О целесообразности применения внутрипочвенного орошения в Республике Крым / Р.Ю. Захаров, И.Н. Борбот, Д.В. Скосарь // Экономика строительства и природопользования. – 2021. – № 4 (81). – С. 53-63. – URL: <http://doi: 10.37279/2519-4453-2021-4-53-63>.
47. *Злобина В.Л.* Источники загрязнения подземных вод в зоне активного водообмена / В.Л. Злобина, Ю.А. Медовар, И.О. Юшманов // East European Scientific Journal. – 2018. – № 2 (30). – С. 4–16.
48. *Знание. Вики* // Электронная энциклопедия Российского общества «Знание». – URL: <https://znanierussia.ru/articles/> (дата обращения: 1.12.2024).
49. *Игнатчик В.С.* Исследование коэффициентов часовой неравномерности водопотребления / В.С. Игнатчик, С.В. Саркисов, В.А. Обвинцев // Вода и экология. – 2017. – 2. – С. 27-39.
50. *Йоргенсен С.Э.* Управление озерными системами / С.Э. Йоргенсен. – М.: Агропромиздат, 1985. – 157 с.
51. *Кайданова О.В.* Геохимическая характеристика атмосферных осадков фоновых лесостепных ландшафтов Европейской территории России / О.В. Кайданова, С.Б. Суслова, Т.М. Кудерина, Г.С. Шилькрот, В.Н. Лунин // Проблемы региональной экологии. – 2024. – № 5. – С. 72–78. – URL: <http://doi: 10.24412/1728-323X-2024-5-72-78>.
52. *Калиманов Т.А.* Водные ресурсы Российской Федерации, их использование и состояние / Т.А. Калиманов, Е.В. Усова, М.Л. Татосян // Общество. Среда. Развитие. – 2017. – № 4. – С. 136–144.
53. *Каримов А.А.* Учет водопользования или водопотребления – где путь к водосбережению? / А.А. Каримов // Гидрометеорология и экология. – 2022. – № 1. – С. 83–94.

54. *Карманова А.А.* Загрязнение поверхностных водоемов, основные источники и загрязнители / А.А. Карманова // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2019. – № 1. – С. 48–59.
55. *Клаппер Х.* Опыт работы с технологиями по оздоровлению озер и водохранилищ в ГДР / Х. Клаппер // Антропогенное эвтрофирование природных вод: материалы III Всесоюз. симпоз. (Москва, сентябрь, 1983). – Черноголовка, 1985. – С. 172–207.
56. *Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях* [федеральный закон от 30.12.2001 № 195-ФЗ (ред. от 26.12.2024)] // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». – URL: <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 1.12.2024).
57. *Козинцев А.С.* водная безопасность на ближнем востоке и в северной Африке: новые грани старой проблемы / А.С. Козинцев // экономические и социальные проблемы России. – 2021. – № 1 (45). – С. 88–105. – URL: <http://doi: 10.31249/espr/2021.01.05>.
58. *Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер.* – Хельсинки: ООН, 1992. – 23 с.
59. *Копылов М.Н.* Принципы международного экологического права: уроки для развивающихся государств / М.Н. Копылов // Вестник РУДН. Серия Юридические науки. – 2000. – № 2. – С. 125–134.
60. *Котельянец Е.А.* Загрязнение донных отложений озера Донузлав / Е.А. Котельянец, О.В. Соловьева, Е.А. Тихонова // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2019. – № 2. – С. 95–102.
61. *Кочетков В.В.* «Водные войны»: дефицит водных ресурсов как причина и инструмент международных конфликтов / В.В. Кочетков, Е.В. Пак // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 12. Политические науки. – 2011. – № 5. – С. 35–47.
62. *Крепис О.* Особенности и причины массового застарания Кучурганского водохранилища в современной экологической ситуации и разработка способов снижения интенсивности развития водных растений / О. Крепис, М. Усатый, О. Стругуля, А. Усатый // Revista

stiintifiea a Universitatii de Stat din Moldova. – 2008. – № 7 (17). – С. 88– 94.

63. *Кудерский Л.А.* Влияние гидростроительства на рыбное хозяйство / Л.А. Кудерский // Известия ГосНИОРХ. – 1977. – Т. 115. – С. 4-16.

64. *Кудерский Л.А.* Особенности экологии больших равнинных водохранилищ / Л.А. Кудерский // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ, 1984. – Вып. 223. – С. 11–23.

65. *Кудерский Л.А.* Экология и биологическая продуктивность водохранилищ / Л.А. Кудерский. – М.: Знание, 1987. – 64 с.

66. *Кудерский Л.А.* Экологические основы формирования и использования рыбных ресурсов водохранилищ: автореф. дис... д-ра биол. наук / Л.А. Кудерский. – М., 1992. – 85 с.

67. *Кузнецов В.А.* Внутрипопуляционная дифференциация рыб в условиях зарегулирования стока рек / В.А. Кузнецов // Экология. – 1975. – № 4. – С. 61–69.

68. *Кузнецов В.А.* Процесс формирования экосистемы Куйбышевского водохранилища / В.А. Кузнецов // Проблемы охраны вод и рыбных ресурсов: труды IV Поволжской конф. – Казань: Изд-во КГУ, 1991. – Т. 1. – С. 23-28.

69. *Кузнецов В.А.* Изменение экосистемы Куйбышевского водохранилища в процессе формирования / В.А. Кузнецов // Водные ресурсы. – 1997. – Т. 24. – № 2. – С. 228–233.

70. *Кузнецов В.А.* Современный этап формирования водохранилищ (на примере Куйбышевского) / В.А. Кузнецов, Р.К. Зиганшина // Тезисы докладов VI съезда Всесоюз. гидробиол. общества. – Тольятти, 1991. – Т. 2. – С. 44–45.

71. *Кузнецов Е.В.* Водохозяйственные системы и водопользование: учеб. пособие / Е.В. Кузнецов, Е.В. Дегтярева, К.В. Ященко. – Краснодар: КубГАУ, 2018. – 75 с.

72. Куйбышевское водохранилище / под ред. А.В. Монакова. – Л.: Наука, 1983. – 213 с.

73. *Курашов Е.А.* Альгицид для подавления развития цианобактерий и зеленых водорослей на основе метаболитов – аллело-

химиков водных растений / Е.А. Курашов, Ю.В. Крылова, Ю.В. Баталова, А.Г. Русанов, Л.Т. Сухенко // Патент на изобретение RU 2709308 С1, 17.12.2019. Заявка № 2019104959 от 21.02.2019. – URL: <http://edrid.ru/rid/219.017.ef34.html>.

74. *Ланко Д.* Международно-политические аспекты водной стратегии России / Д. Ланко, Д. Нечипорук // Международные процессы. – 2021. – № 19 (2). – С. 105–120. – URL: <http://doi.org/10.17994/IT.2021.19.2.65.1>.

75. *Магрицкий Д.В.* Антропогенные воздействия на сток рек, впадающих в моря Российской Арктики / Д.В. Магрицкий // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35. – № 1. – С. 1–14.

76. *Макарцева Е.С.* Биоманипуляция / Е.С. Макарцева // Восстановление экосистем малых озер / отв. ред.: В.Г. Драбкова, М.Я. Прыткова, О.Ф. Якушко. – С.-Петербург: Наука, 1994. – 143 с.

77. *Максимова С.В.* Исследование влияния реагентной обработки на эффективность осаждения донных отложений озер при использовании технологии Geotube / С.В. Максимова, А.В. Пешева, В.В. Фомина, С.Н. Скаржинец, М.А. Шабарова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=15684>.

78. *Мартынова М.В.* Донные отложения как источник поступления азота и фосфора в водную массу / М.В. Мартынова // Водные ресурсы. – 1981. – 1. – С. 164–182.

79. *Маслов Б.С.* История мелиорации в России / Б.С. Маслов, А.В. Колганов, Г.Г. Гулюк, Е.П. Гусёнков. – М.: Издательская группа URSS, 2002. – Т.2. – 528 с.

80. *Маслов Б.С.* История мелиорации в России / Б.С. Маслов, А.В. Колганов, Г.Г. Гулюк, Е.П. Гусёнков. – М.: Издательская группа URSS, 2002. – Т.3. – 260 с.

81. *Математическое моделирование в экологии: курс лекций /* сост. Н.Е. Горковенко. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 45 с.

82. *Махмудова И.М.* Особенности систем водоснабжения малых посёлков и городов / И.М. Махмудова // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – 2020. – № 3 (72). – URL: <http://edrid.ru/rid/219.017.ef34.html>.

83. *Межевова А.С.* Использование осадков сточных вод при возделывании сельскохозяйственных культур / А.С. Межевова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 82–91.
84. *Мережко А.И.* Роль высших водных растений в самоочищении водоемов / А.И. Мережко // Гидробиологический журнал. – 1973. – 4. – С. 118–125.
85. *Мерзликина Ю.Б.* Об оценке результатов деятельности по реализации водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года / Ю.Б. Мерзликина, К.В. Крутикова, Е.Е. Морозова, Н.Б. Прохорова // Водное хозяйство России. – 2016. – № 6. – С. 4–14.
86. *Михайлов В.Н.* Гидрология: учебник для вузов / В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. школа, 2007. – 463 с.
87. *Могукало А.В.* Комплексная обработка избыточного активного ила от патогенной обсемененности: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Могукало. – Макеевка, 2023. – 125 с.
88. *Морозов Н.В.* Ускорение очищения поверхностных вод от нефти и нефтепродуктов вселением в них макрофитов / Н.В. Морозов, М.М. Телитченко // Водные ресурсы. – 1977. – № 6.– С. 120-131.
89. *MP 2.1.4.0176-20. 2.1.4.* Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Организация мониторинга обеспечения населения качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения. Методические рекомендации (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 30.04.2020).
90. *Мукатова М.Д.* Обоснование необходимости изъятия макрофитов, скашиваемых во время мелиорации в дельте реки Волги, перспективы их рационального использования / М.Д. Мукатова, Т.Ф. Суворова, АР. Бисенова // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2010. – № 1. – С. 153-155.

91. *Мукашева А.А. Международно-правовое регулирование трансграничных водных ресурсов / А.А. Мукашева // Вестник Института законодательства Республики Казахстан. – 2012. – № 1 (25). – С. 109–111.*
92. *Народонаселение // Официальный сайт Организации объединенных наций. – URL: <https://www.un.org/ru/global-issues/population> (дата обращения: 1.12.2024).*
93. *Наумова А.М. Использование водных растений для очистки воды и грунта рыбохозяйственного водоема от органического и неорганического загрязнения / А.М. Наумова, М.Н. Гончарова, А.Ю. Наумова // РЖ «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. – 2015. – № 2 (14). – С. 72– 77.*
94. *Научно-образовательный портал «Большая российская энциклопедия». – URL: <https://bigenc.ru/c/vodnye-resursy-1841d6> (дата обращения: 1.12.2024).*
95. *Некрасов Б.И. Эволюция сотрудничества южноамериканских стран в бассейне реки Амазонки: от создания Договора об амазонской кооперации до подписания «Летисийского пакта» / Б.И. Некрасов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Международные отношения. – 2020. – Т. 20. – № 4. – С. 805– 822. – URL: <http://doi:10.22363/2313-0660-2020-20-4-805-822>.*
96. *Новикова Н.М. Эколого-географический аспект Аральского кризиса. Часть 1. Развитие Аральской проблемы, ее изучение, оценка и разработка мероприятий / Н.М. Новикова // Экосистемы: экология и динамика. – 2019. – Т. 3. – № 1. – С. 5–62.*
97. *О Государственной границе Российской Федерации [Федеральный закон № 4730-1 от 01.04.1993] // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». – URL: <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 1.12.2024).*
98. *О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года [указ Президента Российской Федерации № 204 от 7.05.2018] // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». – URL: <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 1.12.2024).*

99. *О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения траво-польных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР* [постановление Совмина СССР, ЦК ВКП(б) № 3960 от 20.10.1948].

100. *О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения* [федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ] // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». – URL: <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 1.12.2024).

101. *О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году*. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2023. – 686 с.

102. *О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году*. Проект Государственного доклада. – М.: Минприроды России; ООО «Интеллектуальная аналитика»; ФГБУ «Дирекция НТП»; Фонд экологического мониторинга и международного технологического сотрудничества, 2024. – 707 с.

103. *О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации* [указ Президента Российской Федерации № 400 от 2.07.2021] // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». – URL: <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 1.12.2024).

104. *О Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору* (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024) [постановление Правительства РФ № 401 от 30.07.2004 (ред. от 31.10.2023)] // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». – URL: <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 1.12.2024).

105. *Об охране окружающей среды* [федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ] // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». – URL: <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 1.12.2024).

106. *Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года* [распоряжение Правительства РФ № 1235-р от 27.08.2009 (ред. от 17.04.2012)] // Справочно-правовая си-

стема «КонсультантПлюс». – URL: <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 1.12.2024).

107. *Об утверждении Положения о Федеральной службе по надзору в сфере природопользования и внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации № 370 от 22.07.2004 [постановление Правительства РФ № 400 от 30.07.2004 (ред. от 27.12.2024)]* // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». – URL: <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 1.12.2024).

108. *Овчинникова Е.В.* Биохимическое регулирование качества коллекторно-дренажных вод: дис. ... канд. техн. наук / Е.В. Овчинникова. – Москва, 2002. – 174 с.

109. *Одум Ю.* Экология / Ю. Одум. Т. 1. – М.: Мир, 1986. – 328 с.

110. *Ознобихина А.О.* Проблемы качества трансграничных водных ресурсов / А.О. Ознобихина, Л.А. Ознобихина // Московский экономический журнал. – 2019. – № 1. – С. 31-36.

111. *Оксюк О.П.* Управление качеством воды в каналах / О.П. Оксюк, Ф.В. Стольберг. – Киев: Наукова думка, 1986. – 171 с.

112. *Официальный сайт агентства МФСА в Узбекистане.* – URL: <https://aral.uz/wp/ifas/> (дата обращения: 1.12.2024).

113. *Официальный сайт ПАО Русгидро. Зейская ГЭС.* – URL: <https://zges.rushydro.ru/> (дата обращения: 1.12.2024).

114. *Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы:* учебно-методическое пособие / сост. О.В. Гагарина. / Ижевск: Издательство «Удмуртский университет». – 2012. – 199 с.

115. *Паненков Е.Е.* Техногенное загрязнение подземных вод больших городов и мегаполисов (на примере г. Москвы) / Е.Е. Паненков // Вестник МГСУ. – 2007. – № 4. – С. 116–120.

116. *Пашкевич Н.В.* Актуальные проблемы управления добычей подземных вод на территории Российской Федерации / Н.В. Пашкевич, Е.И. Головина // Записки Горного института. – 2014. – Т. 210. С. – 98–107.

117. *Попов П.А.* Влияние уровенного режима водоемов реки Оби на экологию рыб / П.А. Попов // Известия АО РГО. – 2022. – № 2 (65). – С. 59–81.
118. *Портал знаний о водных ресурсах и экологии Центральной Азии.* – URL: <http://cawater-info.net/> (дата обращения: 1.12.2024).
119. *Программа по окружающей среде. Наша работа в Африке //* Официальный сайт Организации Объединенных Наций. – URL: <https://www.unep.org/ru/regions/africa/nasha-rabota-v-afrike?utm> (дата обращения: 1.12.2024).
120. *Пулатов Я.Э.* Водные ресурсы бассейна Аральского моря, вододеление и пути решения дефицита воды / Я.Э. Пулатов, Х.М. Муххабатов // Центральноазиатский журнал географических исследований. – 2021. – № 1-2. – С. 70–83.
121. Р 52.24.309-2004 Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Росгидромета.
122. *Рогожина Н.Г.* Конфликтный потенциал водных ресурсов Центральной Азии / Н.Г. Рогожина // Россия и новые государства Евразии. – 2014. – № 1. – С. 44–54.
123. *Румянцев В.А.* Водные ресурсы рек и водоемов России и антропогенные воздействия на них / В.А. Румянцев, Н.И. Короневич, А.В. Измайлова, А.Г. Георгиади, И.С. Зайцева, Е.А. Барабанова, В.Г. Драбкова, Н.Ю. Корнеенкова // Известия РАН. Серия географическая. – 2021. – Т. 85. – № 1. – С. 120–135.
124. *Рябов А. К.* Искусственная аэрация природных вод / А.К. Рябов, Л.А. Сиренко. – Киев: Наукова думка, 1982. – 202 с.
125. *Савичев О.Г.* Регулирование речного стока: учебное пособие / О.Г. Савичев, С.Ю. Краснощёков, Н.Г. Наливайко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 114 с.
126. *Саинов М.П.* Конструкции каменно-набросных плотин с железобетонным экраном в исторической ретроспективе / М.П. Саинов, Е.А. Юрьева // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2018. – № 9 (72). – С. 46-60. – URL: <http://doi: 10.18720/CUBS.72.3>.

127. *Салия М.Р.* Развитие международного экологического права на современном этапе: обзор мероприятий, международных договоров и судебной практики / М.Р. Салия // *Lex russica*. – 2021. – Т. 74. – № 4. – С. 79-87.

128. *СанПиН 2.1.3684-21.* Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно- противоэпидемических (профилактических) мероприятий.

129. *СанПиН 2.1.5.980-00.* Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы.

130. *СанПиН 2.1.7.573-96. 2.1.7. Почва. Очистка населенных мест. Бытовые и промышленные отходы. Санитарная охрана почвы. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения.*

131. *Семенец Е.С.* Химический состав атмосферных осадков российского Заполярья / Е.С. Семенец, П.Ф. Свистов, А.С. Талаш // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 3. – С. 27–36.

132. *Сиренко Л.А.* Деевтрофирование водоемов, его принципы, трудности, опыт практического осуществления / Л.А. Сиренко // Антропогенное эвтрофирование природных вод. – М.: Наука, 1985 – С. 153-171.

133. *Сиренко Л.А.* "Цветение" воды и эвтрофирование / Л.А. Сиренко, М.Я. Гавриленко. – Киев: Наукова думка, 1978. – 232 с.

134. *Скоркин В.К.* Особенности водоснабжения животноводческих ферм / В.К. Скоркин, Д.К. Ларкин, В.П. Аксенова, О.Л. Андрюхина// Вестник ВНИИМЖ. – 2013. – № 1 (9) – С. 23– 28.

135. *Словарь по географии* // Академик. – URL: https://geography_ru.academic.ru/ (дата обращения: 1.12.2024).

136. *СНиП 2.06.06-85.* Плотины бетонные и железобетонные.

137. *СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения.*
138. *СНиП II-И.12-67. Бетонные и железобетонные гравитационные плотины на нескальных основаниях. Нормы проектирования.*
139. *Соболь И.С. Проектирование плотины из грунтовых материалов: методические указания для выполнения курсовых проектов и выпускных квалификационных работ студентами направления 270100 – «Строительство» и специальности 270104 – «Гидротехническое строительство» / И.С. Соболь, А.Н. Ежков, Е.Н. Горохов. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2010. – 91 с.*
140. *Состояние климата в Африке выносит на передний план проблему водного стресса и опасных явлений, связанных с водой // Официальный сайт Всемирной метеорологической организации. – URL: <https://wmo.int/ru/news/media-centre/sostoyanie-klimata-v-afrike-vynosit-na-peredniy-plan-problemu-vodnogo-stressa-i-opasnykh-yavleniy?utm> (дата обращения: 1.12.2024).*
141. *Сосюк А.П. водные конфликты на ближнем востоке: история и современное урегулирование на примере Турции, Сирии и Ирака / А.П. Сосюк // Universum: общественные науки: электрон. научн. журн. – 2022. – № 9 (88). – С. 5-7. – URL: <https://7universum.com/ru/social/archive/item/14320>.*
142. *СП 30.13330.2020. Внутренний водопровод и канализация зданий.*
143. *СП 31.13330.2021. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.*
144. *Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 г. № 176.*
145. *Терещенко В.Г. Оценка состояния экосистем внутренних водоемов на основе анализа структурного фазового портрета рыбной части сообществ / В.Г. Терещенко, В.А. Кузнецов, С.В. Козловский, Ф.М. Шакирова // Ученые записки Казанского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2006. – Т. 148. – Кн. 1. – С. 36-48.*

146. *Тихонова И.О.* Экологический мониторинг водных объектов / И.О. Тихонова, Н.Е. Кручинина. – М.: ИНФРА-М, 2021. – 202 с.
147. *Трансграничные водные ресурсы* // Официальный сайт Организаций объединенных наций. – URL: https://www.un.org/ru/waterforlifedecade/transboundary_waters.html (дата обращения: 1.12.2024).
148. *Учет показателей достижения ЦУР 4 доклад о ходе достижения национальных контрольных показателей: в фокусе внимания учителя* / Статистический институт ЮНЕСКО, Группа подготовки Всемирного доклада по мониторингу образования. – Montreal: UIS, 2024; Paris: UNESCO, 2024. – 143 с.
149. *Фомина В.Ф.* Оценка водопользования регионов России по критериям водообеспеченности, эффективности и устойчивого развития / В.Ф. Фомина // Вестник Пермского университета. Серия Экономика. – 2023. – Т. 18. – № 2. – С. 215–240.
150. *Фрумин Г.Т.* Трансграничные водные объекты и водосборы России: проблемы и пути их решения / Г.Т. Фрумин, Л.А. Тимофеева // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2014. – Т. 6. – № 2. – С. 118–133.
151. *Харченко Т.А.* Деструкция аллохтонного органического вещества в каналах в присутствии дрейссены / Т.А. Харченко, А.В. Ляшенко // Гидробиологический журнал. – 1985. – Т. 21. – 4. – С. 90–95.
152. *Хендерсон-Селлерс Б.* Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования / Б. Хендерсон-Селлерс, Х.Р. Маркленд. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 280 с.
153. *Хлопов О.А.* Проблема водных ресурсов в отношениях между Турцией, Сирией и Ираком / О.А. Хлопов // Наука без границ. – 2019. – № 12 (40). – С. 77–84.
154. *Чембарисов Э.И.* О многолетних изменениях Аральского моря / Э.И. Чембарисов, М.Н. Рахимова, Ж.Б. Мирзакобулов, Д.И. Махмудова // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. – 2019. – № 3 (38). – С. 69–73.

155. *Чередниченко А.В. Динамика стока реки Иртыш в условиях изменения климата / А.В. Чередниченко, А.В. Чередниченко, В.С. Чередниченко, Д.М. Бурлибаева, А.Ж. Уйсинбай, Д.К. Кисебаев // Гидрометеорология и экология. – 2022. – №1. – С. 65–82. – URL: <https://doi: 10.54668/2789-6323-2022-104-1-65-82>.*
156. *Шабанов М.В. Поступление тяжелых металлов в депонирующие среды Карабашской геотехногенной системы / М.В. Шабанов, М.С. Маричев, Т.М. Минкина, С.С. Манджиева, Д.Г. Невидомская // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 5. – С. 117–132. – URL: https://doi: 10.25018/0236_1493_2024_5_0_117.*
157. *Шабарова М.Е. Реабилитация городских водоемов с использованием технологии Geotube / М.Е. Шабарова, С.В. Максимова // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – №3. – С. 87–91.*
158. *Шамардина И.П. Борьба с антропогенной эвтрофикацией водоемов / И.П. Шамардина // Общая экология. Биоценология. Гидробиология. – М., 1975. – Т. 2. – С. 61–69.*
159. *Шашуловская Е.А. Гидрохимические основы биологической продуктивности в замыкающих водохранилищах Волжского каскада / Е.А. Шашуловская, С.А. Мосияш, И.Г. Филимонова, Л.В. Гришина, Е.Г. Кузина // Труды Зоологического института РАН. – 2016. – № 320 (3). – С. 367–376. – URL: <https://doi.org/10.31610/trudyzin/2016.320.3.367>.*
160. *Шевцова Л.В. Роль дрейссены бугской в осаждении взвеси и трансформации органического вещества / Л.В. Шевцова // Гидробиологический журнал. – 1989. – № 3. – С. 44–48.*
161. *Шевченко В.А. новый этап развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса Российской Федерации / В.А. Шевченко, С.Д. Исаева, Э.Б. Дедова // Вестник РАН. – 2023. – Т. 93. – № 4. – С. 355–361.*
162. *Шпагина А.Н. Водные ресурсы России и их использование в системе рыночных отношений / А.Н. Шпагина // Записки Горного института. – 2008. – Т. 179. – С. 210–215.*

163. Щепетова В.А. Основы математического моделирования в экологии: моногр. / В.А. Щепетова. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 122 с.
164. Эдельштейн К.К. Морфология, водный режим и гидрологическая структура долинных водохранилищ: дис. ... д-ра геогр. наук / К.К. Эдельштейн. – Москва, 1983. – 404 с.
165. Экология Амура и российско-китайское сотрудничество // Журнал «Эковестник». – 2021. – № 2. – URL: <https://ekovestnik.ru/article/431581/>.
166. Энциклопедия «Bruma.ru». – URL: http://bruma.ru/enc/nauka_i_tehnika/energetika_i_stroitelstvo/KANAL.html (дата обращения: 1.12.2024).
167. Яковенко Н.В. Геоэкологический подход к сохранению и использованию водных ресурсов вододефицитных регионов / Н.В. Яковенко, И.Н. Алферов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16665> (дата обращения: 15.01.2025).
168. Andersson G. Planktonic changes following the restoration of lake Trummen, Sweden / G. Andersson, G. Cronberg, C. Gelin // Ambio. – 1973. – № 2. – P. 44–47.
169. Anton-Pardo M. Effect of restoration on zooplankton community in a permanent interdunal pond / M. Anton-Pardo, C. Olmo, J. Soria, X. Armengol // Ann. Limnol. - Int. J. Lim. – 2013. – 49. – P. 97–106.
170. Balvay G.L. L'evolution de la biocenose planctonique du lac d'Annecy / G.L. Balvay // Ann. Hydrobiol. – 1972. – V. 3. – № 2. – P. 93–116.
171. Bennedorf J. Food web manipulation without nutrient control: A useful strategy in lake restoration / J. Bennedorf // Schweiz. Z. Hydrol. – 1987. – Vol. 49. – № 2. – P. 237-248.
172. Biomanipulation: Hit or myth// Limnol. Oceanogr. – 1992. – № 37 (1). – P. 192-207.
173. Bjork S. Swedish lake restoration program gets results / S. Bjork // Ambio. – 1972. – Vol. 1, 5. – P. 153–165.
174. Bolduc P. Does submerged aquatic vegetation shape zooplankton community structure and functional diversity? A test with a shallow

fluvial lake system / P. Bolduc, A. Bertolo, B. Pinel-Alloul // *Hydrobiologia*. – 2016. – 778. – P. 151–165. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2663-4>.

175. *Cruz J.V.* Sete Cidades and Furnas lake eutrophication (São Miguel, Azores): Analysis of long-term monitoring data and remediation measures / J.V. Cruz, D. Pacheco, J. Porteiro, R. Cymbron, S. Mendes, A. Malcata, C. Andrade // *Science of the Total Environment*. – 2015. – 520. – P. 168–186.

176. *Dawidowicz P.* "Biomanipulacja". 2. Oddziaływanie na fitoplankton poprzez przekształcanie struktury troficznej biocenoz wodnych / P. Dawidowicz // *Wiad. ecol.* – 1986. – Vol. 32. – № 4. – P. 381–401.

177. *Donk V.* Food-web manipulation in Lake Zwemlust: positive and negative effects during the first two years / V. Donk, R.D. Gulati, M.P. Grimm // *Hydrobiol. Bull.* – 1989. – Vol. 23. – № 1. – P. 19–34.

178. *Edmondson W.T.* Changes in lake Washington following an increase in the nutrient in-come / W.T. Edmondson // *Verh. Int. Verein. Limnol.* – 1961. – 14. – P. 167–175.

179. *Edmondson W.T.* Changes in the oxygen deficit of lake Washington / W.T. Edmondson // *Ibid.* – 1966. – 16. № 1 – P. 153–158.

180. *Edmondson W.T.* Phosphorus, nitrogen and algae in Lake Washington after diversion of sewage / W.T. Edmondson // *Science* – 1970. – V, 169. – № 3946. – P. 690–691.

181. *Edmondson W.T.* The present condition of lake Washington. / W.T. Edmondson // *Verh. Int. Verein. Limnol.* – 1972. – 18. – P. 284–291.

182. *Edmondson W.T.* The sedimentary record of the eutrophication of lake Washington / W.T. Edmondson // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. – 1974. – 71. – № 12. – P. 5093–5095.

183. *Eigemann F.* Biological indicators track differential responses of pelagic and littoral areas to nutrient load reductions in German lakes / F. Eigemann, U. Mischke, M. Hupfer, J. Schaumburg, S. Hilt // *Ecological Indicators*. – 2016. – 61. – P. 905–910.

184. *Gliwicz Z.M.* "Biomanipulacja". 1 Czym. teoria ekologii sluzy c moze praktyce ochrony srodwiske wodnego / Z.M. Gliwicz // Wiad ecol.– 1986. – Vol. 32. – № 2. – P. 155–170.
185. *Gołdyn R.* The sustainable restoration of lakes — towards the challenges of the water framework directive / R. Gołdyn, S. Podsiadłowski, R. Dondajewska, A. Kozak // Ecohydrology & Hydrobiology. – 2014. – 14. – № 1. – P. 68–74.
186. *Gulati R.D.* Lake restoration studies: Failures, bottlenecks and prospects of new ecotechnological measures / R.D. Gulati, L.M.D. Pires, E.V. Donk // Limnologica. – 2008. – Vol. 38. – Is. 3-4. – P. 233–247.
187. *Gulati, R.D.* Biomanipulation in The Netherlands: Applications in fresh-water ecosystems and estuarine waters — An introduction / R.D. Gulati, E. Van Donk // Hydrobiological Bulletin. – 1989. – 23, P. 1–4. – URL: <https://doi.org/10.1007/BF02286421>.
188. *Gulati R.D.* Lakes in the Netherlands, their origin, eutrophication and restoration: state-of-the-art review / R.D. Gulati, E. Van Donk // Hydrobiologia. – 2002. – 478. – P. 73–106.
189. *Ibelings B.W.* Resilience of alternative stable states during the recovery of shallow lakes from eutrophication: Lake Veluwe as a case study / B.W. Ibelings, R. Portielje, E.H.R.R. Lammens, R. Noordhuis, M.S. Van den Berg, W. Joosse, M.L. Meijer // Ecosystems. – 2007. – № 10. – P. 4–16.
190. *Lammens E.H.R.R.* Effects of commercial fishery on the bream population and the expansion of *Chara aspera* in Lake Veluwe / E.H.R.R. Lammens, E.H. Van Nes, M.-L. Meijer, M.S. Van den Berg // Ecol. Model. – 2004. – 177. – P. 233–244.
191. *Livejournal. Rushydro.* – URL: <https://rushydro.livejournal.com/213990.html> (дата обращения: 1.12.2024).
192. *Lu Y.* Inhibition of the growth of cyanobacteria during the recruitment stage in Lake Taihu / Y. Lu, J. Wang, X. Zhang, F. Kong // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2016. – 23. – P. 5830–5838. – URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5821-8>.

193. *Ma W.* Study of the application of the water-lifting aerators to improve the water quality of a stratified, eutrophicated reservoir / W. Ma, T. Huang, X. Li // Ecological Engineering. – 2015. – 83. – P. 281–290.
194. *MacIsaac H.J.* Filtering impacts of larval and sessile zebra mussels (*Dreissena-polymorpha*) in Western Lake Erie / H.J. MacIsaac, W.G. Sprules, O.E. Johannsson, J.H. Leach // Oecologia. – 1992. – 92. – P. 30–39.
195. *Makarewicz J.* Evidence for the restoration of the lake Erie ecosystem / J. Makarewicz, P. Bertram // Bioscience. – 1991. – 41. – № 4. – P. 216–223.
196. *Meijer M.L.* Biomanipulation in shallow lakes in the Netherlands / M.L. Meijer, I. de Boois, M. Scheffer, R. Portielje, H. Hosper // Hydrobiologia. – 1999. – 408. – P. 13–30.
197. *Meijer M.-L.* Effects of biomanipulation in the large and shallow Lake Wolderwijd, The Netherlands / M.-L. Meijer, H. Hosper // Hydrobiologia. – 1997. – № 342/343. – P. 335–349.
198. *Michalski M.F.Pl.* The 'oligotrophication' of Little Otter Lake, Parry Sound district / M.F.Pl. Michalski, N. Conray: proc. 16th Conf. Great Lakes Res. Huron (Ohio, 1973). – Michigan: Ann Arbor, 1973. – P. 934–948.
199. *Moog O.* The effect of an oligotrophic lake (Attersee, Austria) / O. Moog // Conserv. and Manag. lake. – Budapest, 1989. – P. 87–97.
200. *Mosello R.* Nutrient load, Trophic Condition and restoration Prospects of Lake Maggiore / R. Mosello // Int. Revue ges. Hydrobiol. – 1985. – 70. – № 1. – P. 63–75.
201. *Ochocka A.* Sensitivity of plankton indices to lake trophic conditions / Ochocka A., Pasztaleniec A. // Environ Monit Assess. – 2016. – 188. – P. 622. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5634-3>.
202. *Orlova M.* *Dreissena polymorpha* (Bivalvia: Dreissenidae) in the Neva Estuary (eastern Gulf of Finland, Baltic Sea): Is it a biofilter or source for pollution? / M. Orlova, S. Golubkov, L. Kalinina, N. Ignatieva // Mar. Pollut. Bull. – 2004. – 49. – P. 196–205.
203. *Paturej E.* Assessment of the trophic state of a restored lake based on zooplankton com-munity structure and zooplankton-related indi-

ces / E. Paturej // *Pol. J. Natur. Sc.* – 2008. – V. 23. – № 2. – P. 440–449. – URL: <https://doi.org/10.2478/v10020-008-0034-y>.

204. *Ripley W.* Lake recovery: case studies Dummer and Schlei (GFR) / W. Ripley: Paper presented at the European water pollution control association. *Internacional Congress* (Rome, 15-18 April 1985). – Roma, 1985. – P. 7.

205. *Shapiro J.* Changes in the Chemical composition of sediments of lake Washington (1958-1970) / J. Shapiro, W.T. Edmondson, D.E. Allison // *Limnol. and Oceanogr.* – 1971. – 16. – № 2. – P. 437–452.

206. *Shapiro J.* Lake restoration by biomanipulation / J. Shapiro, D.J. Whight // *Freshwater Biol.* – 1984. – Vol. 14. – № 3. – P. 371–383.

207. *Spirk P.J.* A Case Study of a Successful Lake Rehabilitation Project in South-Central Nebraska / P.J. Spirk, B.A. Newcomb, K.D. Koupal // *The Prairie Naturalist.* – 2009. – 40. – № 3/4. – P. 95–102. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/267227328>.

208. *Špoljar M.* Zooplankton traits in the water quality assessment and restoration of shallow lakes / M. Špoljar, T. Dražina, N. Kuczyńska-Kippen, C. Zhang, I. Ternjej, G. Kovačević, J. Lajtner, J. Fressl: 1st international conference “The Holistic Approach to Environment” (Sisak, 13th-14th September 2018). – Sisak, 2018. – P. 1–7.

209. *Stenson J.A.E.* Effects of fish removal from a small lake / J. Stenson, T. Bohlin, L. Henrikson, B. Nilsson, H. Nyman, H.G. Oscarsson, P. Larsson // *Verh. Intern. Verein. Limnol.* – 1978. – Bd. 20. – № 2. – P. 794–801.

210. *Such W.* Sanierung von Seen. Eutrophierung stehender Gewässer. Beispiele von Bekämpfungsmabnahmen. Fernhaltung von Nährstoffen / W. Such // *Umschau Wiss. und Techn.* – 1974. – № 19. – P. 610–612.

211. *Tikhomirova V.V.* Pollution of surface and wastewater of the Russian Federation with heavy metals / V.V. Tikhomirova, P.S. Smirnova // *International Research Journal.* – 2022. – № 10 (124). – URL: <https://research-journal.org/archive/10-124-2022-october/10.23670/IRJ.2022.124.55> (accessed: 22.01.2025). – URL: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.55>.

212. *Tsygankov V.Yu.* Organochlorine pesticides in marine ecosystems of the Far Eastern Seas of Russia (2000-2017) / V.Yu. Tsygankov // Water research. – 2019. – 161. – P. 43-53. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.103>.
213. *Van Donk E.* Biomanipulation in the Netherlands: applications in fresh-water ecosystems and estuarine waters / E. Van Donk, R.D. Gulati // Aquat. Ecol. – 1989. – 23. – P. 1–99.
214. *Van Donk E.* Food-web manipulation in Lake Zwemlust: positive and negative effects during the first two years / E. Van Donk, R.D. Gulati, M.P. Grimm // Aquat. Ecol. – 1989. – 23. – P. 19–34.
215. *Van Donk E.* Restoration by biomanipulation in a small hypertrophic lake: first-year results / E. Van Donk, R.D. Gulati, M.P. Grimm // Hydrobiologia. – 1990. – 191. – P. 285–295.
216. *Zhang S.* Effects of sediment dredging on water quality and zooplankton community structure in a shallow of eutrophic lake / S. Zhang, Q. Zhou, D. Xu, J. Lin, S. Cheng, Z. Wu // J Environ Sci . –2010. – 22. – № 2. – P. 218–224.

Учебное издание

Деревенская Ольга Юрьевна

ПРОБЛЕМЫ ВОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебное пособие

Компьютерная верстка
О.Ю. Деревенской

Подписано в печать 10.02.2025.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Формат 60x84 1/16. Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 20,93. Уч.-изд. л. 11,93. Тираж 100 экз. Заказ 29/2

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии Издательства Казанского университета

420008, г. Казань, ул. Профессора Нужина, 1/37
тел. (843) 206-52-14 (доп. 1705), 206-52-14 (доп. 1704)