АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ

ВОДОХРАНИЛИЩА МИРА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА
1979

УДК 627.81 26.22+28.082
551.49.
В-625.

Водохранилища мира. М.: Наука, 1979

В монографии освещается обширный круг вопросов, связанных с использованием водохранилищ, воздействием их на окружающую среду, формированием гидрологического и качества воды. Характеризуется распространение водохранилищ на земном шаре, особенности их подготовки в разных странах мира, приводится классификация водохранилищ по ряду признаков. По широте охвата проблем и освещения их на примере разных стран выступающая монография — первая в отечественной литературе.

336732

Авторский коллектив:

А. Б. АВАКЯН, В. А. ШАРАПОВ, В. П. САЛТАНКИН,
М. А. ФОРТУНАТОВ, Б. А. КОРНЕЛОВ, А. Г. МУСАТОВ,
С. П. ОРЧИННИКОВА, Л. О. ЭПШТЕЙН, Л. И. ЭЛЬПИНЕР,
В. В. ЯКОВЛЕВА, Г. З. ГАК, О. М. КОЖОВА,
И. Л. КОРЕЛЯКОВА, Е. С. КУДРИНА, Л. П. НОВОСЕЛОВА,
И. К. РИВЬЕР, В. М. ШИРОКОВА

Ответственные редакторы:

чл.-корр. АН СССР Г. В. ВОРОПАЕВ
доктор географических наук С. Л. ВЕНТЦОВ

П $\frac{30211-249}{055(02)-79}$ 461—79. 3302000000

© Издательство «Наука», 1979 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Обеспечение водой населения, промышленности и сельского хозяйства с каждым годом становится все более острой проблемой, от решения которой зависит экономическое развитие многих стран мира.

В настоящее время в большинстве стран для обеспечения растущего хозяйства водой ведутся научно-исследовательские, проектные и практические работы по регулированию стока рек, использованию подземных вод, территориальному перераспределению стока, опреснению воды и привлечению других источников для пополнения водных ресурсов, а также охране вод от загрязнения и улучшению их качества.

Особенно большое внимание государственных организаций, специалистов и ученых во многих странах мира за последние два десятилетия привлекают вопросы создания и комплексного использования водохранилищ. Это объясняется тем, что водохранилища играют все большую роль в развитии хозяйства многих стран. С 1930 г. число водохранилищ на земном шаре увеличилось в четыре раза, а объем их возрос в восемь раз. В это же время были созданы все крупнейшие водохранилища с объемом более 50 млрд. м³ каждое.

Водохранилища позволяют перераспределять сток во времени, в совместно с каналами и другими водопроводящими сооружениями — и по территории и служат основой разностороннего и комплексного использования водных ресурсов.

Одновременно водохранилища вносят в природу и хозяйство территорий в пределах зон их влияния ряд нежелательных изменений: происходит затопление и подтопление земель, обрушение берегов; возникает необходимость переноса объектов народного хозяйства; нарушаются сложившиеся экономические, транспортные и другие связи; изменяются микроклиматические условия, санитарно-гигиеническая обстановка, условия воспроизводства и нагула рыб и т. п. Создание водохранилищ непосредственно затрагивает интересы многих миллионов людей.

Несмотря на то что все процессы, протекающие в водохранилищах, в значительной мере подвергаются воздействию деятельности человека и прежде всего устанавливаемого им режима эксплуатации, водохранилища подчиняются закономерностям формирования и развития, присущим естественным водоемам.

Создание крупных водохранилищ в последние десятилетия, как правило, осуществлялось в целях развития гидроэнергетики и ирригации. Эти отрасли хозяйства не только финансировали строительство гидроузлов, но и принимали на себя расходы, связанные с созданием водохранилищ. Поэтому параметры и режим работы водохранилищ выбирались в первую очередь с учетом удовлетворения требований этих отраслей. В связи с этим, несмотря на провозглашение во многих странах комплексности гидротехнического строительства, на практике нередко проявляется ведомственный (отраслевой) подход. Поэтому положительные последствия создания водохранилищ не только не использовались в некоторых отраслях водного хозяйства, но и не осуществлялись целесообразные для хозяйства в целом мероприятия, связанные с переустройством объектов, попадавших в зоны их воздействия. Различные неудобства, а в иных странах материальные и моральные ущербы испытывало население, переселяемое из зон воздействия водохранилищ.

Проблема создания и комплексного использования водохранилищ требует разработки национальной политики государств и международного сотрудничества при создании водохранилищ на пограничных реках или реках, протекающих по территории нескольких государств.

На современном этапе использования водных ресурсов и в особенности в перспективе необходим приоритет таким видам использования водохранилищ, как водообеспечение населения, сельского хозяйства и промышленности, рекреационное и рыбохозяйственное использование водохранилищ, перед такими традиционными видами их использования, как энергетическое и водотранспортное.

Одновременно, где это необходимо и возможно, следует усиливать противопаводочное, противоэрозионное и противоселевое использование водохранилищ.

Разработка единой системы научных взглядов на вопросы создания и принципы комплексного использования и охраны водных, биологических и рекреационных ресурсов водохранилищ — одна из важнейших задач в области водохозяйственного строительства. Отсутствие научно обоснованной системы взглядов на рассматриваемую проблему затрудняет принятие оптимальных решений, что причиняет хозяйству многих стран большой ущерб.

От естественных пресноводных водоемов водохранилища отличаются рядом важных особенностей:

1) с созданием водохранилищ резко нарушается относительное равновесие, установившееся в природе, и начинается бурное развитие таких природных процессов, как переформирование берегов и дна, повышение уровня грунтовых вод, вспышивание торфяников, изменение климата, растительности, водных экосистем и т. п.;

2) создание водохранилищ вызывает существенные изменения в хозяйстве прилегающих районов и в долине ниже плотины.

3) все процессы на разных участках водохранилищ (в приплотинной и средней зонах, в зоне выклинивания подпора, в заливах) развиваются неодинаково;

4) параметры и режим эксплуатации, от которых зависит развитие тех или иных процессов, определяются людьми и, таким образом, от глубины наших знаний во многом зависят направление и интенсивность развития тех или иных природных процессов;

5) водохранилища выступают в двух системах связей: связей природных и связей общественных явлений, и на них воздействуют различные элементы каждой из этих систем.

Из сказанного следует, что водохранилища представляют чрезвычайно важные, сложные и интересные для всестороннего изучения объекты.

Существуют три генеральных аспекта изучения водохранилищ.

1. Установление потребности в создании водохранилищ в отдельных странах и экономических районах и их значения для развития хозяйства в целом и отдельных отраслей, связанных с использованием водных ресурсов.

2. Выявление изменений в природе и хозяйстве районов, на территории которых сказывается влияние водохранилищ, и определение мероприятий, необходимых для сведения к минимуму или исключения отрицательных и для наиболее эффективного использования положительных последствий создания водохранилищ.

3. Установление оптимальных с экономических и экологических позиций режимов эксплуатации водохранилищ (режим попусков и режим уровней верхнего и нижнего бьефов) на разных этапах развития народного хозяйства.

Установить необходимость и экономическую эффективность создания того или иного водохранилища можно, лишь изучив его значение для природы и хозяйства по всех указанных аспектах. Трудно назвать другую область деятельности человека, где бы так наглядно проявлялось взаимодействие природных, технических и экономических факторов, как при гидротехническом строительстве.

При этом следует учитывать, что требования, предъявляемые к регулированию стока различными отраслями хозяйства, не всегда совпадают и интересы отдельных отраслей хозяйства бывают различными в отношении как места расположения гидроузла и водохранилища, так и степени зарегулирования стока, а следовательно, и параметров водохранилища и режима их эксплуатации. Поэтому проектирование и использование водохранилищ относятся к числу сложнейших комплексных хозяйственных проблем.

Принимая во внимание насущную необходимость регулирования стока для развития хозяйства многих стран, можно представить, сколь большое научное и практическое значение имеют объективное изучение и прогнозирование многообразных последствий создания водохранилищ на природу и хозяйство. Они необходимы для всесторонней оценки хозяйственной целесообразности создания того или иного водохранилища; для определения очередности гидротехнического строительства как в отдельных странах, так и в речных бассейнах; для оптимального выбора основных параметров гидроузлов и в первую очередь отметки нормального подпорного уровня (НПУ) водохранилища и места положения гидроузла; для установления оптимального режима эксплуатации гидроузла и водохранилища; для максимального использования положительных и ограничения или исключения отрицательных последствий создания водохранилища и определения необходимого состава и объема компенсационных мероприятий и размера затрат.

При проектировании, подготовке и эксплуатации водохранилищ приходится решать самые разнообразные задачи, поэтому в этих работах участвуют многие проектные, научные, строительные, административно-хозяйственные и другие организации. Полноценное участие всех специалистов в проектировании, рассмотрении и согласовании проектов, а также в подготовке и эксплуатации водохранилищ возможно только при накоплении определенных знаний в этой области.

В настоящее время исследования многих аспектов создания и использования водохранилищ в СССР существенно опередили аналогичные исследования за рубежом. Это объясняется наличием в развитых капиталистических странах лишь небольшого числа крупных водохранилищ, с одной стороны, более поздних созданием крупных водохранилищ в развивающихся странах и недостатком в последних специалистов и средств для исследования водохранилищ, с другой стороны.

За последние десять лет исследования проблем, связанных с созданием и комплексным использованием водохранилищ, активно развиваются и за рубежом. Значительную роль в подведении итогов исследований и их дальнейшем развитии сыграли международные симпозиумы в Лондоне (1965 г.), Аккре (Гана, 1968 г.) и в Шарлевилле (США, 1971 г.), а также выход в свет в 1972 г. книги «Man-Made Lakes as Modified Ecosystems». Несомненна положительная роль в этом отношении и Конференции ООН по водным ресурсам, состоявшейся в марте 1977 г. в г. Мар-дель-Плата (Аргентина).

Литературы по частным вопросам создания и использования водохранилищ издается все больше. Поэтому настоятельно требуются широкие обобщения как по отдельным аспектам проблемы, так и по крупнейшим водохранилищам и их каскадам.

Задача настоящей книги — синтез знаний, полученных представителями разных наук в разных странах за последние десятилетия, о различных аспектах проблемы создания и комплексного использования водохранилищ.

Естественно, что, сделав предметом рассмотрения столь сложную и многогранную проблему, в которой тесно переплетаются технические, социальные, экономические, географические и биологические аспекты, авторы не могли в рамках одной работы равномерно и детально осветить все стороны проблемы. Это объясняется, помимо ограниченного размера монографии, рядом других объективных и субъективных причин, важнейшие из которых следующие.

1. Различная степень исследования и освещения в литературе рассматриваемых вопросов в разных странах.

2. Различная детальность исследования и освещения в литературе отдельных аспектов рассматриваемой проблемы.

3. Отсутствие обобщений в глобальном, региональном и национальном планах.

4. Различная степень знания мировой литературы в своей области участниками авторского коллектива.

Однако мы надеемся, что нам удалось показать масштаб и значение рассматриваемой проблемы, а также основные направления ее дальнейшего исследования. Представляется также, что основные выводы, сделанные на основании обобщения и анализа имеющихся материалов, дают правильную ориентацию в вопросах создания и комплексного использования водохранилищ и могут представить определенный практический и научный интерес.

К числу таких выводов следует отнести:

1. Огромное экономическое и социальное значение водохранилищ в решении проблемы надежного водообеспечения многих отраслей хозяйства, в первую очередь отраслей, решающих продовольственную проблему (орошение земель, рыбоводство и др., а также защита от наводнений плодородных долин), обеспечение хозяйства и населения электроэнергией (гидравлические, тепловые и атомные электростанции), удовлетворение коммунальных и рекреационных потребностей населения (хозяйственно-питьевое водоснабжение, водное благоустройство, обеспечение условий полноценного отдыха и др.); в связи с обострением проблемы водообеспечения создание водохранилищ безусловно будет продолжаться значительными темпами как в ближайшей, так и в отдаленной перспективе.

2. Большое позитивное преобразующее влияние водохранилищ на социально-экономические условия как в районе создания самого водохранилища (повышение уровня благоустройства и транспортного обеспечения населенных пунктов, ликвидация очагов некоторых болезней и др.) и в зоне влияния регулирования стока (предотвращение наводнений), так и в районах использо-

вания стока (улучшение природных и экономических условий в зонах орошения и обводнения и др.).

3. Большое в основном негативное воздействие водохранилищ и регулирования ими речного стока на природные процессы как в самой реке выше и ниже плотины, так и в прилегающей береговой зоне, указывающее на необходимость уделять все большее внимание исследованию и надежному прогнозированию изменений физико-географических и экологических условий и разработке и своевременному осуществлению комплекса мероприятий, предотвращающих или ослабляющих негативные последствия и усиливающих положительные изменения в природной среде.

Книга подготовлена авторским коллективом под руководством доктора географических наук А. Б. Авакяна. Основные авторы монографии — д. г. н. А. Б. Авакян, к. г. н. В. А. Шарапов, В. П. Салтанкин, д. б. н. М. А. Фортунатов.

В написании отдельных глав участвовали к. г. н. Б. А. Корнилов, к. б. н. А. П. Мусатов, С. П. Овчинникова, к. б. н. Л. О. Эйнор, д. м. н. Л. И. Эльпинер, В. Б. Яковлева и отдельных параграфов — д. б. н. Д. З. Гак, д. б. н. О. М. Кожова, к. б. н. И. Л. Корелякова, Е. С. Кудрина, к. б. н. И. К. Ривьер, д. г. н. В. М. Широков. Картосхемы и графики составлены при участии и под руководством к. г. н. Л. П. Новоселовой. В подготовке рукописи и иллюстративных материалов участвовали В. К. Лебедева, Л. П. Лебедева, Н. В. Морозова, Л. А. Пескалина.

Авторы надеются, что настоящая книга будет полезна всем лицам, занимающимся исследованием, планированием, подготовкой и эксплуатацией водохранилищ, а также тем, кто интересуется преобразованиями в природе и хозяйстве, которые происходят при создании водохранилищ.

Глава I

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОХРАНИЛИЩ МИРА

ИЗ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

Создание водохранилищ началось не менее 4 тыс. лет тому назад в основном для орошения земель в Египте, Месопотамии, Китае. Водохранилища были жизненно необходимы для развития древних цивилизаций в этих районах, способствовали их расцвету и исчезали, как правило, с лица Земли с падением этих цивилизаций. Известны несколько десятков плотин и водохранилищ, построенных до нашей эры.

В Египте первая плотина Кхёсхайш (Khasheish) длиной 450 м и высотой 15 м была построена при фараоне Менесе около 3000 г. до н. э. в 20 км выше г. Мемфис для подвода к нему воды р. Нил. Имеются мнения, что в результате постройки этой плотины водохранилище не образовалось (Gabrecht, 1977; Schnitter, 1965; Smith, 1970). В период 2778—2563 гг. до н. э. плотиной высотой 13 м и длиной 110 м было создано водохранилище Садд эль Кафара в 30 км южнее Каира. Около 1800 г. до н. э. было создано большое водохранилище Мёрис в Файюмской депрессии для орошения десятков тысяч гектаров. Оно наполнялось нильской водой в периоды паводков и могло отдавать воду в сухие периоды как на поля Файюмского оазиса, так и обратно в Нил. В отношении его конкретного местоположения имеются разные точки зрения, но сам факт его существования подтверждается данными Геродота, Диодора, Страбона и др., (Gabrecht, 1977). В Китае сооружение плотин и оросительных систем известно с III тысячелетия до н. э.; возведение больших плотин позволило орошать земли и бороться с наводнениями. В древних индийских книгах упоминаются многие плотины, каналы и другие гидротехнические объекты. С древнейших времен используются для орошения земель в Месопотамии (Ирак) реки Тигр, Евфрат и другие; для этого строились плотины и водохранилища.

Около 2500 г. до н. э. (по Smith –1750 г. до н. э.) была построена плотина Нимруд на Тигре в районе Самарра, просуществовавшая до 7 в. до н. э.; водохранилище питало известный оросительный канал Нахраван (Schnitter, 1965). Имеются свидетельства строительства водохранилищ в Центральной Анатолии

в государстве хеттов (около 1400 г. до н. э.), в районе Хомса в Сирии (около 1300 г. до н. э.), в государстве Урарту вблизи оз. Ван (около 700 г. до н. э.) (Schnitter, 1965; Gabrecht, 1977).

Существует легенда, что разрушение Вавилона в VII в. до н. э. ассирийским царем Синахерибом было произведено с помощью специально созданного, а затем спущенного (путем разрушения плотины) водохранилища на Ефрате. В этот период в Месопотамии строились и другие плотины: у Абу-Хабба южнее Багдада (около 600 г. до н. э.), на р. Дукка северо-восточнее Багдада (около 550 г. до н. э.), в 25 км северо-восточнее Ниневии (Schnitter, 1965; Smith, 1970). По данным тех же авторов, примерно в 750 г. до н. э. в государстве Саба (на территории современного Йемена) была построена плотина высотой 4 м и длиной 600 м, образовавшая водохранилище Мариб (Королевское озеро, по Плинию) на р. Вади-Джана для орошения земель; примерно в 500 и 325 гг. до н. э. эта плотина надстраивалась (соответственно до высоты 7 и 14 м). Это водохранилище просуществовало примерно до 575 г. н. э., а развалины плотины сохранились до сих пор. Многие из построенных в те периоды плотин были разрушены в результате естественных процессов (землетрясения, паводки и т. п.) или иноземными завоевателями.

О масштабах гидротехнического строительства дают представление данные по Ирану, где в эпоху царя Дария I (VI в. до н. э.) для ирригации было создано девять плотин на р. Джарахи, плотина Камакерд на р. Кор вблизи Персеполя и др. При Сасанидах (III—VII вв. н. э.) были построены такие плотины, как Бенде-Мижан, Гертер (существует до сих пор), Дизфуль (сохранились бычки плотины) и др.

В Иране плотины строились для ирригации, выправления русел и т. д. и в более поздний период, на рубеже I и II тысячелетий н. э., в том числе Банде-Эмир (между Исфаганом и Ширазом), Савех, Караб и др. Плотина Савех на р. Фаврехан высотой 40 м и длиной по гребню 120 м просуществовала около 100 лет, как об этом можно судить по сохранившимся донным отложениям. До сих пор эксплуатируется водохранилище Банде-Эмир; оно может служить примером комплексного использования водохранилища древности, предназначавшегося для орошения, получения механической энергии (в настоящее время мельница заменена гидроэлектростанцией), судоходства и водоснабжения. Сохранилось также водохранилище Караб в Центральном Иране, хотя оно сильно заилено (Hartung, 1972).

В Европе первые водохранилища, насколько можно судить по имеющимся данным (World Register..., 1971; и др.), появились еще до нашей эры. Так, в Испании предположительно во II в. до н. э. на р. Альбаррегас была построена плотина Карнальбо с водохранилищем объемом 10 млн. м³ (существует до сих пор). Известны остатки древних гидротехнических сооружений в районе Сеговии и Таррагоны. Вероятно, в эту эпоху водохранилища создавались в Греции, Италии, Южной Франции и других средиземноморских странах, однако конкретных сведений о них мы не имеем. Косвенно об этом можно судить, например, по сохранившимся остаткам гидротехнических сооружений в районе Рима. Подпорные сооружения возводились и в I тысячелетии н. э. в связи со строительством мельниц и для ирригации. В Галлии первые мельницы появились в III—IV вв.; так, вблизи г. Арля сохранились остатки каскада из 16 мельниц. Широкий размах строительство мельничных плотин получило в VIII—IX и особенно в XII—XIII вв. Водохранилища, образованные мельничными плотинами, имели, конечно, небольшой объем и по современной классификации искусственных водоемов относятся большей частью к прудам.

Более крупные водохранилища в Европе появились позднее, при развитии добычи руды, обработки металлов, лесопиления и т. д. Так, в Гарце объем отдельных водохранилищ, созданных для промывки руд, достигал нескольких миллионов кубических метров. Создавались водохранилища и для орошения земель, как, например, водохранилище Альманаса (XIV в.) и Ральса (XV в.) в Испании (World Register..., 1971).

Значительные гидротехнические сооружения строились ацтеками, майя и инками в доколумбовой Америке. В Перу водохранилища строились еще в доинкское время. Несколько водохранилищ для сбора талых вод существовало у подножья Анд, как, например, водохранилище в долине Пеньяя длиной 1,2 км и шириной 0,8 км (Smith, 1970). Много плотин для забора воды построило народом майя; хорошо известно водохранилище у древнего города Тикаль. Для водоснабжения городов майя строили многочисленные открытые резервуары с противофильтрационным покрытием дна; некоторые из них сохранились до XIX в. Грандиозные по тем временам гидротехнические сооружения строили ацтеки, например дамбу Нецауалькойотль длиной 16 км, которая разделила оз. Тескоко и образовала водохранилище Мехико (Нелсон, 1973). Испанские конкистадоры разрушили большинство древних гидротехнических сооружений ацтеков, инков, майя. Создававшиеся испанцами подобные сооружения по сложности и размерам часто уступали прежним. Все же в этот период были построены некоторые большие водохранилища: Журурия объемом 220 млн. м³ и площадью зеркала 96 км² (используется до сих пор) и Чалвири объемом 3 млн. м³ для водоснабжения серебряных рудников в Потоси (Smith, 1970).

Создание водохранилищ достигло больших масштабов в эпоху промышленной революции и развития капитализма, т. е. в XVIII—XIX вв. Значительную роль в создании водохранилищ играла увеличивающаяся потребность в механической энергии (до периода широкого распространения паровых машин) для прядильно-ткацких, металлообрабатывающих, лесопильных, горнорудных предприятий; нередко они использовались и для

Таблица 1

Динамика количества и полного объема водохранилищ емкостью более 100 млн. м³ по материкам*

Материк	до 1900 г.	1901–1910	1911–1925	1926–1939	1940–1945	1946–1950	1951–1960	1961–1970	1971–1974	Строящиеся	Всего
Европа	9 3,2	1 0,4	7 2,0	16 26,4	4 6,0	46 77,0	34 66,0	288 163,8	24 16,5	44 26,0	432 576,3
Азия	5 1,7	4 1,3	7 1,6	10 3,6	2 0,4	13 8,7	12 3,4	131 306,7	60 265,7	113 316,5	554 1431,1
Африка	1 0,1	—	—	5 5,7	1 0,2	10 12,0	—	19 373,6	18 45,4	20 113,2	95 894,9
Северная Америка	25 8,1	18 14,5	50 34,3	77 60,5	6 11,3	83 110,3	114 165,0	166 264,5	49 118,4	82 245,7	303 1026,4
Центральная и Южная Америка	1 0,3	2 0,7	3 5,8	2 1,4	—	5 2,7	8 8,4	20 36,5	27 65,1	54 328,2	157 354,5
Австралия	—	—	—	4 3,1	—	5 4,0	1 0,5	19 17,1	14 26,1	12 13,6	70 65,7
Итого	41 13,9	25 18,4	69 43,7	114 60,5	13 18,0	162 214,8	169 173,3	805 1211,6	201 579,8	315 1079,4	2357 3131,9

Примечание. В числителе — число водохранилищ, в знаменателе — полный объем водохранилищ в куб. км³.

Таблица 2

Динамика создания водохранилищ объемом более 100 млн. м³ в некоторых странах, км³

Страна	до 1900	1900–1910	1911–1920	1921–1930	1931–1940	1941–1950	1951–1960	1961–1970	1971–1974	Строящиеся	Итого
Испания	—	—	0,4	0,2	2,3	1,6	10,7	20,3	1,8	1,7	39,0
СССР	3,0	—	—	11,1	59,8	3,2	320,5	415,3	174,2	141,4	1137,0
Индия	1,7	1,1	1,0	2,0	4,7	0,2	28,7	43,3	10,1	68,7	160,6
Китай	—	—	—	—	—	0,2	100,1	52,2	30,0	2,3	184,4
Япония	—	—	—	—	—	0,2	2,7	2,9	0,7	0,8	7,3
ЮАР	0,1	—	—	0,6	3,1	—	0,6	1,7	9,6	7,1	22,8
Канада	—	7,8	12,0	18,0	2,7	46,2	88,5	301,2	90,0	200,4	765,3
США	8,4	7,0	18,4	23,6	103,3	88,9	130,2	297,3	28,7	36,1	747,8
Мексика	—	—	4,6	—	2,4	8,0	19,7	35,2	13,8	9,2	92,2
Аргентина	—	—	—	—	0,5	1,0	0,4	3,3	24,8	58,9	88,9
Бразилия	—	0,3	0,4	1,4	0,5	0,8	30,8	62,9	36,3	134,2	268,3

промышленного водоснабжения. Такие водохранилища (заводские пруды) в большом числе появились в Великобритании, Германии, Франции, Чехословакии, Польше (Мартонн, 1938), дореволюционной России (особенно в Карелии, Центре и на Урале).

Другой причиной создания водохранилищ в этот период было развитие водного транспорта, которое требовало регулирования стока в целях увеличения меженных расходов и питания водой многочисленных каналов. Например, для питания Южного канала, соединяющего Средиземное море с Бискайским заливом (Франция), было построено водохранилище Сен-Перроль на р. Лодо объемом 7 млн. м³ (Витвер, 1963; World Register..., 1971); для развития водного транспорта водохранилища создавались в Англии, Германии, России (например, Выпеволоцкое, Шлинское, Кубенское, Уверское).

В период развития капитализма водохранилища создавались также для промышленного и коммунального водоснабжения (в первую очередь в таких промышленных районах, как Рурская область, Силезия, Средняя Англия в Западной Европе, Урал в России, Пенсильвания и Новая Англия в США и др.). Некоторые водохранилища были созданы в этот период в целях борьбы с наводнениями. Все больше водохранилищ предназначалось для одновременного удовлетворения интересов нескольких отраслей хозяйства.

Следующий этап создания водохранилищ начался на рубеже XIX и XX вв. в связи с широким использованием электроэнер-

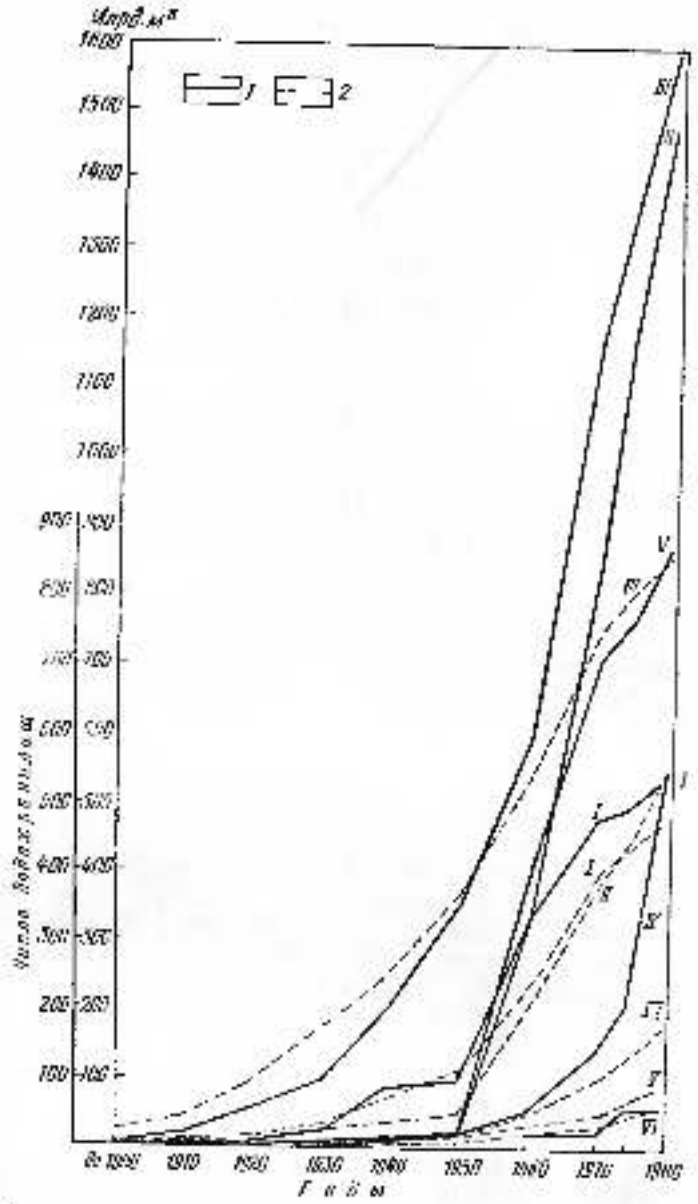


Рис. 1. Динамика роста количества и полного объема водохранилищ емкостью более 100 млн. м³ по материкам

I — количество водохранилищ; *2* — суммарный полный объем водохранилищ, км³; *I* — Европа; *II* — Азия; *III* — Северная Америка; *IV* — Южная Америка; *V* — Африка; *VI* — Австралия

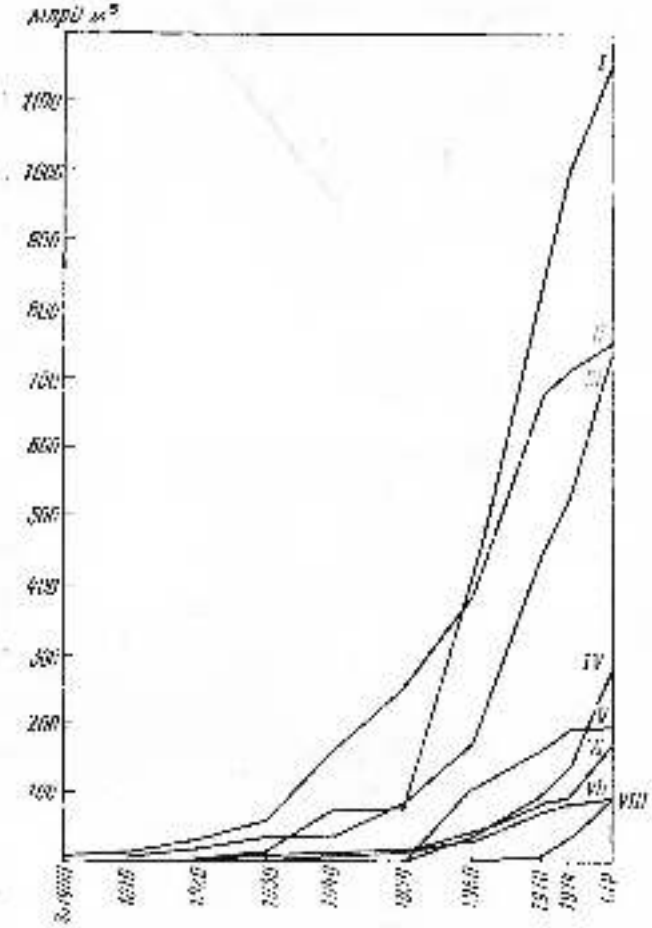


Рис. 2. Динамика полного объема водохранилищ емкостью более 100 млн. м³ по отдельным странам

I — СССР; *II* — США; *III* — Канада; *IV* — Бразилия; *V* — Китай; *VI* — Индия; *VII* — Африканские; *VIII* — Мексика

ния; вначале гидроэлектростанции строили преимущественно в расчете на использование незарегулированного стока, затем стали создавать водохранилища для повышения надежности электроснабжения и увеличения выработки электроэнергии. Наибольшего размаха строительство водохранилищ ГЭС вначале достигало в таких странах, как Швейцария, Австрия, Франция, Германия, Италия, Швеция, Норвегия, США, Япония.

Наряду с созданием водохранилищ при гидроэлектростанциях в первой половине XX в. все больше водохранилищ создава-

лось для ирригации, промышленного и коммунального водоснабжения, борьбы с наводнениями (особенно в США, Индии, некоторых европейских странах).

Современный этап создания водохранилищ начался после второй мировой войны. Регулирование стока стало проводиться в основном для решения комплексных задач: развития гидроэнергетики, водообеспечения городских агломераций, промышленных районов, крупных ирригационных систем, а также в целях создания условий для отдыха и улучшения экологического состояния крупных природных объектов и районов.

В этот период водохранилища создавались и создаются практически во всех странах мира.

Темпы создания водохранилищ в течение последних 75 лет показаны в табл. 1 и 2 и на рис. 1 и 2.

УЧЕТ ВОДОХРАНИЛИЩ И ИХ ИЗУЧЕННОСТЬ

За последние десятилетия вопросы создания и комплексного использования водохранилищ и их воздействия на природу привлекают все большее внимание ученых во многих странах мира. Это объясняется как все возрастающим значением водохранилищ в решении водохозяйственных проблем, так и все увеличивающимися масштабами их влияния на окружающую среду (в первую очередь на земельные угодья, качество воды и природные условия прилегающих районов) в связи с увеличением размеров водохранилищ. Многие аспекты проблемы создания и комплексного использования водохранилищ рассматривались на совещаниях и конференциях, созывавшихся в СССР за последние 30 лет.

Первыми крупными международными совещаниями, посвященными водохранилищам, были международный симпозиум в Лондоне в 1965 г. (Man-Made Lakes, 1966) и в Аккре (Гана) (Man-Made Lakes, 1969). В мае 1971 г. состоялся международный симпозиум по водохранилищам в США (г. Нокевилл), на котором было представлено около 150 докладов представителей многих наук из разных стран мира. Доклады симпозиума опубликованы в книге Man-Made Lakes (1973).

Весьма важную роль в изучении проблем создания, использования и воздействия водохранилищ на окружающую среду сыграли международные конгрессы по большим плотинам, проведенные в последнее десятилетие (ICOLD, XI, 1973; ICOLD, XII, 1976).

Проектирование, подготовка к заполнению водохранилищ шло столь быстрыми темпами, что не только исследования, но даже простой учет в большинстве стран мира не успевал за их созданием. Во многих странах земного шара до настоящего времени нет официального учета водохранилищ.

Первой страной, опубликовавшей относительно подробные данные о водохранилищах, были США; первый регистр появился здесь в 1918 г. (Harbeck, 1948), затем вышло его второе издание (Thomas, Harbeck, 1956) и третье (Martin, Harson, 1966). В них учтены водохранилища полезным объемом более 6,2 млн. м³. В этих регистрах приводятся следующие данные: название, река, речной бассейн, географические координаты, водосборная площадь, площадь водного зеркала, полный, полезный и мертвый объемы водохранилища, коэффициент регулирования стока, типы использования, год заполнения, организация (фирма), владеющая водохранилищем или эксплуатирующая его; приводятся также итоговые данные по штатам и в целом по стране.

Значительно большее число показателей дошло в Кадастре водохранилищ СССР (составленный ВНИИГом в нескольких выпусках), где приводятся данные более чем по 1000 водохранилищам объемом свыше 1 млн. м³ (Ли-ун, 1969). До выпуска этого кадастра в СССР публиковались лишь данные о водохранилищах, как правило, отраслевого назначения (по водохранилищам рыбохозяйственного назначения — Луганская, Сапина, 1956; Антипова, 1961; по водохранилищам гидроэлектростанций Авакян, Шаратов, 1962, 1970, 1977). По другим странам сколько-нибудь подробных сводных данных о водохранилищах в печати почти не появлялось. Исключением из этого правила можно считать лишь некоторые работы, как, например, книгу «Data of High Dams in India», в которой для некоторых водохранилищ приведены данные об их объемах, площади, глубине, физических и химических свойствах воды, наносах, испарении; для 20 водохранилищ приводятся также данные о затопляемых землях, объеме и стоимости мероприятий по переселению населения, переустройству дорог, мостов, храмов и т. п. (Gulhati, 1950). Данные о водохранилищах с небольшим числом показателей опубликованы в последние годы также по некоторым другим странам: Мексике, Испании, Турции, Чехословакии, Болгарии, ФРГ и др. (Hernandez-teran, 1969; Töndery, 1968; Link, 1970; Узунов и др., 1966; Liebscher, 1969; Obras realizadas, 1969; Fels, 1964 и др.).

Первые попытки обобщить материалы о водохранилищах мира были сделаны Ф. Я. Нестеруком (1946). Первая более или менее полная сводка о водохранилищах земного шара была опубликована М. А. Фортунатовым (1963). В ней были приведены данные о количестве и полезном объеме эксплуатируемых и строящихся водохранилищ на начало 60-х годов. Все последующие сводки данных о водохранилищах земного шара базируются на материалах Мирового регистра плотин (World Register of Dams), который был в 1964 г. опубликован Международной комиссией по большим плотинам (ICOLD), создавшей специальный Комитет Мирового регистра плотин. В 1964 г. вышло четыре тома, в которых по состоянию на 31 декабря 1962 г. приведены данные более чем о 9000 существующих, строящихся и проектируемых подпорных сооружений, расположенных в 41 государстве мира.

В последующие годы вышли дополненные и исправленные издания Мирового регистра плотин с данными на 31 декабря 1968 г., охватывающими плотины 63 стран (World Register..., 1971), с данными на 31 декабря 1971 г. (World Register, 1973) и с данными на 31 декабря 1974 г. (World Register, 1976).

Всего в указанных изданиях Мирового регистра плотин приводятся сведения более чем о 12 000 плотин 74 стран — членов Комиссии по большим плотинам (ICOLD). Хотя регистр не может считаться исчерпывающим изданием (не все страны мира входят в ICOLD и не все члены ICOLD представляют полные данные о своих плотинах), но даже и из этих сведений следует, что по меньшей мере две новые плотины ежедневно появляются на нашей планете. Самое большое количество плотин имеют США (5000), Япония (1900), Индия (1000), Испания (более 800), Канада, Великобритания и Китай (в каждой около 500). Китай, член ICOLD с 1974 г., представил сведения о 12 500 плотинах, т. е. больше, чем дано в регистре по всем остальным странам мира, но опубликованы данные только по 500 (World Dams..., 1970; Mermel, 1973, 1976; Man-Made Lakes..., 1973). Имеются также специальные национальные издания материалов, подготовленных для Мирового регистра плотин (Канада, Италия, Австрия, Швейцария и др.).

Мировой регистр плотин, позволяя полнее учесть водохранилища земного шара, вместе с тем почти не содержит данных о самих водохранилищах. Из 24 показателей только два (полный объем и назначение) относятся непосредственно к водохранилищу; большинство же показателей характеризуют плотины и лишь косвенно дают возможность судить о некоторых параметрах водохранилищ (например, высота и длина плотины). Данные о таких важных показателях водохранилищ, как полезный объем, площадь водного зеркала и затопления земель, длина, глубина и ширина водохранилища, количество переселяемого населения, затраты на создание водохранилища и другие, в Мировом и национальных регистрах плотин отсутствуют и могут быть найдены (за исключением США, СССР) по ограниченному числу водохранилищ лишь в литературных источниках (Волжский каскад, 1969; World Dams..., 1970, 1974, 1978 и др.).

На основе первого издания Мирового регистра плотин Э. Фелс составил более полные, чем у М. А. Фортунатова, сводные данные о водохранилищах земного шара (Fels, 1965, 1967, 1969) и предложил создать Мировой регистр водохранилищ, указав желательный состав показателей этого регистра[1]. С учетом соб

[1] Предлагаемые Э. Фелсом показатели водохранилищ характеризуют лишь их параметры и морфометрию; по нашему мнению, наряду с такими показателями в Мировом кадастре водохранилищ должны быть приведены и показатели, характеризующие их влияние на окружающую среду: изменение режима стока, площади затопления земель по основным угодьям, размеры переноса строений и сооружений, переселения населения, стоимость мероприятий

ранных дополнительных разрозненных данных о странах, не представленных в Мировом регистре плотин, автор оценил полный объем водохранилищ мира в 4000 км³.

Сектором водохранилищ Института водных проблем АН СССР на основе изучения обширной литературы о водохранилищах мира и тщательного анализа данных Мирового регистра плотин издания 1971 г. и частично 1973 г. была составлена более полная сводка данных по отдельным материкам и регионам (Авакян, Овчинникова, 1971; Avakian, Fortunatov, 1972; Авакян, Яковлева, 1973; Авакян и др., 1973, 1974; Шарапов, 1973; Авакян, Шарапов, 1977).

В настоящем издании публикуются результаты подсчетов, произведенных нами с учетом последних изданий Мирового регистра плотин (1973 и 1976 гг.), указанных национальных изданий регистра и различных литературных источников.

При оценке Мирового регистра плотин, как источника данных о водохранилищах, необходимо учитывать следующие обстоятельства:

а) основной критерий отбора объектов — высота плотины более 15 м; учитываются также плотины высотой от 10 до 15 м, которые либо образуют водоемы объемом не менее 100 тыс. м³, либо представляет интерес их большая пропускная способность, длина и др. Поэтому в регистре не учитываются некоторые сравнительно крупные водохранилища, образованные плотинами высотой менее 10 м (например, при подпоре озер);

б) полнота данных по разным странам не одинакова: в одних учитываются все водохранилища, образованные плотинами, в том числе иногда и водоемы емкостью в десятки тысяч кубических метров, в других — только более крупные (например, в СССР);

в) по некоторым странам в Мировом регистре не приводятся данные об объеме водохранилищ (например, по Норвегии, отчасти по Швеции); по некоторых странам вместо полного объема водохранилищ указывается полезный объем (иногда без указания на это);

г) определение числа водохранилищ по числу плотин приводит к ошибкам, так как нередко водохранилища образуются в результате строительства двух, трех и более плотин, а для создания водохранилища Черчилл сооружено 32 плотины и дамбы; кроме того, в Мировом регистре учтены крупные защитные дамбы;

д) приводимые в Мировом регистре данные об объеме водохранилищ нередко не совпадают с данными национальных изданий регистра и литературных источников соответствующих стран.

при создании водохранилища, а также показатели экономического значения водохранилищ (площадь орошаемых земель, выработка электроэнергии, забор воды для водоснабжения, уловы рыбы и др.). Все эти показатели учтены в Кадастре водохранилищ СССР.

При определении суммарных данных по водохранилищам мира за основу были взяты водохранилища с полным объемом 100 млн. м³ и более, поскольку данные о меньших водохранилищах не по всем странам достаточно полны и надежны; водохранилища объемом более 100 млн. м³ лучше освещены в литературе.

По всему фонду водохранилищ полным объемом 1 млн. м³ и более были сделаны лишь ориентировочные подсчеты, которые показывают, что в настоящее время на земном шаре существует и подготавливается более 13 тысяч водохранилищ емкостью более 1 млн. м³.

Для определения удельного веса указанных двух категорий водохранилищ по полному объему (1—100 и более 100 млн. м³) были сделаны подсчеты для некоторых стран по данным из разных источников (табл. 3). По данным табл. 3 видно, что в среднем по рассмотренным странам на водохранилища объемом более 100 млн. м³ приходится около 95% суммарного объема всех водохранилищ, хотя число таких водохранилищ составляет лишь 16% общего их числа. Лишь в некоторых плотно заселенных странах с ограниченными земельными ресурсами, а также в странах с относительно небольшими реками (на которых не-

Таблица 3

Удельный вес водохранилищ полным объемом 100 млн. м³ и более в общем фонде водохранилищ емкостью 1 млн. м³ и более в отдельных странах

(расчеты авторов по World Register., 1976)

Страна	Водохранилища полным объемом 100 млн. м³ и более, % к общему фонду	
	число	полный объем
СССР	16	89
Зарубежная Европа	19	86
В том числе		
Альпийский регион	9	49
Испания	16	86
Индия	14	93
Мексика	2	47
Китай	26	96
ЮАР	10	93
США	17	84
Канада	28	98
Бразилия	22	94
В среднем по указанным странам	15	95

Таблица 4

Количество и объем водохранилищ мира

(объемом каждое 100 млн. м³ и более)

Континент	Количество	Объем, млн. м³
Европа	462	570,3
В том числе СССР	99	377,5
Азия	554	1493,1
В том числе СССР	103	720,8
Африка	96	864,8
Северная Америка	868	1606,1
Центральная и Южная Америка	167	551,5
Австралия и Океания	70	75,7
Итого	2257	5161,9
В том числе СССР	302	1187,3

возможно создать сколько-нибудь крупные водохранилища) удельный вес малых водохранилищ выше средних величин; к таким странам относятся Япония, Италия, Великобритания и некоторые другие.

При обработке данных по водохранилищам полным объемом 100 млн. м³ и более по большинству стран — членов Комиссии по большим плотинам (ICOLD) за основу принимались данные, опубликованные в Мировом регистре плотин с внесением в отдельных случаях необходимых дополнений, уточнений и исправлений на основе литературных источников. По остальным странам собраны, обобщены и проанализированы сведения, опубликованные в технических, географических, биологических и других журналах, книгах, справочниках и атласах. При наличии разных показателей по одному и тому же водохранилищу предпочтение отдавалось источникам страны, где находится водохранилище. При отсутствии таких данных принимались показатели, совпадающие в нескольких источниках, или более поздние по времени публикации.

Итоговые данные указанных расчетов, приведенные в табл. 4 и 5, свидетельствуют о том, что водохранилища созданы и создаются практически во всех странах мира: социалистических, капиталистических и развивающихся, промышленных и аграрных, горных и равнинных, расположенных в областях с влажным и сухим климатом. Созданные водохранилища характеризуются большим диапазоном полного объема и, как будет показано далее, других параметров (полезного объема, площади, длины, ширины и т. д.). Схема размещения водохранилищ мира полным объемом 1 км³ и более показана на рис. 3.

Таблица 5

Количество и объем существующих и строящихся водохранилищ объемом 100 млн. м³ и более

Страна	Количество	Полный объем, млн. м³	В том числе водохранилищ объемом 1 млрд. м³ и более: количество	объем, млн. м³
Европа				
Австрия	16	1363	—	—
Албания	2	830	-	-
Болгария	21	5012	—	—
Великобритания	13	2518	—	—
Венгрия	3	760	—	—
ГДР	4	636	-	-
Греция	7	10333	3	7990
Иракодия	3	803	—	—
Испания	69	28015	6	14218
Италия	29	4820	—	—
Нидерланды	1	6000	1	6000
Норвегия	36	23270	7	11992
Польша	12	2556	-	—
Португалия	10	4942	1	1100
Румыния	7	5006	2	2505
СССР	99	377510	35	326790
ФРГ	6	1150	-	—
Финляндия	15	22944	7	21223
Франция	27	7973	1	1270
Чехословакия	13	3630	—	
Швейцария	22	3306		—
Швеция	20	35050	8	27580
Югославия	22	5886	2	2780
Азия				
Афганистан	4	3852	1	2690
Бангладеш	1	5965	1	5965
Вьетнам	3	4715	2	4550
Индия	150	166646	31	128182
Индонезия	2	4560	2	4000
Иордания	1	200	—	—
Ирак	6	114160	6	114160
Иран	17	16510	5	11180
Камбоджа	1	8120	1	8120
Китай	442	184389	31	155216
Южная Корея	10	20364	5	18320
Лаос	1	7000	1	7000

Таблица 5 (продолжение)

Страна	Количество	Полный объем, млн. м³	В том числе водохранилищ объемом 1 млрд. м³ и более: количество	объем, млн. м³
Ливан	1	220	—	—
Малайзия	4	7326	2	6917
Пакистан	10	23855	3	23019
Сирия	2	12150	1	11900
СССР	103	750810	29	737230
Таиланд	16	50011	6	47046
Турция	21	56414	8	53968
Филиппины	5	4533	1	2300
Шри Ланка	5	1853	-	—
Япония	33	7264	-	—
Африка				
Алжир	7	1673	-	—
Ангола	3	4254	2	4134
Берег Слоновой Кости	2	28350	2	28350
Гана	1	148000	1	148000
Гвинея	2	17423	1	17200
Замбия	3	101317	1	100085
Камерун	4	5850	3	5800
Кения	2	335	—	—
Заир	1	1739	1	1733
Конго	1	1250	1	1250
Мадагаскар	2	385	—	—
Мали	1	2000	1	2000
Марокко	12	9807	4	6500
Мозамбик	3	67884	3	67884
Нигерия	1	15000	1	15000
АРЕ	1	148700	1	148700
Сенегал	1	10000	1	10000
Судан	4	8450	3	7550
Танзания	2	4280	1	1135
Тунис	4	577	—	—
Уганда	1	204800	1	204800
Эфиопия	2	2550	1	1900
Южная Родезия	7	2340	1	1330
ЮАР	28	22840	6	17956
Австралия и Океания				
Австралия	58	61192	16	49809
Новая Зеландия	12	16598	4	11295

Таблица 5 (окончание)

Страна	Количество	Полный объем, млн. м³	В том числе водохранилищ объемом 1 млрд. м³ и более	
			количество	объем, млн. м³
Северная Америка				
Канада	130	765504	54	700485
Мексика	50	93203	18	79903
США	679	747681	160	690360
Южная и Центральная Америка				
Аргентина	31	89913	8	82235
Бразилия	90	266268	33	247843
Венесуэла	15	142080	4	139788
Доминиканская республика	1	170	—	—
Колумбия	9	5160	2	2600
Куба	12	2882	1	1630
Никарагуа	2	1225	—	—
Панама	3	10054	2	9130
Парагвай	2	1650	1	1400
Перу	8	2448	1	1200
Сальвадор	3	2050	1	1430
Суринам	1	12400	1	12400
Уругвай	2	7220	1	6850
Чили	13	8838	2	5420
Эквадор	1	160	—	—

С учетом суммарных данных о среднего удельного веса водохранилищ объемом более 100 млн. м³ в суммарных показателях по всем водохранилищам емкостью более 1 млн. м³ (табл. 3) можно полагать, что при общем числе водохранилищ более 13 000 их суммарный полный объем в целом по земному шару составляет примерно 5,5 тыс. км³ (12 000 водохранилищ КНР ввиду отсутствия по ним данных об объеме не учитываются).

Этот показатель существенно превышает соответствующие оценки Фелса (Fels, 1967) и несколько превышает наши оценки (Авакян и др., 1973; Авакян, Шарапов, 1977).

Полезный объем водохранилищ — это важный показатель, характеризующий степень использования чаши водохранилища и возможность регулирования стока. Как уже указывалось, такого показателя в Мировом регистре плотин и в большинстве национальных регистров и справочников нет; такие данные имеются

Рис. 3. Схема размещения водохранилищ мира с полным объемом более 1 км³

по водохранилищам СССР, США (до 1963 г.), большинству водохранилищ Испании, ГДР, ФРГ, Чехословакии и некоторых других стран, а также по более крупным водохранилищам остальных стран. Методами аналогии и экстраполяции суммарный полезный объем водохранилищ мира нами оценивается примерно в 3000 км³.

Другой важный показатель водохранилища — площадь его водного зеркала. Данные о суммарной площади водного зеркала имеются для водохранилищ СССР (Авакян, Шарапов, 1977), США до 1963 г. (Martin, Hanson, 1966), Испании (Obras realizadas..., 1969; Grengg, 1974), Чехословакии (Chmelíček, 1966), Польши (Babinski, 1974), Румынии (Gastescu, Breyer, 1973; Man-Made Lakes, 1973), ГДР (Sch. Talsperren, 1972), Индии (Gulhati, 1950), всех альпийских водохранилищ (Link, 1970), Японии, ФРГ и Тасмании (Fels, Keller, 1973). Имеются в литературе также данные о площади отдельных крупных водохранилищ или их каскадов (Fels, 1970; Grengg, 1975).

Следовательно, можно сделать вывод о том, что для получения сводки по земному шару объединить данные о площади водного зеркала водохранилищ весьма затруднительно ввиду неполноты этих данных, разновременности их получения, разных критериев отбора водохранилищ и других причин. Поэтому имеющиеся оценки суммарной площади водного зеркала водохранилищ мира — сугубо ориентировочные (Авакян, 1973; Авакян, Шарапов, 1977; Fels, 1970; и др.). Для примера можно привести (табл. 6) сводные данные о водохранилищах площадью 100 км² (Man-Made Lakes, 1973).

Нами сделана попытка получить недостающие данные о площади зеркала по двум показателям, которые имеются для абсолютного числа водохранилищ: полному объему и высоте плотины. Анализ имеющихся данных по нескольким сотням водохранилищ СССР, зарубежной Европы, США и некоторых других стран показал, что средняя глубина водохранилища имеет известную корреляцию с высотой плотины над руслом реки; это соотношение в среднем по ряду стран равно 0,30—0,42 в зависимости от морфологии чаши водохранилища. Отклонения от этих коэффициентов характерны для водохранилищ, включающих подпертые озера и образованных плотинами, предусматривающими большей чаше по высоте для создания резервной противопаводковой емкости, и для некоторых других водохранилищ. По отдельным регионам площадь установлена экстраполяцией имеющихся данных пропорционально полному объему. Итоги определения площадей зеркал водохранилищ по отдельным странам и частям света приведены в табл. 7. Данные таблицы показывают, что суммарная площадь зеркала водохранилищ (с учетом озер в подпоре) близка к 600 тыс. км².

Географическое распределение водохранилищ, как об этом говорят данные, приведенные ранее, в табл. 8 и 9, весьма не-

Таблица 6

Данные о водохранилищах мира с площадью зеркала 100 км² и более (Man-Made Lakes, 1973)*

Материк и страна	Общее количество	Водохранилища с известной площадью зеркала			Водохранилища с неизвестной площадью зеркала	
		количество	общее по стране, км²	полный объем, км³	количество	объем, км³
Европа	9	5	1 954	45	4	8,7
СССР	40	30	64 408	730,3	10	365,0
Индия	25	15	5 507	78,9	10	23,7
Остальная Азия	18	11	6 306	151,4	7	96,2
Австралия	12	5	967	29,4	7	33,7
Африка	17	14	27 466	618,2	3	6,6
Канада	51	27	75 727	497,2	24	128,9
США	112	95	28 507	360,6	17	41,4
Латинская Америка	31	14	11 943	181,1	17	120,5
Итого	315	216	186 982	2704,0	99	815,9

* Сведения приведены по странам (не территориям). Для СССР имеются данные о площади всех водохранилищ.

равномерно и характеризуется следующими данными. Различия обусловлены в первую очередь уровнем развития энергетики, орошения, промышленного и коммунального водообеспечения, необходимостью борьбы с наводнениями и т. п. На размещение водохранилищ в отдельных речных бассейнах, экономических районах и т. д. большое влияние оказывают географические условия (рельеф, геологическое строение, гидрологический режим и др.).

Среди материков по общему количеству, как и по числу водохранилищ объемом более 100 млн. м³, выделяются Северная Америка, Азия и Европа (рис. 4, 5, 6). Важное место Северной Америки в мировом фонде водохранилищ определяется созданием огромного числа водохранилищ в США. Распределение водохранилищ по территории США показано на рис. 7. Быстрыми темпами растет количество, объем и площадь водохранилищ в Канаде (преимущественно благодаря развитию гидроэнергетики) и в Мексике (в основном для ирригации).

В Азии число водохранилищ очень велико главным образом за счет небольших водохранилищ Японии, Китая и Индии. По Китаю в Мировом регистре плотин учтено 500 водохранилищ суммарным объемом 203 км³, хотя, как уже указывалось, имеется значительно большее число водохранилищ (ICOLD, 1973; Mermel, 1976). В связи с этим представляется, что показатели по водохранилищам Китая в наших таблицах следует считать занижены-

Таблица 7

Площадь зеркала водохранилищ мира (данные приближенные)

Континент	Площадь зеркала, тыс. км²	
	всего	в том числе сезонных в сферах
Европа	80	45
Азия	120	85
Африка	150	35
Северная Америка	220	170
Центральная и Южная Америки	55	55
Австралия и Океания	4	3
Итого по всем морям	560	353

Таблица 8

Распределение водохранилищ (объемом более 100 млн. м³) по географическим поясам, %

Материки	Географические пояса						
	Субарктический	Умеренный	Субтропический	Тропический	Субэкваториальный	Экваториальный	Итого
Количество водохранилищ							
Европа	1	75	24	—	—	—	100
Азия	1	24	34	9	30	2	100
Африка	—	—	43	24	33	—	100
Северная Америка	2	50	44	4	—	—	100
Центральная и Южная Америки	—	3	21	39	32	5	100
Австралия и Океания	—	49	64	11	6	—	100
Итого	1,5	42	36	8	11	1,5	100
Полный объем							
Европа	5	55	10	—	—	—	100
Азия	4	47	28	7	13	1	100
Африка	—		3	10	78	—	100
Северная Америка	14	55	27	1	—	—	100
Центральная и Южная Америки	—	13	6	28	52	1	100
Австралия и Океания	—	38,8	49,0	4,3	7,9	—	100
Итого	2	44	20	10	24	0	100

Примечание. Географические пояса и их границы взяты по «Физико-географическому атласу мира» (с. 75).

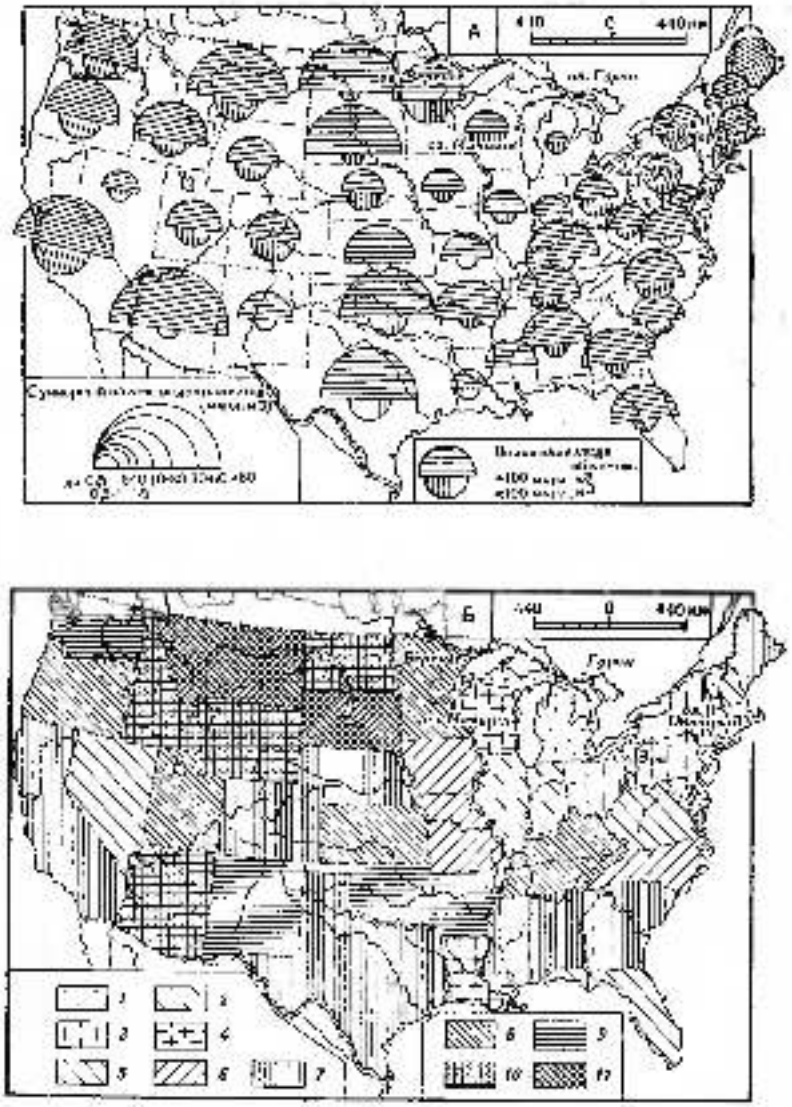


Рис. 7. Водохранилища США: *А* — распределение количества и полного объема; *Б* — полный объем (м³) в расчете на 1 человека

1 — до 100; *2* — 100—200; *3* — 200—500; *4* — 500—1000; *5* — 1000—1500; *6* — 1500—2000; *7* — 2000—3000; *8* — 3000—4000; *9* — 4000—15 000; *10* — 15 000—60 000; *11* — более 60 000

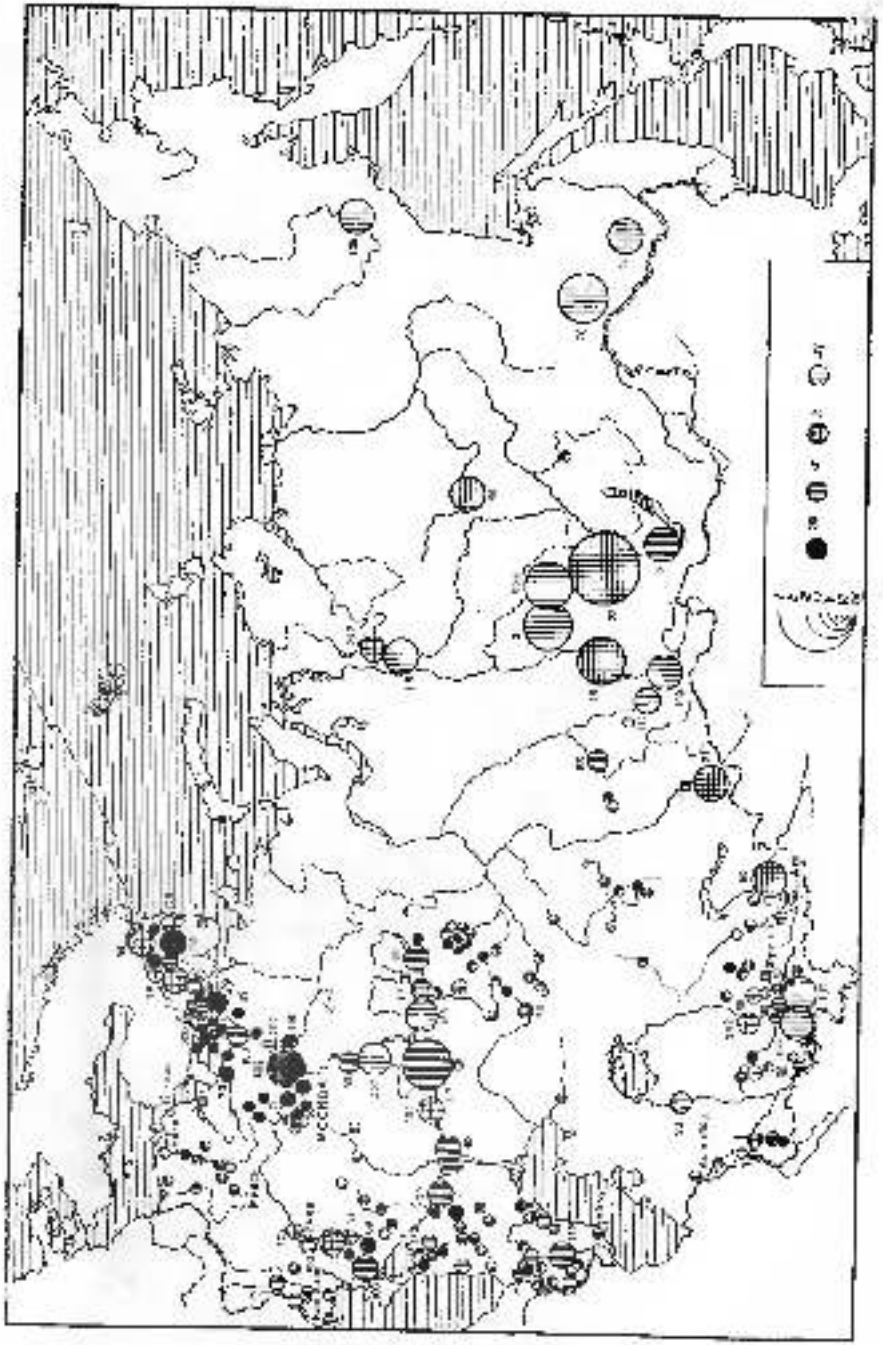


Таблица 9

Количество и объем водохранилищ (емкостью 100 млн. м³ и более каждое) по бассейнам некоторых рек мира

Река	Площадь бассейна, тыс. км²	Объем годового стока в устье реки, км³	Водохранилища с объемом более 100 млн. м³		
			число водохранилищ в бассейне	суммарный объем водохранилищ, км³	отношение полного объема водохранилищ к годовому стоку
Дунай	817	203	38	13,3	0,06
Рейн	224	70	20	2,7	0,03
Дуэро	95	22	14	8,8	0,30
Тахо	84	15	18	11,5	0,70
Волга	1360	246	37	260,3	0,81
Днепр	504	52	9	44,3	0,75
Обь	2990	401	13	75,2	0,18
Енисей	2580	585	5	473,0	0,81
Тигр	375	39*	11	106,9	2,50***
Евфрат	673	28**)			
Миссисипи с Миссури	3320	580	259	412,7	0,71
Колумбия	660	251	77	103,3	0,41
Парана (с Парагваем и Уругваем)	4250	650	33	195,3	0,30

* У г. Багдад; ** у г. Хит.

*** высокая степень регулирования стока рек Тигр и Евфрат объясняется созданием крупных ирригационных водохранилищ.

ми; судить о степени этого занижения трудно из-за отсутствия надлежащей информации.

В Европе также имеется весьма большое число водохранилищ. В зарубежной Европе преобладают водохранилища объемом в сотни и десятки миллионов кубических метров, особенно в таких промышленно развитых и плотно заселенных странах, как Великобритания, ФРГ, Франция, Италия, Чехословакия, ГДР, Швейцария и др. Водохранилища объемом более 1 км³ расположены в основном в СССР (рис. 8, 9), но имеются также и в Швеции, Норвегии, Финляндии, Испании, Португалии, Греции, Югославии, Румынии и Франции.

Рис. 8. Схема размещения водохранилищ с полным объемом более 100 млн. м³ по экономическим районам СССР

Объем водохранилищ, км³: *I* — более 100; *II* — 50—100, *III* — 25—50; *IV* — 10—25; *V* — 5—10; *VI* — 1—5; *VII* — 0,1—1. Периоды создания водохранилищ: *VIII* — до 1951, *IX* — 1951—1960, *X* — 1961—1970, *XI* — после 1970 г.

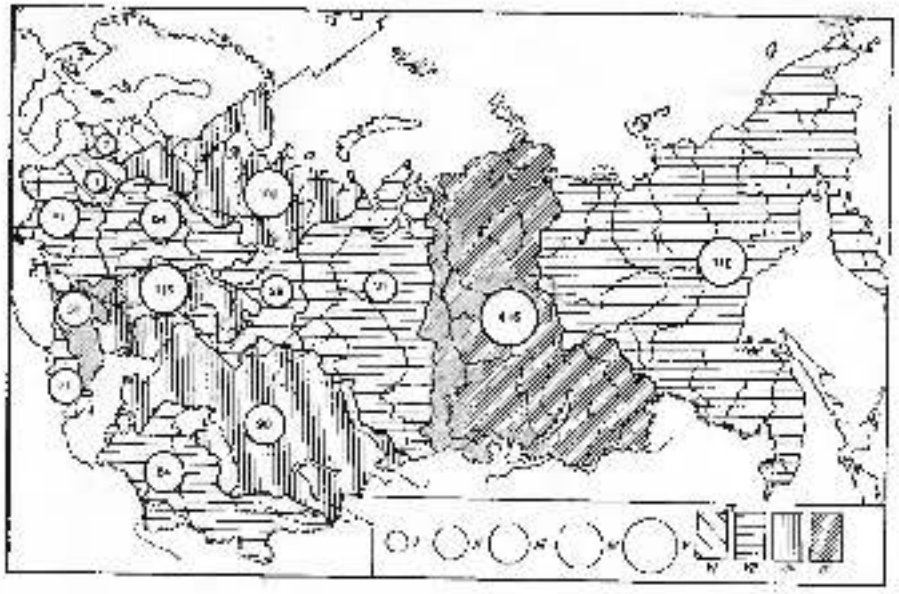


Рис. 9. Полный объем водохранилищ всего (цифры в кружках, км³, *I*—*V*) и в расчете на 1 человека (тыс. м³, *VI*—*IX*) по экономическим районам СССР
I — до 10; *II* — 10—50; *III* — 50—100; *IV* — 100—200; *V* — более 200; *VI* — до 10; *VII* — 10—50; *VIII* — 50—100; *IX* — более 100

Данные таблиц показывают, что водохранилища созданы практически во всех странах мира. Еще 20 лет назад в Африке насчитывались единицы более или менее крупных водохранилищ (Асуанское, Сеннар, Вааль, Джебель Аулие и др.), а сейчас четыре из пяти крупнейших водохранилищ мира и большое число менее крупных находятся на этом материке. Значительное число средних и больших водохранилищ именно в последние десятилетия создано в таких развивающихся странах, как Индия, Бразилия, Аргентина, Мексика, Иран, Ирак, Турция, Таиланд и др. Появляются водохранилища даже в небольших островных государствах.

Быстрыми темпами идет создание водохранилищ в социалистических странах. Так, в Болгарии, Румынии, Югославии почти все более или менее значительные водохранилища созданы в последние 20—25 лет; несколько раньше началось создание таких водохранилищ в ГДР, Польше и Чехословакии. В социалистических странах имеются планы дальнейшего интенсивного развития водного хозяйства, в том числе и регулирования стока рек с помощью водохранилищ (Прогноз развития..., 1977).

В развитых капиталистических странах водохранилища также продолжают создаваться. В США в ближайшие 30—40 лет предполагается утроить полезный объем водохранилищ. Обширные планы создания водохранилищ у Канады, Швеции, Норвегии, Испании, ЮАР и других стран.

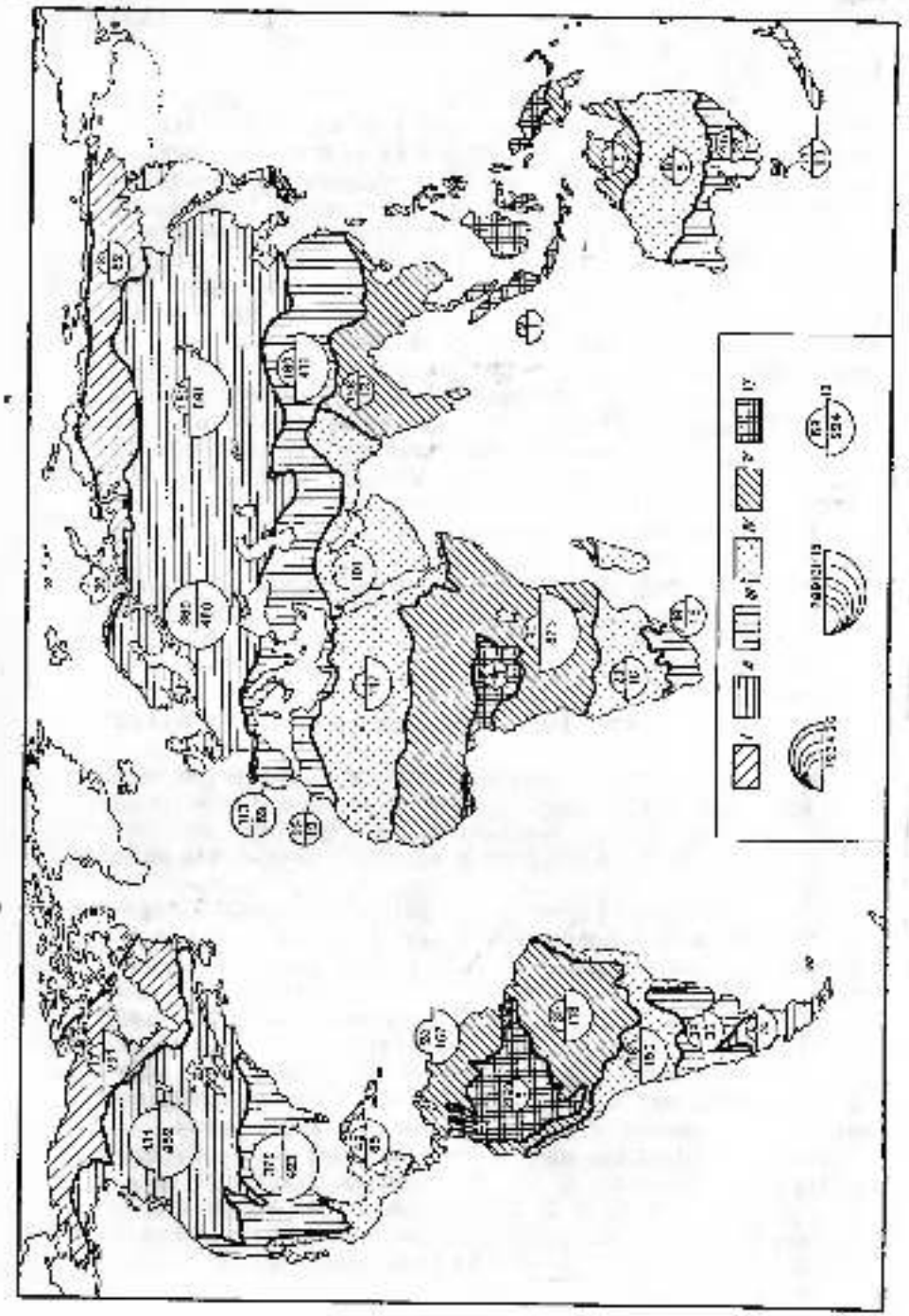
Распределение водохранилищ по природным поясам, как видно из данных табл. 8 и рис. 10, весьма неравномерно. Наибольшее количество водохранилищ (более 41%) и значительная доля их полного объема (почти 40%) расположены в умеренном поясе; это обусловливается размещением в этом поясе большинства наиболее развитых в экономическом отношении стран мира как социалистических, так и капиталистических, где массовое создание водохранилищ началось раньше, чем на остальной территории земного шара, и продолжается до сих пор значительными темпами. Весьма велики число и объем водохранилищ в субтропическом поясе, где их создание вызывалось в основном развитием ирригации. В тропическом и субэкваториальном поясах число водохранилищ значительно меньше, но их суммарный полный объем велик, что обусловлено созданием крупных водохранилищ в ряде стран Африки, в Бразилии, Мексике, Колумбии, Индии, Австралии; эти водохранилища строились в основном в интересах гидроэнергетики, но используются также для орошения, борьбы с наводнениями, рыбного хозяйства.

Небольшое число водохранилищ в экваториальном поясе обусловлено слабым экономическим развитием расположенных здесь стран и меньшей потребностью в регулировании стока рек по сравнению с районами, где он очень неравномерен. Также мало водохранилищ в субарктическом поясе, где их строительство только начинается (некоторые районы СССР, Канады и Аляска).

Следует отметить, что многие небольшие страны расположены в пределах одного природного пояса, а все крупнейшие страны мира (СССР, США, Канада, Китай, Бразилия, Австралия, Аргентина и другие) находятся в пределах нескольких природных поясов.

Более подробно следует остановиться на краткой характеристике больших водохранилищ. По классификации, предложенной А. Б. Авакяном и В. А. Шараповым (более подробно вопросы классификации водохранилищ рассмотрены в гл. III), большими следует считать водохранилища полной емкостью более 1 км³ или площадью водного зеркала более 100 км². Данные о суммарном объеме этих водохранилищ приведены в табл. 5, их размещение показано на рис. 3 и 11, а более подробные данные по крупнейшим водохранилищам — в Приложении.

Большие водохранилища в значительной мере определяют суммарные показатели по водохранилищам многих стран, материков и земного шара в целом. Вместе с тем следует отметить, что доля больших водохранилищ в экономическом эффекте от всех водохранилищ обычно ниже их удельного веса в суммарном объеме и площади водного зеркала.



Большие водохранилища вызывают изменения гидрологического режима рек на протяжении сотен, а иногда и тысяч километров, особенно если такие водохранилища образуют каскадные системы. Общеизвестны значительные изменения природной среды в результате создания водохранилищ на Волге, Каме, Днепре, Ангаре, Сырдарье (СССР), на Миссури, Колумбии, Теннесси, Колорадо, Снейке (США), на Роне, Тахо, Дуэро, Влтаве, Арде и др. (зарубежная Европа), на Замбези, Ниле, Оранжевой (Африка), на Евфрате, Парбаде, Ялуцзяне и др. (Азия), на Каронн, Паране и ее притоках (Южная Америка).

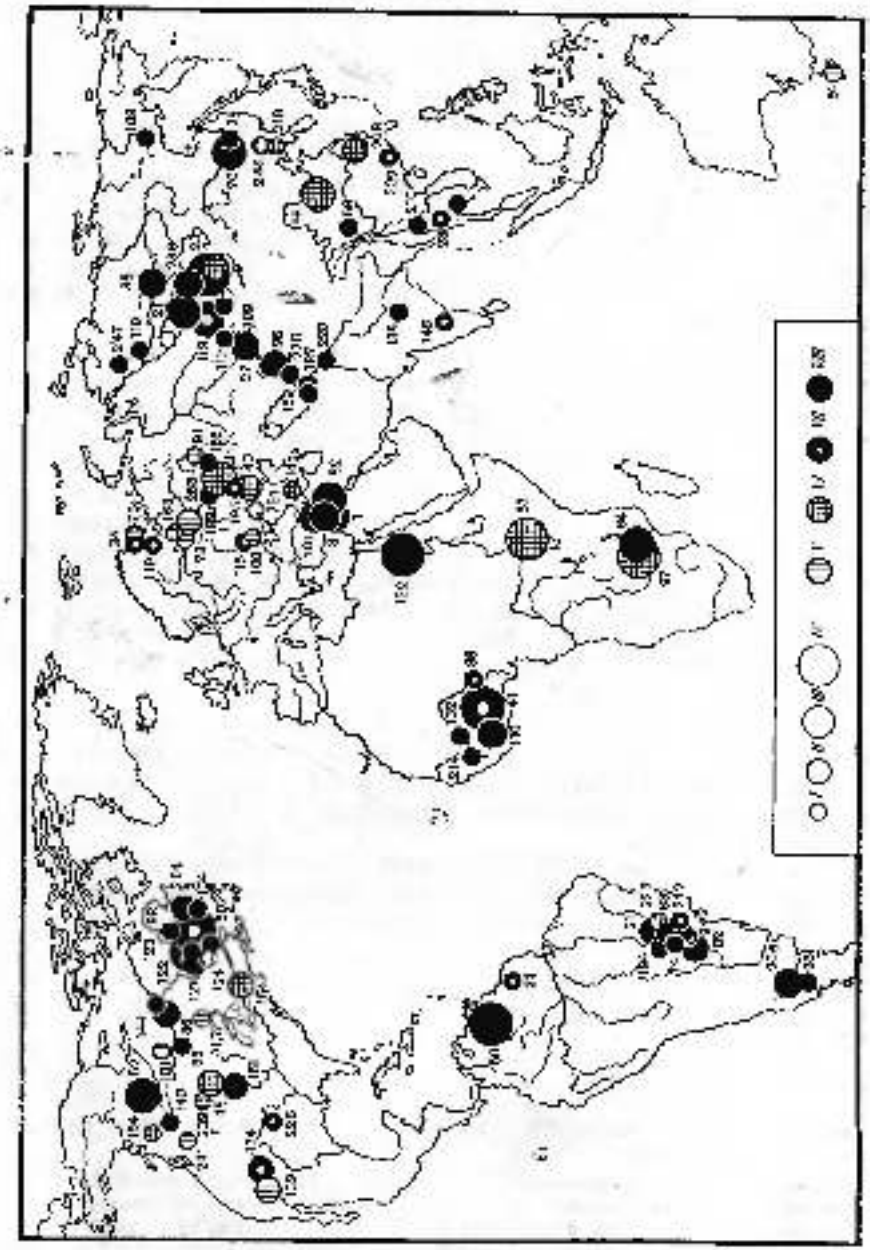
Создание крупных водохранилищ существенно изменило облик Египта, Ганы, Суринама, Замбии, Мозамбика, Ирака и отдельных районов СССР, США, Мексики, Бразилии, Испании, Греции, Индии и некоторых других. В этих и других странах большие водохранилища в сочетании с многочисленными небольшими искусственными водоемами изменили географическое размещение водоемов озерного типа и режим речного стока, что отразилось и на других элементах природной среды.

Большие водохранилища существенно, а иногда и значительно влияют на хозяйство отдельных стран или крупных районов. Так, многие гидроузлы с большими водохранилищами создали или улучшили условия промышленного развития и сельскохозяйственного освоения больших территорий, а иногда и целых стран. Примером могут служить Волжский, Днепровский, Сырдарьинский, Амударьинский, Ангаро-Енисейский каскады в СССР, гидроэлектростанции Акосомбо с водохранилищем Вольта в Гане, Гури (Эль Макгеко) в Венесуэле, Саад аль Аали (Насер) в Египте, Ван Блометейн (Брокопондо) в Суринаме, Эль Чокон и Серрос Колорадос в Аргентине, Асад в Сирии, Кебан в Турции, Кабора Баса в Мозамбике, некоторые ирригационно-энергетические гидроузлы в Индии, Мексике, Бразилии, Нигерии.

Создание больших водохранилищ в развивающихся странах приводит к значительным социально-экономическим сдвигам в развитии прилегающих к водохранилищам территорий, так как переселение иногда десятков и даже сотен тысяч человек, освоение больших площадей новых земель, прокладка новых путей сообщения обычно сочетаются со значительными

Рис. 10. Схема размещения водохранилищ объёмом более 100 млн. м³ по природным зонам земного шара

Природные зоны: *I* — субарктическая; *II* — умеренная; *III* — субтропическая; *IV* — тропическая, *V* — субэкваториальная; *VI* — экваториальная. Количество водохранилищ: *1* — 1—10; *2* — 11—50; *3* — 51—100; *4* — 101—200; *5* — 201—300; *6* — 301—500. Суммарный полный объем, км³: *7* — 1—10; *8* — 11—50; *9* — 51—100; *10* — 101—200; *11* — 201—300; *12* — более 500; *13* — в числителе — количество водохранилищ, в знаменателе — их суммарный полный объем, км³



преобразованиями землепользования, состояния населенных пунктов, медицинского обслуживания населения и т. д.

В последние десятилетия осваивались водные ресурсы крупных и многоводных рек, в связи с чем параметры крупнейших водохранилищ все время возрастают. В 1950 г. самым большим по объему было водохранилище Мид в США (36,7 км³), а по площади — Рыбинское в СССР (4550 км²). В настоящее же время самые крупные по объему, не считая озера-водохранилища Виктория на р. Нил (204,8 км³),— это долинные водохранилища Братское (169,3 км³), Кариба (160,3 км³) и Насер (157 км³). По площади, не считая озер-водохранилищ Виктория (76 000 км²), Байкал (32 966 км²), Онтарио (19 684 км²) и Онежского (9930 км²), крупнейшими стали водохранилища Вольта (8480 км²) и Куйбышевское (6450 км²).

Вероятность создания очень крупных водохранилищ в перспективе не исключается; она меньше в странах с высокой степенью использования водных (в том числе гидроэнергетических) и земельных ресурсов и больше в странах, где водные, земельные и другие ресурсы освоены слабо и дальнейшее использование водных ресурсов невозможно без создания водохранилищ на больших реках. Следует ожидать создания больших водохранилищ в Африке, Канаде, США (в основном на Аляске), Южной Америке, Южной и Восточной Азии и в азиатской части СССР.

Рис. 14. Схема размещения крупнейших водохранилищ мира

Полный объем водохранилищ, км³: *I* — 10—25; *II* — 25—50; *III* — 50—100; *IV* — более 100. Периоды создания водохранилищ: *V* — до 1950; *VI* — 1951—1960; *VII* — 1961—1970; *VIII* — после 1970 г. и подготавливаемые

Глава II

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И СОЦИАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ

Проблема обеспечения быстро растущего населения и развивающегося хозяйства водой и сохранения чистоты воды стала для многих стран мира самой насущной проблемой. Ее рассмотрение выходит далеко за рамки настоящей книги. Но и освещение социального и экономического значения создания и использования водохранилищ, хотя бы для наиболее крупных стран, потребовало бы многих томов, поскольку водохранилища неразрывно связаны с природой и хозяйством этих стран и играют существенную роль в жизни населения. В данной главе показано лишь принципиальное значение водохранилищ для решения проблем водного хозяйства (схема 1, рис. 12).

1. ЗНАЧЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В индустриально развитых странах на промышленные и коммунальные нужды расходовалось в 1975 г. воды в десятки раз больше, чем в начале столетия. Представление о росте водопотребления на земном шаре приведено в табл. 10 и 11. Удовлетворять растущее водопотребление крупных городов за счет подземных вод и неурегулированных поверхностных потоков становится все труднее и труднее, поэтому во многих странах мира оно осуществляется в основном из водохранилищ.

На нужды теплоэнергетики приходится наибольшая часть промышленного водопотребления (в США — 68%, в Японии — 57%, в ФРГ — 54%, в СССР — 51%); к 2000 г. доля теплоэнергетики в потреблении воды увеличится в ряде стран до 70—80%. Трудности в обеспечении хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения наблюдаются в большинстве стран Западной Европы, Японии, во многих районах США и отдельных районах Азии, Африки, Латинской Америки и Австралии. В СССР наиболее остро вопросы водоснабжения стоят на Украине, в Молдавии, Средней Азии, Казахстане, на Урале, в Кузбассе и ряде других районов.

Решение проблемы промышленного и коммунального водоснабжения в большинстве районов заключается, как правило, в регулировании стока, что требует создания водохранилищ.

Накапливая половодный сток, водохранилища обеспечивают круглогодичное снабжение водой потребителей, улучшают и удешевляют условия забора воды насосными станциями водопроводов, поддерживая необходимый уровень и уменьшая высоту подкачки воды; уменьшают, как правило, мутность,

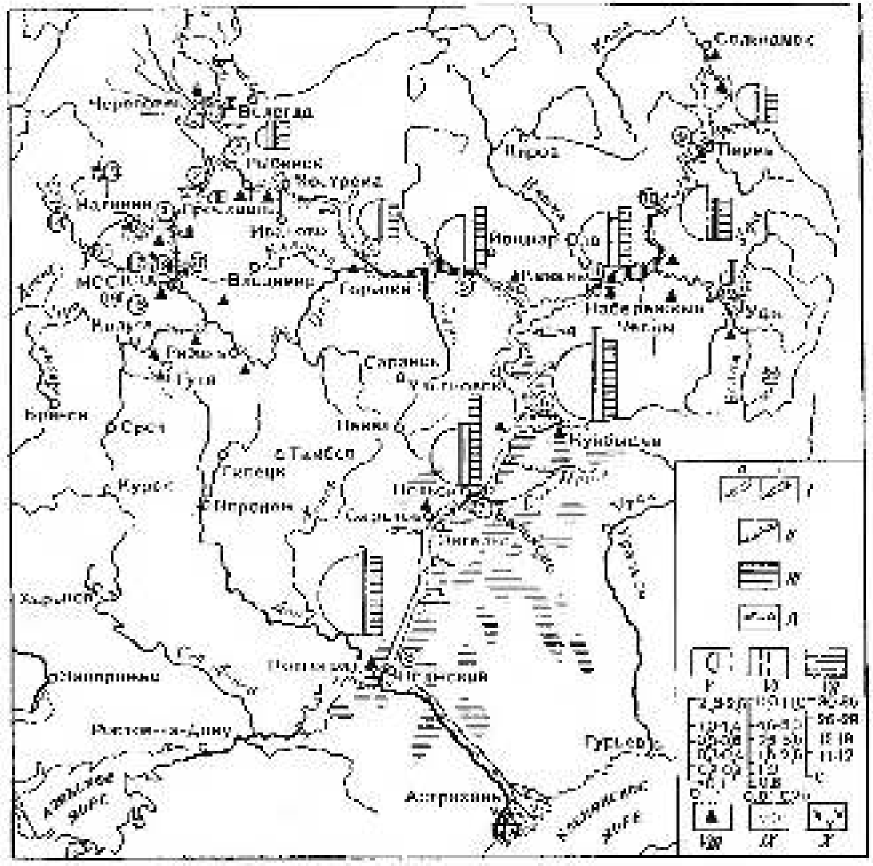
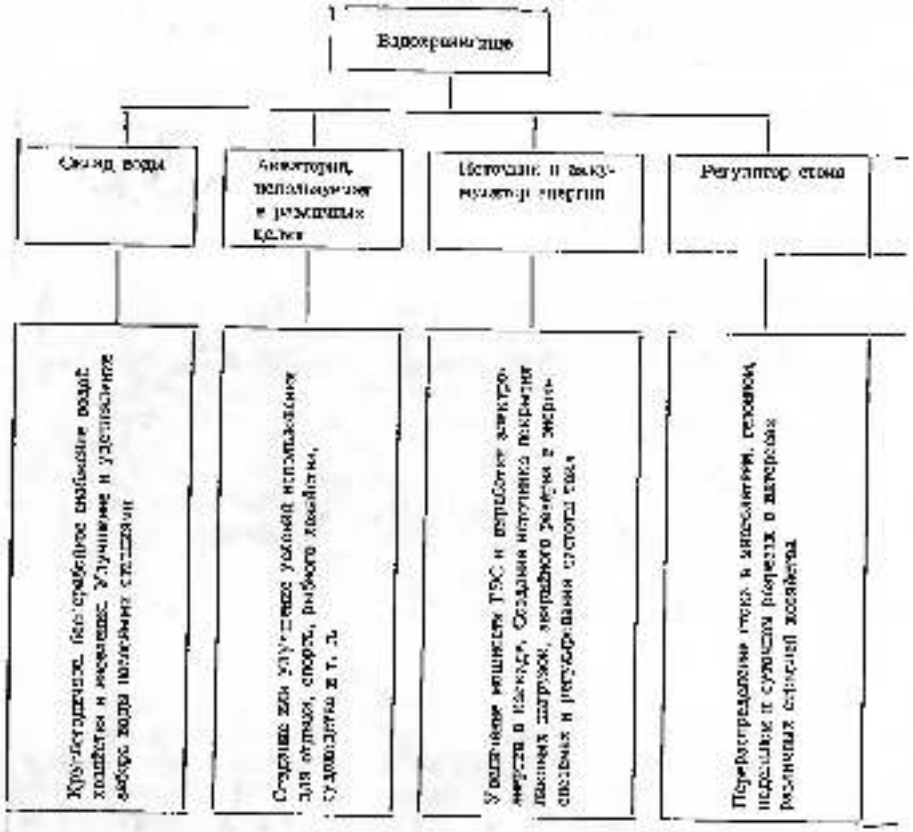


Рис. 12. Использование водных ресурсов Волжско-Камского каскада

I — крупные и средние гидроузлы: а — существующие, б — строящиеся; цифры в кружках: 1 — Иваньковский; 2 — Угличский; 3 — Рыбинский; 4 — Горьковский; 5 — Чебоксарский; 6 — Куйбышевский; 7 — Саратовский; 8 — Волгоградский; 9 — Камский; 10 — Воткинский; 11 — Нижнекамский; 12 — Пенкинский; 13 — Шекснинский; 14 — Верхнесвирский; 15 — Важнесолжский; 16 — Рузский; 17 — Озернинский; 18 — Можайский; 19 — Истринский; 20 — гидроузлы и водохранилища водораздельного бьефа канала им. Москвы; 21 — Окский; 22 — Сугушский; II — крупные каналы (судоходные, оросительные, водообменные); III — районы существующего и перспективного орошения; IV — шлюз. рыбы; V — установленная мощность гидроэлектростанций, млн. квт; VI — среднегодовая выработка электроэнергии, млрд. квт·ч; VII — грузопоток через шлюз в оба направления в 1971 г., млн. т; VIII — крупные теплоэлектростанции; IX — районы массового отдыха; X — зона влияния специального рыбохозяйственного и сельскохозяйственного попуска в низовья Волги

Схема 1

Экономическое и социальное значение водохранилищ
(А. Б. Авакян, 1977)



цветность, запах, окисляемость и бактериальную загрязненность воды, что упрощает ее очистку на водопроводных станциях и снижает расход коагулянта и хлора для приведения воды к стандарту; выравнивают сезонные колебания качества речной воды, благодаря чему водопроводные станции работают равномернее в течение года.

За последние десятилетия для этой цели были созданы тысячи искусственных водоемов и ежегодно создаются многие водохранилища, предназначенные специально для улучшения водоснабжения отдельных городов, промышленных предприятий промышленных районов и городских агломераций. Для водообеспечения населения и промышленности широко используются также водохранилища, предназначенные для других целей.

Специальные водоснабженческие водохранилища, как правило, невелики. Однако системы таких водохранилищ, обеспечи-

вают водой многие крупнейшие и крупные города мира (Москва, Нью-Йорк, Лондон, Токио, Лос-Анжелес, Сан-Паулу, Рио-де-Жанейро, Париж, Рим, Берлин и др.), а также городские агломерации в Донбассе, Рурском бассейне, Северной Италии, Аппалачском бассейне и др.

2. РОЛЬ ВОДОХРАНИЛИЩ В БОРЬБЕ С НАВОДНЕНИЯМИ

На протяжении многих веков население, проживающее на берегах рек во всех районах земного шара, непрерывно ведет борьбу с наводнениями, причиняющими колоссальный ущерб прибрежным районам. Лишь за последние 30 лет несколько миллиардов долларов прямых убытков причинили наводнения только в бассейне р. Миссисипи. Всего же воздействию

Таблица 10

Водопотребление на земном шаре, км³/год *
(Мировой водный баланс . . ., 1974)

Водопотребитель	1900	1950	1970	1975	2000
Коммунальное хозяйство	20 / 5	60 / 11	120 / 20	150 / 25	440 / 65
Промышленность	30 / 2	180 / 9	540 / 20	630 / 25	1900 / 70
Сельское хозяйство	350 / 250	960 / 650	1900 / 1500	2400 / 1600	3400 / 2000
Водохранилища (испарение)	0 / 0	4 / 4	20 / 20	110 / 110	240 / 240
Общее (с округлением)	400 / 270	1100 / 850	2600 / 1600	3000 / 1800	6000 / 3000

Таблица 11

Распределение водопотребления по континентам *
(Мировой водный баланс . . ., 1974)

Континент	1900		1970		Прогноз на 2000 г.	
	км³	%	км³	%	км³	%
Европа	40 / 20	10 / 7	320 / 100	12 / 7	720 / 240	12 / 8
Азия	270 / 200	68 / 74	1500 / 1130	56 / 73	3900 / 2000	63 / 67
Африка	30 / 25	8 / 9	150 / 100	5 / 7	380 / 250	6 / 8
Северная Америка	60 / 20	15 / 7	540 / 180	21 / 11	1300 / 380	22 / 9
Южная Америка	5 / 5	1 / 1	70 / 50	3 / 3	300 / 130	5 / 4
Австралия и Океания	1 / 0,8	0 / 0	23 / 12	1 / 1	60 / 30	1 / 1
Всего (с округлением)	400 / 270	100 / 100	2600 / 1600	100 / 100	6000 / 3000	100 / 100

* В числителе — полное, в знаменателе — безвозвратное водопотребление.

наводнений в США подвергаются свыше 40% городов и 14 млн. га земли. В азиатских странах разливами рек ежегодно уничтожаются посевы на площади почти в 4 млн. га, а количество людей, страдающих от наводнений, достигает 17 млн. человек. Не щадят наводнения и страны Европы: Рим, Лондон, Париж веками борются с наводнениями, но до сего времени не могут с

ними справиться. Первая комиссия для разработки плана борьбы с наводнениями была создана в Риме еще во времена Тацита, а в Лондоне проблема борьбы с наводнениями впервые встала в 1091 г., когда водами Темзы был снесен Лондонский мост.

Частые наводнения — серьезное бедствие для народного хозяйства и ряда районов СССР. В наибольшей степени от них страдают Дальний Восток и Закарпатье. Нередки наводнения и на реках Сибири, Средней Азии, Кавказа, центральных и северных районов европейской части СССР.

Наводнения вызываются различными причинами: интенсивным таянием снегов в весеннее время, сильными и длительными ливнями, ледяными заторами и зажорами, а также разрушением дамб и плотин. В устьях некоторых рек, наводнения могут быть вызваны продолжительными и сильными ветрами со стороны моря, в результате чего воды реки подпираются и выходят из берегов. Таким наводнениям подвержены Ленинград, Новый Орлеан, Сан-Франциско и другие города мира.

В зависимости от характера речной долины и количества воды, стекающей с водосборной площади, уровень воды на разных реках поднимается в период паводка на высоту от нескольких до 10—20 м, а иногда и более. Расходы воды в реке увеличиваются по сравнению с меженью в десятки, сотни, а кое-где и в тысячи раз. В результате вода разливается по долине, сносит и повреждает дома, промышленные и коммунальные здания, мосты, разрушает железные и автомобильные дороги, трубопроводы, линии электропередачи и связи, размывает и заносит песком поля, огороды, сенокосы и пастбища. Нередко наводнения сопровождаются человеческими жертвами. Помимо повреждений различных объектов хозяйства, ущерб от наводнений заключается в снижении урожайности сельскохозяйственных культур, в гибели скота от бескормицы, в простое промышленных предприятий и транспорта, сокращении сроков амортизации зданий и сооружений, подвергающихся систематическому затоплению, в перерывах связи, электроснабжения и т. п.

Для оценки эффективности мероприятий, проектируемых для борьбы с наводнениями, необходимы достоверные и полные данные о причиняемом ими ущербе. К сожалению, в настоящее время этот учет поставлен плохо, что, в частности, объясняется отсутствием единой методики подсчета ущерба. В разных странах и даже в отдельных районах одной страны ущерб от наводнений исчисляется по-разному.

Известно несколько видов борьбы с наводнениями: создание регулирующих речной сток водохранилищ, строительство дамб для обвалования приречных территорий, спрямление речного русла в целях ускорения стока паводковых вод, создание вне речных долин водохранилищ в естественных понижениях рельефа для отвода воды в период половодья.

Весьма важная, а иногда и решающая роль в борьбе с наводнениями принадлежит водохранилищам. Создание регулирующих водохранилищ дает возможность на участках рек, расположенных ниже плотин, ликвидировать полностью или частично бедствия, связанные с наводнениями, создать условия для экономического освоения долины, снизить затраты на строительство в различных отраслях хозяйства в связи с резким уменьшением паводковых расходов и уровней. За последние десятилетия на земном шаре построено много водохранилищ, основной целью которых является борьба с наводнениями. Небезынтересно отметить, что в бассейне р. Колумбии (США) за специальную плату используют канадские водохранилища для борьбы с наводнениями.

РЕКРЕАЦИОННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ

Организация отдыха и сохранение здоровья населения становится все более актуальной задачей во многих странах мира. В организации отдыха особая роль принадлежит водоемам. Разнообразные виды отдыха и занятия спортом (плавание, гребля, катание на яхтах, катерах, водных лыжах, рыбная ловля, охота на водоплавающую дичь и т. п.), эстетическое воздействие живописных ландшафтов, смена впечатлений в комплексе приводят к тому, что водоемы вполне можно считать природными лечебницами. Поэтому большая часть рекреационных учреждений и почти все учреждения кратковременного отдыха населения располагаются на берегах водоемов или вблизи от них.

Для рекреации большое значение имеет то обстоятельство, что длина береговой линии водохранилищ в ряде стран мира существенно превышает длину береговой линии морей (в США — в три раза).

Рекреационная ценность водохранилищ (а на крупных водохранилищах — и их отдельных участков), как уже указывалось, характеризуется целой группой разнородных факторов: типом ландшафта, формой, глубиной и площадью водоема, уклоном берегов, температурой воды, удаленностью от крупных городов, обеспеченностью подъездными путями и т. д.

Рекреационное использование водохранилищ представляет особенно большой интерес в силу ряда причин (Авакян, Яковлева, 1973):

1) во многих районах, особенно в бедных естественными водоемами, водохранилища повышают рекреационную ценность и емкость ландшафтов, а в некоторых случаях служат ядром, создающим такие ландшафты;

2) большинство водохранилищ комплексного назначения создано и будет создаваться вблизи городов, небольшие водохранилища рекреационного назначения могут создаваться и в пределах городских территорий. Так, по нашим данным (Авакян, Яковлева, 1973), в Советском Союзе на берегах водохранилищ проживает более 20 млн. человек городского населения страны и около 22 млн. человек живет в пределах двухчасовой доступности от водохранилищ, т. е. около 40% жителей городов имеют возможность пользоваться водохранилищами для кратковременного отдыха, причем половина из них — как в будние, так и в выходные дни (расчеты проводились для городов с населением более 20 тыс. человек);

3) водохранилища могут быть созданы с учетом многих требований рекреации;

4) водохранилища для рекреационных целей могут создаваться в наиболее благоприятных климатических условиях;

5) водохранилища комплексного и целевого назначения, создаваемые в горных и северных районах, имеют хорошие подъездные пути, поэтому их легче и проще использовать в рекреационных целях, чем озера;

6) благодаря наличию при строительстве гидроузлов базы стройиндустрии и квалифицированных кадров строительство на берегах водохранилищ гостиниц, турбаз и других рекреационных объектов может осуществляться в короткие сроки; для целей рекреации могут быть использованы поселки строителей.

Однако следует отметить, что создание водохранилищ в ряде случаев вызывает и отрицательные последствия для рекреационного использования территории: затопление и подтопление существующих минеральных источников, санаториев, домов отдыха, памятников архитектуры и других объектов, представляющих ценность для организации отдыха, ухудшение условий отдыха на участках рек в нижних бьефах гидроузлов из-за резких суточных и недельных колебаний уровня и снижения температуры воды иногда ниже 17°, при этом массовое купание исключается. К числу неблагоприятных условий для отдыха также относятся: «цветение» воды, интенсивная переработка берегов на крупных водохранилищах (затрудняет размещение в прибрежной полосе учреждений отдыха и подступы к пляжам), отсутствие на значительных участках берега пляжей и ценных насаждений, значительное отступание уреза воды при сработке водохранилищ и др.

За последнее время проблемам организации отдыха населения, в частности рекреационному использованию водохранилищ, большое внимание уделяется в социалистических странах, в ряде капиталистических стран Европы, в США, Канаде и др. В СССР на берегах водоемов (морей, озер, крупных и средних рек, водохранилищ) расположено около 55% санаторных учреждений, 80% учреждений длительного отдыха, 60% туристских учреждений и более 90% учреждений кратковременного пригородного отдыха. Из 8 тыс. зон отдыха, имеющихся в США, более 800 расположены на водохранилищах. Рекреация наряду с гидроэнергетикой в США занимает первое место по числу

используемых водохранилищ. Не считая Великих озер и озер Аляски, на водохранилища приходится около 30% поверхности внутренних вод США.

Число людей, отдыхающих на озерах, реках и водохранилищах, за последние 20 лет увеличивалось в индустриально развитых странах на 10—15% в год. Постоянному росту числа отдыхающих на водохранилищах способствуют, в частности, ежегодно возрастающие инвестиции в рекреационную отрасль. В связи с постоянно растущим числом желающих проводить отдых вблизи водоемов растет необходимость использовать в рекреационных целях водохранилища, в том числе и водоснабженческие.

Водохранилища, создавая возможности для организации отдыха населения, в то же время нуждаются в охране, как и все другие природные объекты. Для этой цели необходима разработка оптимальных норм нагрузок на акваторию и ландшафт в прибрежной зоне водохранилищ. Эти нормы значительно изменяются по странам, отдельным районам, а также в зависимости от параметров водохранилищ и интенсивности их использования отдыхающими. Например, в США по разным нормам считается, что на одну весельную лодку надо иметь от 0,4 до 2,0 га водной поверхности, на моторную и парусную лодки — от 1,2 до 8 га, на водные лыжи (на одну группу для проведения соревнований) — от 4 до 16 га. По разным нормам в разных странах необходимо иметь на одного купающегося от 4,6 до 23 м² водной поверхности, от 20 до 46 м² пляжа и около 300 м² прибрежной территории. В некоторых европейских странах, ощущающих недостаток во внутренних водоемах, эти нормы несколько ниже.

Предельные и оптимальные нормы нагрузок должны служить основой регулирования посещаемости рекреационных комплексов в зоне водохранилищ. Для этой цели необходимо использовать систему дифференцированной платы за рекреационные услуги (поскольку, как показывают зарубежные исследования, существует прямая связь между платой за пользование рекреационным объектом и его посещаемостью), организацию экспрессного транспорта к отдаленным водохранилищам и т. д.

Оптимальное использование в рекреационных целях акватории и прибрежной зоны водохранилищ возможно лишь при удовлетворении требований рекреации к режиму уровней, заключающихся в основном в необходимости поддержания постоянного или близкого к нему уровня водохранилища. Американские исследователи считают, что в период наибольшего наплыва отдыхающих колебания уровня не должны превышать 30—60 см (Shannon, 1963). Однако на водохранилищах комплексного назначения требования рекреации не всегда могут быть удовлетворены, и тогда рекреация приспосабливается к существующему режиму.

Существенные сложности и недостатки в организации зон отдыха на водохранилищах, характерные практически для всех стран, связаны с рядом межотраслевых и внутриотраслевых противоречий. Так, зоны отдыха в ряде случаев наносится большой ущерб добывающей промышленностью, а в отдельных случаях строительством в этих зонах промышленных предприятий. Условия отдыха во многих случаях существенно ухудшаются из-за загрязнения воды промышленными, транспортными и коммунальными стоками.

Не меньшее, а в некоторых случаях и более существенное значение имеют противоречия между отдельными видами рекреационного использования водохранилищ. Так, рыбная ловля невозможна в районе пляжей и на участках, используемых для воднолыжного спорта; в местах массового купания недопустимо катание на быстроходных судах и т. д. Противоречия между различными видами рекреационного использования водохранилищ могут устраняться или смягчаться путем разграничения зон по видам отдыха (акваториальная планировка) и разграничения видов отдыха во времени (Авакян, Яковлева, 1976).

1620—2

В разных странах по разному подходят к районированию зон отдыха на водохранилищах. Так, канадские исследователи предлагают выделять пять рекреационных зон на побережье и три на воде. На побережье они выделяют зоны: застройки, промежуточного использования (на неблагоприятных участках, предназначенных под застройку отдельными ломками), нетронутой природы, общественного отдыха (парки, места для пикников, причалы, стоянки автомобилей) и буферные зоны, разделяющие территории с различным типом использования. Рекреационные зоны на воде включают зоны отдыха у берега, «открытой воды» в центре водоема и заповедную зону.

Известны и другие примеры районирования; например, на водохранилище Буффало в Канаде критериями бонитировки были приняты структура пляжа, ширина так называемого влажного пляжа (т. е. участков мелководий до изобаты 1,5 м), уклоны и физико-географическая характеристика берегов, растительность; каждому из этих элементов давалась оценка в 1—5 баллов (Jaakson, 1970, 1972).

Для районов с большой плотностью населения и ограниченными рекреационными ресурсами большой интерес представляет исследование возможности использования для отдыха водоснабженческих водохранилищ. Однако водохозяйственные организации действуют весьма осторожно при решении вопроса о возможности рекреационного использования водоснабженческих водохранилищ главным образом из-за опасности ухудшения качества воды (Carswell et al., 1969; Littlewood, 1971; Willis, 1971).

Оздоровительное значение отдыха на берегах водохранилищ не исключает необходимости экономической оценки их рекреа-

ционного использования. Она особенно важна для обоснования создания рекреационных водохранилищ. Так, например, в СССР свыше 9 млн. человек городского населения проживает в районах, лишенных естественных водоемов, пригодных для рекреационного использования. При экономической оценке использования водохранилищ должны учитываться уменьшение заболеваемости, повышение производительности труда, экономия на транспортных расходах, прямые доходы от отдельных видов отдыха и т. п.; для этого необходим хороший учет рекреационного использования водохранилищ.

В капиталистических странах рекреационное использование водохранилищ приносит значительный доход, в ряде случаев не только сопоставимый, но и значительно превышающий доходы от других видов их использования. Исследования университета штата Нью-Мексико в бассейне р. Рио-Гранде показали, что прирост валового национального продукта от использования одного акрфута воды (1234 м³) составляет в сельском хозяйстве 44—51 долл., в рекреации — 212—307 долл., в промышленности — 3040—3969 долл. (Biswas, 1969). Анализ расходов и прибылей от рекреации на водохранилище Льюи (штат Кентукки) показал, что при средней ежегодной стоимости эксплуатации водохранилища (включая рекреационные сооружения) 1067 тыс. долл. ежегодная прибыль составила 1540 тыс. долл., в том числе 814 тыс. долл. — от эксплуатации рекреационных сооружений. Основной доход дает рекреационное использование водохранилища, хотя оно было создано для борьбы с наводнениями и обеспечения попусков в меженный период (Douglas, 1968).

В целях повышения эффективности рекреационного, а вместе с тем и комплексного использования водохранилищ представляется необходимым (Авакян, Яковлева, 1973, 1976):

1) при проектировании водохранилищ учитывать возможность их рекреационного использования, заблаговременно разрабатывать необходимые для этого мероприятия, осуществлять четкое зонирование рекреационных территорий по видам отдыха, контингенту отдыхающих и по видам рекреационного использования с учетом интересов других отраслей хозяйства, а также исследовать «выносливость» ландшафта и акватории к рекреационным нагрузкам и разработать действенный механизм защиты рекреационных территорий;

2) составлять в каждой стране генеральную схему рекреационного использования внутренних водоемов (в том числе водохранилищ с учетом перспектив их создания), выявлять потребности в специальных водохранилищах для отдыха (с резервированием для них территорий), разрабатывать локальные схемы наиболее перспективных водных объектов, а также типовые проекты учреждений отдыха на воде.

Проектирование зон отдыха на водохранилищах должно осуществляться с учетом следующих обстоятельств:

1) довольно тесной взаимосвязи между отдельными типами водохранилищ и возможными на них видами отдыха, между территорией и акваторией при определении единовременной вместимости;

2) динамики природных явлений и процессов в прибрежной зоне водохранилищ (переработка берегов, подтопление, зарастание мелководий, отчленение заливов вдольбереговым перемещением наносов, а впоследствии возможный замыв их наносами впадающих рек, зарастание прибрежной территории водной растительностью и т. д.);

3) возможности повышения рекреационной емкости ландшафта и акватории за счет осуществления ряда инженерных, лесотехнических и других мероприятий (намыв пляжей, укладывание берегов, устройство спусков к воде, превращение прибрежных лесов в лесопарки, оборудование площадок для кемпингов, стоянок автомашин, разведение рыбы и т. п.);

4) организации вблизи больших городов в первую очередь зон кратковременного отдыха, поскольку длительный отдых может быть организован в более отдаленных районах.

4 ИРРИГАЦИОННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ

Во многих странах мира сельское хозяйство испытывает значительные затруднения из-за недостатка воды, особенно в засушливые годы. Даже в богатых осадками экваториальных районах в определенные периоды ощущается недостаток воды. Так, в 1958 г. в некоторых районах Конго погибли плантации какао из-за того, что осадки составили лишь 700 мм вместо 1500 мм, выпадающих в среднем за год. В районе Батуми (СССР), где выпадает около 2400 мм осадков в год, цитрусовые культуры в апреле все же испытывают недостаток в воде.

Ирригация развивается на земном шаре несколько тысячелетий. В начале XX в. в мире орошалось около 40 млн. га. В настоящее время площадь орошаемых земель составляет около 250 млн. га, из них 150 млн. га было орошено за последние 25 лет. Представление о площади орошаемых земель на земном шаре дают данные, приведенные в табл. 12. Примерно 60% всех орошаемых площадей сосредоточено в Китае, Индии, США и СССР.

Урожаи зерновых на орошаемых землях в странах, расположенных в засушливой и полузасушливой зонах, в 2—2,5, а в отдельные годы в 3 раза выше, чем без орошения, в районах же с более влажным климатом урожаи за счет орошения повышаются в 1,5 раза.

Значительное увеличение площади орошаемых земель не могло быть обеспечено водными ресурсами рек в их естественном состоянии, и потребовалось регулирование стока этих рек. Создание водохранилищ позволяет значительно увеличить

Таблица 12

Площади орошаемых земель, млн. га
(Мировой водный баланс . . ., 1974)

Континент	1900	1960	1970	2000
Европа	3,5	10	24	45
Азия	30	85	170	300
Африка	2,5	5	9	19
Северная Америка	4	13	25	35
Южная Америка	0,5	3	7	15
Австралия и Океания	0	0,5	1,0	3
Всего суша (округленно)	40	96	294	420

размеры орошаемой площади за счет более полного использования стока, подавать воду на поля в нужном количестве в соответствии с оптимальными сроками полива, увеличить подкомандные площади самотечного орошения, снизить затраты на подкачку воды при машинном орошении (Авакян, Шарапов, 1977). Регулирование стока водохранилищами необходимо и потому, что потребности орошаемых земель в воде существенно изменяются по сезонам и в годы различной водности. Различны количество поливов в разных условиях, длительность одного полива (изменяется от 5 до 12—15 дней) и потребность в воде в разные периоды жизни растений. Суммарные расходы в период полива могут изменяться в отдельные дни в 5—7 раз; в некоторые дни поливы не нужны вовсе (Бахтиаров, 1961).

Значение регулирования стока водохранилищами отчетливо видно на примере Сырдарьи, в бассейне которой орошается около 1 млн. га земель. Напряженное положение с водными ресурсами в ее бассейне настоятельно требовало систематического осуществления дальнейших водохозяйственных мероприятий. Крупнейшими объектами водохозяйственного строительства в бассейне являлись Кайраккумское, Чардаринское, Токтогульское и Андижанское водохранилища. Например, Токтогульское водохранилище, созданное на основном истоке Сырдарьи — р. Нарыне, увеличит летний сток р. Сырдарьи за вегетационный период в маловодные годы на 4,5 млрд. м³, что позволит повысить обеспеченность поливов сельскохозяйственных культур с 75 до 90% и дополнительно оросить сотни тысяч гектаров новых земель (табл. 13).

Следует отметить, что требования, предъявляемые к зарегулированию стока, по мере роста орошаемых площадей непрерывно растут. Этим объясняется создание многих тысяч ирригационных водохранилищ в странах Ближнего Востока, Средней,

Таблица 13

Роль водохранилищ в бассейне Сырдарьи в развитии орошения

Водохранилище	Река	Прирост орошаемых земель, тыс. га	Улучшение водообеспеченности ранее орошаемых земель, тыс. га
Андижанское	Карадарья	40	400
Чарвакское	Чирчик	150	300
Чардаринское	Сырдарья	420	110
Токтогульское	Нарын	550	1340
Всего по бассейну		1160	2150

Центральной и Юго-Восточной Азии, в Австралии, Северной и Южной Африке, Южной Америке, на Юге и Западе США, а также во многих странах Юга Европы. В отдельных районах ввиду ограниченных возможностей строительства новых водохранилищ путем наращивания плотин увеличивается объем уже эксплуатируемых водохранилищ. Классическим примером в этом отношении служит Асуанская плотина на р. Нил высотой 22 м, построенная в 1902 г. (объем водохранилища составлял 0,98 км³). В 1912 г. объем водохранилища увеличен до 2,5 км³, а в 1933 г.— до 5 км³. В настоящее время объем водохранилища Насер, образованного вновь построенной плотиной высотой в 110 м, составляет 157 км³ (Воропаев, Пиязов, 1970). Намечаемое увеличение орошаемых площадей мира к 2000 г. на 200 млн. га потребует создания и реконструкции во многих странах мира нескольких тысяч водохранилищ.

ЗНАЧЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Развитие современной энергетики немыслимо без создания водохранилищ. В них нуждаются как гидравлические и гидроаккумулирующие, так тепловые и атомные электростанции.

Строительство гидроэлектростанций послужило предпосылкой и основой для решения во многих странах мира проблем, связанных с комплексным использованием водных ресурсов. Наличие крупных и практически еще мало использованных гидроэнергетических ресурсов во многих районах земного шара, значительный дефицит топливно-энергетического баланса в большинстве стран мира, ряд ценных качеств гидроэлектростанций делают экономически выгодным и энергетически целесообразным обеспечение определенного удельного веса гидроэлектростанций в развивающихся энергосистемах. Необходимость комплексного использования водных ресурсов также служит предпосылкой дальнейшего развития гидроэнерго-

строительства и создания водохранилищ (Энергетические ресурсы СССР, 1967).

Сооружение большинства гидроэлектростанций связано с созданием плотин различной высоты, что приводит к подпору рек и образованию разных по площади и объему водохранилищ. Подавляющее большинство водохранилищ осуществляют суточное и недельное, а многие — сезонное и многолетнее регулирование стока, благодаря чему гидроэлектростанциям свойственны многие ценные качества.

При использовании гидроэнергоресурсов без регулирующих водохранилищ большая часть стока сбрасывается вхолостую, поскольку установка турбин в расчете на использование максимальных расходов воды неэффективна (большую часть года большинство агрегатов простаивало бы), а при расчетах на расходы, наблюдающиеся на протяжении большей части года через турбины проходят малые расходы и мощность ГЭС невелика. В результате гидроэлектростанции без регулирующих водохранилищ имеют низкие коэффициенты использования стока, часто не превышающие 0,1—0,2, и низкую экономическую эффективность. Таким образом, неравномерность естественного стока служит второй природной предпосылкой необходимости создания водохранилищ — регулирование ими стока позволяет развить установленную и увеличивает гарантированную мощность ГЭС, общую выработку энергии и степень энергетического использования стока, что повышает хозяйственный эффект использования гидроэнергоресурсов.

Помимо природных предпосылок, вызывающих необходимость создания водохранилищ для гидроэлектростанций, нужно учитывать технические и экономические факторы. Как известно, электроэнергия потребляется неравномерно как в течение суток и недели, так и в течение года. Несовпадение во времени бытовых расходов воды в реке с графиком выдачи электроэнергии в энергосистемы может быть устранено или ослаблено только в результате перераспределения речного стока между отдельными годами, сезонами, днями недели и часами суток. При наличии выше по течению другого водохранилища сезонного или многолетнего регулирования полезный объем нижележащего водохранилища должен, как правило, обеспечивать лишь регулирование боковой приточности между этими гидроузлами.

Основное назначение гидроэлектростанций в большинстве современных энергосистем — участие в покрытии пиков суточной нагрузки. Разница максимальной и минимальной нагрузки суточного графика во всех энергосистемах с каждым годом значительно возрастает; так, в некоторых энергосистемах СССР она составляет 10—20 млн. квт. Покрытие пиков графиков нагрузки тепловыми и атомными электростанциями не всегда возможно и целесообразно по техническим и экономическим

причинам. Гидроэлектростанции быстро и легко воспринимают нагрузку. Возможный диапазон регулирования мощности гидроэлектростанций обычно близок к их полной установленной мощности.

Гидроэлектростанции, обладающие водохранилищами, выполняют также функции аварийного резерва системы. Значение мгновенного аварийного резерва в энергосистемах возрастает в связи с увеличением единичной мощности агрегатов тепловых станций и непрерывным развитием мощных линий электропередач. Резерв энергосистемы, который целесообразно разместить на ГЭС, зависит в первую очередь от удельного веса ГЭС в системе и регулирующей емкости водохранилищ. Насколько значителен общий энергетический резерв ГЭС, видно хотя бы из того, что запас воды, содержащийся в водохранилищах Волжско-Камского каскада, эквивалентен 14,4 млрд. квт·ч электроэнергии. Гидроэлектростанции, обладающие водохранилищами сезонного и многолетнего регулирования, служат энергетическим резервом, не требующим никаких дополнительных капиталовложений и эксплуатационных затрат.

Из сказанного следует, что наличие в энергосистеме гидроэлектростанций с водохранилищами создает условия для работы тепловых и атомных электростанций в оптимальных для них режимах, что дает большой хозяйственный эффект.

Многолетнее регулирование стока водохранилищами гидроэлектростанций имеет наибольшее значение для тех энергосистем, в которых преобладает гидравлическая энергия. Такие водохранилища регулируют работу не только своей гидроэлектростанции, но и других ГЭС, входящих в энергосистему.

Поскольку на реках строятся не изолированные гидроэлектростанции, а каскады ГЭС и водохранилищ, между гидроэлектростанциями, построенными в бассейне одной реки, возникают не только электрические, но и водохозяйственные связи. Создание регулирующих водохранилищ повышает гарантированную мощность и выработку не только собственной станции, но и нижерасположенных ГЭС. Так, регулирование стока р. Днепр Кременчугским водохранилищем увеличивает ежегодную выработку Днепровской ГЭС на 500 млн. квт·ч и повышает гарантированную мощность Днепровской и Каховской ГЭС более чем на 100 тыс. квт. За счет регулирования стока Камы и Волги Нижнекамским и Чебоксарским водохранилищами суммарная гарантированная мощность расположенных ниже 3-х гидроэлектростанций возрастает более чем на 100 тыс. квт, а их суммарная годовая выработка — на 700 млн. квт·ч.

Большое энергетическое значение имеет и создание водохранилищ, подпирающих снизу работающие гидроэлектростанции. Режимы работы гидроэлектростанций часто ограничиваются требованиями к режимам уровней воды нижних бьефов, предъяв-

ляемыми городами, и промышленными объектами, водным транспортом, сельским, рыбным и коммунальным хозяйством. После подпора ГЭС нижерасположенным водохранилищем эти ограничения снимаются или смягчаются, и гидроэлектростанция может в большей мере удовлетворять требования энергосистемы. В некоторых случаях ниже гидроэлектростанций создают специальные небольшие водохранилища для перерегулирования расходов по иному, неэнергетическому графику в интересах указанных отраслей хозяйства.

Наличие в энергосистемах гидроэлектростанций с регулирующими водохранилищами повышает надежность этих энергосистем в эксплуатации и делает их менее подверженными авариям. В случае же аварии энергосистемы, в которых имеются гидроэлектростанции, могут восстановить энергоснабжение быстрее, чем системы, которые располагают только тепловыми электростанциями.

Производство электроэнергии в большинстве стран мира удваивается в послевоенный период каждые 7—10 лет. Свыше 80% электроэнергии во всем мире, в том числе и в СССР, вырабатывается тепловыми и атомными электростанциями. Для их работы требуется большое количество воды для охлаждения агрегатов (в среднем 35—40 м³/с на 1 млн квт установленной мощности). Таким образом, современные тепловые электростанции на прямоточном водоснабжении мощностью 2—4 млн. квт требуют ежесекундно 70—160 м³ воды, поэтому при выборе места строительства ТЭС и АЭС важнейшее значение приобретают вопросы их водоснабжения. Естественно, что крупные тепловые электростанции или должны располагаться на берегах больших рек, водохранилищ и озер, или же требовать для своей работы создания специальных, довольно значительных водохранилищ. Создание таких водохранилищ требует больших капиталовложений, поэтому естественно стремление располагать тепловые электростанции на существующих водохранилищах и естественных озерах.

Воздействие тепловых и атомных электростанций на гидрологический и биологический режимы водохранилищ весьма многообразно. Наибольшее значение имеет повышение в водохранилищах температуры воды в результате сброса в них подогретых (иногда до 30—35°) вод после охлаждения агрегатов тепловых и атомных электростанций. Поступление таких вод, нередко сточных и загрязненных, неблагоприятно отражается на гидробиологическом состоянии, процессах самоочищения и качестве воды водохранилищ. В настоящее время в ряде стран изучаются и проверяются на практике возможности использования теплых вод для орошения сельскохозяйственных культур, водоснабжения животноводческих ферм, обогрева теплиц, для выращивания зеленых водорослей и разведения рыб в бассейновых и садковых хозяйствах.

Учитывая, что в наиболее развитых промышленных странах к 1990—2000 гг. на охлаждение тепловых электростанций будет использоваться около 10% водных ресурсов, можно представить, сколь большое хозяйственное и экологическое значение имеет использование водохранилищ для их водообеспечения.

Требования к водным ресурсам водохранилищ начинают предъявлять также гидроаккумулирующие станции (ГАЭС), строительство которых широко развернулось после второй мировой войны. В настоящее время установленная мощность ГАЭС в мире составляет десятки миллионов киловатт. Наибольшее число ГАЭС построено в США, ФРГ, Японии, Швейцарии. Имеются ГАЭС также во многих других странах; по мнению специалистов, строительство ГАЭС будет развернуто повсеместно. Предполагается, что в Японии 35% мощности всех электростанций, планируемых на ближайшие годы, придется на ГАЭС.

Большой интерес к гидроаккумулирующим станциям объясняется рядом причин. Покрытие все возрастающих пиков нагрузок гидроэлектростанциями не всегда возможно, поскольку переменный режим их работы ведет к резкому изменению режимов расходов и уровней в нижних бьефах гидроузлов, что отрицательно сказывается на использовании водных ресурсов другими участниками водохозяйственного комплекса и отрицательно влияет на качество воды, биопродуктивность водоемов и рекреационное использование рек. Покрытие же пиков нагрузок тепловыми и атомными электростанциями, как уже указывалось, нецелесообразно.

Выход из создавшегося положения специалисты многих стран видят в развитии строительства ГАЭС, которые, создавая возможность работы тепловых и атомных станций в оптимальном для них режиме, в отличие от гидроэлектростанций не требуют больших дополнительных расходов воды и поэтому, как правило, не вступают в резкие противоречия с другими отраслями водного хозяйства.

К основным элементам ГАЭС относятся два бассейна-водохранилища — верховой и низовой, расположенные на разных уровнях (разница должна быть не менее нескольких десятков метров), здание гидроэлектростанции с обратимыми агрегатами, работающими попеременно в насосном и турбинном режимах, и трубопроводы, соединяющие оба бассейна со зданием ГАЭС. В период ночных провалов нагрузок в энергетической системе энергия тепловых и атомных электростанций используется для подкачки воды из низового бассейна в верховой бассейн ГАЭС. В период же пика вода из верхового бассейна сбрасывается в низовой, и ГАЭС питает энергией энергосистему.

На большинстве эксплуатируемых ГАЭС низовые и верховые бассейны построены специально: низовой — в результате подпора реки, верховой — путем выемки и обвалования (как пра-

вала, по всему периметру бассейна). По мере развития ГАЭС и увеличения их установленной мощности (до 2 млн. квт) стали использовать в качестве низового бассейна естественные озера или водохранилища эксплуатируемых гидроэлектростанций. В Советском Союзе в настоящее время эксплуатируется Киевская и проектируется Кайшядорская ГАЭС, низовыми бассейнами которых служат соответственно водохранилища Киевской и Каунасской ГЭС.

Среди проблем, возникающих в связи с эксплуатацией ГАЭС, одно из важных мест занимает их влияние на окружающую среду, и прежде всего на низовой бассейн. Забор в течение суток десятков миллионов кубических метров воды в верховой бассейн и сброс ее снова в низовое водохранилище оказывают существенное влияние на режим уровней, течения, а следовательно, и на все гидрологические процессы в водоеме. Так, например, создание Кайшядорской ГАЭС приведет к ежесуточным колебаниям уровня Каунасского водохранилища в пределах 55—60 см, что в 2 раза превосходит максимальные колебания уровня за сутки на этом водохранилище за все время его эксплуатации. В месте сброса воды из верхового бассейна существенные изменения претерпевает режим и скорость течения. Значительная ежесуточная амплитуда колебаний уровня водоемов активизирует процессы переработки берегов, окажет влияние на условия нереста и нагула рыбы, на водную растительность, качество воды, состояние и условия использования пляжей.

Естественно, что чем крупнее водохранилище, тем меньше изменятся в нем природные условия в случае использования его в качестве низового бассейна ГАЭС. Использование же в качестве низовых бассейнов ГАЭС небольших водохранилищ и естественных озер существенно повлияет на их экосистемы и современное хозяйственное использование.

ЗНАЧЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ДЛЯ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА

Перераспределение водохранилищами речного стока во времени, а иногда и по территории нарушает сложившиеся условия существования и размножения рыб. Изменяются гидрологический, термический, гидрохимический и гидробиологический режимы, а следовательно, и условия передвижения, размножения и питания рыб.

О влиянии гидростроительства на условия воспроизводства и нагула проходных и полупроходных рыб можно судить по тем изменениям, которые произошли в рыбном хозяйстве в бассейнах ряда рек мира (Волга, Днепр, Миссисипи, Колумбия, Нил, и др.), где каскады гидроузлов или отдельные гидроузлы преградили рыбам путь к местам нереста и существенно нарушили естественные условия стока. К сожалению, существующие

методы оценки роста и снижения запасов рыб и их уловов весьма условны, а количественная оценка влияния гидростроительства на рыбное хозяйство разработана в настоящее время очень слабо.

Отдельные крупные водохранилища и особенно их каскады заметно перераспределяют сток в низовых рек между сезонами года. Сокращение длительности и уменьшение высоты половодья вызывают сокращение нерестовых площадей, несвоевременное образование полоев, пригодных для нереста, гибель икры и производителей на перестилищах, совмещение сроков и мест икрометания разных видов рыб, сокращение сроков пребывания молоди на местах откорма, в связи с чем она преждевременно скатывается с перестилищ. Отрицательные последствия зарегулирования стока водохранилищами для рыбного хозяйства особенно сильно сказываются в маловодные годы. Для сохранения стада производителей проходных рыб следует обеспечить использование перестилищ, расположенных выше плотин гидроузлов. В этом отношении большое значение имеют рыбоходы и рыбоподъемники. Большой известностью пользуются успешно работающие рыбоходы для пропуска лососевых рыб на реках Колумбия, Тулома и рыбоподъемники для осетровых на р. Волге. Эффективна также перевозка в специальных судах-рыбонакопителях производителей, скапливающихся в нижних бьефах гидроузлов.

Особого внимания заслуживает всестороннее выявление и использование положительных последствий для рыбного хозяйства создания крупных водохранилищ земного шара. Значительно увеличиваются площади водного зеркала, в связи с чем уловы рыбы в водохранилищах обычно возрастают во много раз по сравнению с уловами на этих же участках реки в бытовом состоянии. Образование водохранилищ создает условия для организации новых прогрессивных форм ведения рыбного хозяйства на внутренних водоемах с направленным формированием промыслового стада путем зарыбления водохранилищ молодью осетровых рыб, сигов, леща, судака, сазана и др., а также путем акклиматизации ценных рыб (в СССР, например, горьковская нельма, пелядь, радужная форель, толстолобик, белый амур и др.).

Располагаясь обычно в промышленных районах, большинство водохранилищ имеет важное значение для увеличения местных рыбных ресурсов, давая возможность снабжать население крупных городов живой и охлажденной рыбой. Тем самым достигается значительное высвобождение транспорта от перевозки рыбы из дальних районов морского рыболовства. Производительность труда рыбаков на водохранилищах значительно выше, чем на реках в естественном состоянии, что объясняется как созданием прочной сырьевой базы, так и высокой оснащенностью промысла высокопроизводительными орудиями лова.

Специфические условия для развития рыбного хозяйства в водохранилищах по сравнению с условиями в естественных пресных водоемах создает уровенный режим, влияние которого сказывается на нересте, зимовке и кормовой базе рыб. Рыбопродуктивность водохранилищ используется еще далеко недостаточно, и они не приобрели должного значения в снабжении населения рыбой.

Улучшение рыбного хозяйства на водохранилищах требует проведения ряда мер, на которые многие окупаются за 1 –2 года: строительство рыбоводных заводов, рыбпитомников, нерестово-выростных хозяйств[1] и организация в заливах водохранилищ товарных рыбных хозяйств для выращивания наиболее быстрорастущих рыб (карп, пелядь, рипус, нельма, чир, толстолобик, белый амур и др.). Большие перспективы сулит разведение растительноядных рыб. Для укрепления кормовой базы необходимо в широких масштабах осуществлять акклиматизацию мизид, полихет и других кормовых организмов. Необходимо также укреплять материально-техническую базу рыбной промышленности на водохранилищах.

Большие, еще не решенные задачи стоят перед наукой в изучении эффективности размножения основных видов рыб в водохранилищах, расположенных в различных природных зонах, в изучении закономерностей питания и распределения промысловых рыб, в выявлении основных факторов, определяющих эти закономерности (гидрологический, гидрохимический, гидробиологический, гидротермический режимы водохранилищ), в изучении эффективности устанавливаемых запретов и лимитов на лов рыбы, к применении различных типов орудий лова, к изучение экономики и рациональных форм организации рыбного хозяйства на водохранилищах и многие другие.

Своевременное и качественное осуществление перечисленных рыбохозяйственных мероприятий дает возможность значительно повысить рыбопродуктивность существующих и создаваемых водохранилищ.

Итак, создание водохранилищ, с одной стороны, нарушает условия воспроизводства и жизни проходных и полупроходных рыб, а с другой стороны, в ряде случаев создает благоприятные возможности для существенного увеличения ресурсов туводных рыб.

[1] Неизбежная эффективность существующих ПВХ объясняется тем, что молодь выпускают из шлюзов прямо в реки или из каналов в водохранилища. Большое количество молоди или уничтожается хищниками, или она гибнет из-за недостатка пищи. Молодь надо вывозить и диспергированно рассеивать по мелководьям водоемов (Семанов, 1969).

ЗНАЧЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ДЛЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА И ЛЕСОСПЛАВА

Относительно небольшая доля речного транспорта в общем грузообороте многих стран объясняется сезонностью его работы, несовпадением в некоторых районах внутренних водных путей с основным направлением грузопотоков, неотрегулированностью речных бассейнов, как правило, малыми глубинами на нерегулированных участках, «ступенчатостью» глубин в пределах одного и того же бассейна, наличием перекатов и порожистых участков с большими скоростями течения, неустойчивостью судовых фарватеров и другими причинами. Устранить многие из перечисленных недостатков внутренних водных путей можно лишь при строительстве гидроузлов и каналов и создании больших водохранилищ. Для речного транспорта желательнее начинать строительство гидроузлов в верховьях рек, поскольку в этих случаях водохранилища увеличивают судоходные глубины на наиболее мелководных участках рек. Иногда в интересах речного транспорта строительство гидроузлов предпочтительно начинать на том участке реки, где имеются мешающие судоходству пороги.

На приплотинных и средних участках водохранилищ глубина обычно в несколько раз превышает требуемую для обеспечения судоходства; в этих случаях судовой ход прокладывают не по руслу реки, а практически по любой трассе. За счет спрямлений длина судового хода по водохранилищам по сравнению с длиной хода по реке сокращается в среднем на 5—15%. С созданием водохранилищ в несколько раз увеличиваются ширина судового хода и радиусы закругления. Это дает возможность повысить скорость движения судов на 10—15%.

Водохранилища служат эффективным, а иногда единственным средством улучшения сети водных путей. Так, создание многих судоходных каналов стало возможным лишь в комплексе со строительством гидроузлов.

Создание водохранилищ и регулирование ими стока имеет и неблагоприятные последствия для водного транспорта; некоторые из них временные и исчезают по мере создания последующих гидроузлов и водохранилищ. Другие последствия постоянны: усиление ветрового волнения, потеря времени на шлюзование судов, уменьшение скорости движения судов вниз по течению, более ранний ледостав и более поздее освобождение водохранилищ от льда в северных районах.

Наиболее существенные осложнения работы судов связаны с усилением ветра и увеличением волны. Потери времени на проход судов через шлюзы значительны: в среднем каждое шлюзование занимает не менее 30 мин. Иногда у шлюзов образуются очереди из судов, и тогда грузовые суда, уступая место пассажирским, теряют по нескольку часов.

Длительность ледостава на продолжительность навигации часто не влияет. Наоборот, с созданием водохранилищ в некоторых районах появилась реальная возможность организации круглогодичной навигации с использованием ледоколов. Фактическая длительность навигации на водохранилищах по сравнению с ее продолжительностью до создания водохранилища не уменьшилась, эксплуатационный период при регулировании стока даже увеличился, так как осенью в бытовых условиях из-за мелководья и более интенсивного льдообразования движение судов заканчивалось значительно раньше ледостава.

Серьезные осложнения в работу речного флота вносят резкие и значительные суточные и недельные колебания расходов и уровней воды в нижних бьефах ГЭС, приводящие или к недогрузу судов, или же к нарушению графиков движения, поскольку суда простаивают в ожидании кормируемых глубин; иногда резкие посадки уровня воды приводят к авариям. Особенно велики затруднения водного транспорта из-за недельного регулирования, так как с уменьшением попусков в выходные дни резко снижаются глубины, в связи с чем невозможно в полной мере использовать повышенные попуски в остальные дни недели. Отрицательное влияние суточных и недельных колебаний расходов проявляется также в резком переформировании перекатов и быстрой заносимости судовых прорезей.

Работа водного транспорта осложняется также в период перекрытия русла и первоначального заполнения водохранилищ. Перекрытие русла вынуждает прекращать сквозное судоходство на несколько дней, недель, а иногда и на больший срок. Изъятия значительных объемов стока на первоначальное заполнение водохранилищ также затрудняют судоходство. Работу речного транспорта осложняют и отдельные нарушения уровенного режима.

Несмотря на указанные отрицательные последствия, преобразование режима рек водохранилищами в СССР в конечном счете сыграло решающую роль в развитии речного транспорта за последние десятилетия, что наглядно видно на примере Волги и Камы. Гарантируемые глубины на ранее судоходных участках Волги возросли в 1,5—2, на Каме — в 2—2,5 раза, судоходным стал участок Волги от Рыбинска до Калинина протяжением 364 км. Обеспечение достаточных и относительно единообразных глубин позволило перейти на Волге, Днепре и других реках к эксплуатации самоходных судов большей грузоподъемности вместо использовавшихся ранее барж. Внедрение теплоходов на подводных крыльях ликвидирует один из наиболее существенных недостатков речного пассажирского транспорта — тихоходность. В перспективе скорость движения этих судов повысится.

В результате преобразований режима рек водохранилищами СССР стало возможно доставлять грузы из внутренних районов

страны в ближайшие морские порты без перевалки на морские суда. Речные суда разряда «О» грузоподъемностью 2000 т и выше, а тем более суда разряда «М» с некоторыми ограничениями обычно можно использовать и для каботажного плавания, так как большую часть года высота волн на морях, омывающих берега СССР, не превышает 3 м. Уже в 1965 г. из внутренних районов СССР грузы в судах без перевалки перевозились в порты Балтийского моря (Рига, Клайпеда, Калининград), во все порты Каспия, Белого моря, а также в порты Польши, ГДР и Финляндии. Отдельные суда с лесоматериалом совершили пробные рейсы в порты Орхус (Дания) и Пирей (Греция). Опыт эксплуатации показал целесообразность расширения таких перевозок.

Строительство гидроузлов и образование водохранилищ позволили поставить на ближайший период задачу создания единой глубоководной системы внутренних водных путей европейской части СССР.

Отсюда следует, что положительные факторы создания водохранилищ для речного транспорта превосходят отрицательные. Себестоимость перевозок грузов по водохранилищам в зависимости от увеличения гарантируемых глубин по сравнению с себестоимостью перевозок по реке в естественном состоянии уменьшается в 1,5—5 раз, а капиталовложения в речной транспорт — в 1,2—3 раза.

Для хозяйства некоторых стран большое значение имеют перевозки леса по рекам. Превращение рек в каскады водохранилищ и зарегулирование их стока существенным образом изменяют условия лесосплава.

Основные положительные последствия зарегулирования стока для лесосплава заключаются в увеличении глубины и ширины судового хода и радиуса закругления, а следовательно, и сплавопропускной способности рек (в результате создания Камского водохранилища сплавопропускная способность Камы возросла вдвое); в обеспечении более постоянных уровней в период навигации; в возможности укрупнения сплоточно формировочных рейдов, что позволяет повысить механизацию и автоматизацию рейдовых работ. Большое значение для улучшения сплотки леса имеет снижение скоростей течения на притоках и местах выклинивания подпора. Зарегулирование стока приводит к ликвидации молевого сплава, при котором происходят большие потери древесины, и создает возможности для перехода на транспортировку леса в кошелях, плотах и грузовых судах, а также для вовлечения в эксплуатацию новых лесных районов благодаря образованию водных путей по рекам, бывшим непригодными для лесосплава в бытовом состоянии.

Отрицательные последствия зарегулирования стока для лесосплава заключаются в следующем: более трудные, чем прежде, ветро волновые условия сплава, сокращение длитель-

ности навигации, резкое снижение скорости движения плотов вниз по течению, сложные условия проводки и переформирования плотов при суточных и недельных колебаниях уровня воды ниже гидроэлектростанций и др.

Зарегулирование стока рек водохранилищами создает совершенно новые условия для лесосплава, учет которых при организации лесосплава по водохранилищам позволяет свести до минимума отрицательные последствия зарегулирования рек и максимально использовать положительные. Отрицательные последствия создания водохранилищ для лесосплава в Волжско-Камском бассейне были практически ликвидированы за счет создания волноустойчивых типов плотов секционной конструкции, обеспечивающей с наименьшими затратами времени проводку плотов через шлюзы гидроузлов.

По мере увеличения количества ступеней каскада возрастает в целом значение положительных последствий зарегулирования стока, а отрицательные ослабевают, так как увеличивается протяженность участков с большими единообразными глубинами и с большой шириной судового хода и более постоянными уровнями на всем протяжении сплава.

Весьма перспективна перевозка леса в судах; при этом практически полностью ликвидируется аварийность, потери древесины и засорение ею водохранилищ, что чрезвычайно важно для дальнейшего массового развития скоростного судоходства и имеет много других положительных последствий; в 5—7 раз увеличивается скорость доставки леса, создается возможность доставки леса вверх по течению и в морские порты, минуя пункты перевалки; удлиняется эксплуатационный период, значительно (в 1,5—2 раза) повышается пропускная способность шлюзов, уменьшается площадь аванпортов, отпадает необходимость в рейдах формирования плотов, в плотоубежищах; в ряде случаев отпадает необходимость в просушке леса.

Глава III

КЛАССИФИКАЦИЯ И ТИПОЛОГИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

Имеющиеся на Земле водохранилища существенно различаются по параметрам, режимным характеристикам, направлению хозяйственного использования и воздействию на природные условия. Для решения ряда вопросов проектирования, создания и эксплуатации искусственных водоемов необходимо упорядочить и систематизировать значительный объем разнообразных сведений о водохранилищах.

Классификация и типизация водохранилищ требует учета природных, технических, экологических и социальных аспектов. Решение этой задачи весьма затруднено из-за недостатка данных. Поэтому необходимым этапом решения проблемы «универсальной» классификации водохранилищ является разработка частных классификаций по отдельным критериям и оценка возможностей их объединения.

Систематизацию с четко выраженными основаниями деления (в форме числовых градаций) следует рассматривать как классификацию; термином же «типизация» целесообразно обозначать систематизацию, в которой отсутствуют количественно выраженные критерии или признаки систематизации.

Учитывая требования к формально-логическим построениям, к которым относятся и вопросы систематизации, необходимо также установить наиболее общее родовое понятие и соподчиненные понятия и дать их определения. Очевидно таким наиболее общим родовым понятием служит понятие «искусственные водные объекты», к которым и относятся водохранилища. Будем называть искусственными водными объектами водоемы и водотоки, созданные или преобразованные человеком посредством гидротехнических сооружений.

В связи с большим разнообразием искусственных водных объектов необходимо более четко определить понятие «водохранилище», так как разными авторами иногда высказывается различное понимание этого термина. Для этого прежде всего необходимо указать признаки, по которым водохранилища отличаются от других искусственных водоемов, бассейнов, резервуаров.

Среди искусственных водоемов наибольшее сходство с водохранилищами имеют проточные пруды. Главное различие между ними — размеры; как правило, пруды меньше водохранилища.

Второе различие заключается в том, что управление запасами воды водохранилищ достигается путем устройства инженерных сооружений (подъемные щиты, донные отверстия в нижней части плотин, насосные станции). Водообмен прудов в основном определяется природными факторами и лишь иногда частичным регулированием сброса воды. Однако существуют некоторые типы прудов, например рыбоводные, которые оборудованы регулирующими сооружениями и обеспечивают полное управление запасами воды.

В разных странах приняты разные количественные критерии, отличающие водохранилище от прудов. В США водохранилищем (reservoir) называется водоем, полезная регулирующая емкость которого превышает 5 тыс. акрофутов (6,167 млн. м³, Thomas, Harbeck, 1956). Водоемы, имеющие меньший полезный объем называются прудами (pond). В большинстве стран Западной Европы к водохранилищам относят водоемы емкостью более 1 млн. м³. В некоторых странах, например в Англии и Швейцарии, в списки водохранилищ включаются и бассейны, емкость которых исчисляется десятками и сотнями тысяч кубических метров; однако это делается только в тех случаях, когда такие бассейны обслуживают крупные индустриальные предприятия (например, гидроэлектростанции) или централизованные водопроводы больших городов. В сельскохозяйственных районах такие же искусственные водоемы называются прудами.

В СССР большинство специалистов относят к водохранилищам искусственные водоемы, объем которых превышает 1 млн. м³. Мнение считать главным признаком, различающим водохранилища и пруды, наличие круглогодичного стока на том водотоке, который был перегорожен плотиной, а искусственные водоемы, аккумулирующие сток временных потоков, независимо от их размеров относить к прудам, с нашей точки зрения, недостаточно обосновано. В странах с аридным климатом, например Марокко, Алжир, Тунис, южные штаты Индии, юго-западные штаты США, много водохранилищ расположено на временных потоках. Среди них имеются водохранилища годового и многолетнего регулирования.

Водохранилищами, по нашему мнению, следует считать искусственные и естественные (озерные) водоемы с замедленным водообменом объемом более 1 млн. м³, уровенный режим которых искусственно изменен и постоянно регулируется (контролируется) гидротехническими сооружениями в целях накопления и последующего хозяйственного использования запасов воды. Следует отметить, что используемые воды водохранилищ не обязательно связаны с их безвозвратным изъятием из водохранилища (рыбное хозяйство, водный транспорт, рекреация, охлаждение энергетических установок ТЭС и АЭС).

В отличие от резервуаров и бассейнов водохранилища имеют преимущественно естественные ложа и берега. Существенны отличия и в размерах. Бассейны и резервуары обычно гораздо меньше водохранилищ, хотя некоторые верховые бассейны ГАЭС с искусственным дном и берегами имеют объем в десятки миллионов кубических метров.

Важно подчеркнуть, что водохранилища можно систематизировать по многим признакам, выбирая любые качественные свойства и количественные критерии. Однако наиболее существенны именно те признаки, которые определяют основные черты природных процессов и направление хозяйственного использования этих водоемов или необходимы для понимания происходящих в них процессов.

ТИПИЗАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ ПО ОТДЕЛЬНЫМ КРИТЕРИЯМ И ПОКАЗАТЕЛЯМ

Типизация по генезису. Прежде всего в основу типизации водохранилищ может быть положен признак генезиса. Используя его, следует выделять: водохранилища в долинах рек, перегороженных плотинами (в том числе и расположенные на временных водотоках); зарегулированные озера (озера-водохранилища); наливные водохранилища, водохранилища в местах выхода грунтовых вод и в карстовых районах; водохранилища, созданные в прибрежных участках моря и эстуариях, отделенных от них дамбами (Авакян, Шарапов, 1977).

Во всем мире наибольшее количество водохранилищ расположено в долинах рек, перегороженных плотинами. Их размеры по площади колеблются от долей до нескольких тысяч квадратных километров. Среди водохранилищ, созданных в речных долинах, наибольшее по площади водохранилище Вольта, а по объему — Братское.

Водохранилища на временных водотоках (вади, уэды) чаще всего создаются в странах с аридным климатом или в районах с муссонным климатом, а также в субнивальном поясе горных стран. Небольшие водохранилища, расположенные на пересыхающих потоках, особенно многочисленны в юго-восточной части Индии (штат Мадрас). В предгорных пустынях и полупустынях Северной Африки и Аравии водохранилища нередко сооружаются в сухих руслах (вади, или уэды). В этих водохранилищах аккумулируется сток временных горных потоков. Большое количество водохранилищ этого типа расположено в Алжире и Марокко. В питании некоторых из них большую роль играют воды, образующиеся во время таяния снегов, выпадающих иногда в горах Атласа.

Водохранилища, собирающие воды тающих фирновых полей и ледников, иногда сооружаются в высокогорных долинах и цирках в пределах субнивального пояса.

Наливные водохранилища можно разделить на три основные группы: 1) питаемые из рек и водохранилищ искусственные во-

доемы в естественных, а иногда и искусственных (обвалованных) депрессиях рельефа; 2) водохранилища на каналах; 3) водоемы в низовых участках ирригационных систем, являющиеся коллекторами сбросных вод.

Наливные водохранилища чаще всего сооружаются в естественных депрессиях, куда по каналам подводятся избыточные паводковые и половодные воды; аккумулированная в них вода затем расходуется (но не всегда) для хозяйственных целей. В качестве примеров наливных ирригационных водохранилищ можно назвать Каттакурганское, Тудакульское, Кумказарское и ряд других водохранилищ, расположенных в Узбекской ССР. Они заполняют небольшие, частично обвалованные понижения рельефа.

Особую группу водоемов, связанных с эксплуатацией каналов, составляют водохранилища — коллекторы сбросных вод. Водоемы этой группы создаются ниже основных массивов орошаемых земель с целью сбора возвратных вод. В районе Северо-Крымского канала (СССР) некоторые из таких водоемов успешно используются для разведения рыбы, преимущественно карпа.

Значительное число водохранилищ создано в результате подпора и искусственного регулирования водообмена естественных озер. Обычно такое регулирование достигается устройством плотины на реке, вытекающей из проточного озера. В некоторых случаях сооружается не одна, а несколько плотин, которые позволяют направлять запасы аккумулированной воды по разным направлениям. На земном шаре имеется большое количество водохранилищ, созданных в результате зарегулирования озер. Точно их учесть трудно, потому что часто уровень небольших озер искусственно повышается невысокими плотинами, не учитываемыми Мировым регистром и другими подобными изданиями.

Преимущество зарегулированных озер перед другими группами водохранилищ заключается в том, что при незначительном подпоре и небольшой площади затопления земель можно аккумулировать большой объем воды.

К озерам-водохранилищам нами отнесены водохранилища, образованные в результате подпора озер при относительно небольшом изменении основных параметров этих естественных водоемов. С определенной долей условности можно принять, что озерами-водохранилищами следует считать водохранилища, 3/4 площади зеркала которых составляет площадь зеркала озера при среднем естественном уровне.

Среди больших озер, уровень которых поднят плотинами, прежде всего надо указать на озера Виктория в Экваториальной Африке и Байкал в СССР, а также на менее крупные озера Онтарио, Виннипег, Виннипегосис в Канаде, Онежское, Топозеро, Пяозеро, Ильмень и др. в СССР, Инари и Сайма в Финляндии и т. д.

Существует также многочисленная группа средних и небольших зарегулированных озер, полезная емкость которых позволяет обеспечивать водоснабжение, орошение, попуски воды для улучшения судоходства, а в пределах лесной зоны также попуски в период молевого сплава леса. Многие небольшие, но глубокие горные озера превращены в энергетические водохранилища в различных горных странах на всех континентах.

Кроме отдельных водохранилищ-озер, имеются системы зарегулированных озер, где сток каждого озера или группы сливающихся озер регулируется отдельными плотинами.

Нередки случаи, когда озера находятся в местности, затопляемой при сооружении водохранилища, в результате чего озеро становится составной частью акватории нового водоема — озерно-речного водохранилища. Примерами расположения большого озера в верхней части водохранилища можно назвать оз. Зайсан, Белое озеро и ряд других. Оз. Зайсан стало верхним плесом Бухтарминского водохранилища (рис. 13), а Белое озеро ныне превратилось в Белозерский плес Шекснинского водохранилища. В качестве примера, когда «поглощенное» водохранилищем озеро находится в средней части водоема, можно указать Верхнетуломское водохранилище, в состав которого входят зарегулированные Нотозеро и Тулмозеро. Некоторыми водохранилищами «поглощено» по нескольку озер; примерами могут служить Иовское, Верхневолжское, Верхнетуломское водохранилища в СССР, водохранилища Черчилл, Кетл-Рипидс и др. в Канаде, Гордон в Тасмании и др. Особенно характерным примером может служить водохранилище Черчилл на п-ве Лабрадор, созданное на водоразделе рек Гамильтон, Уайтфиш Фолс, Норт Ривер, Портидж-Крик в результате строительства нескольких десятков плотин и дамб. В акваторию водохранилища Черчилл вошли озера Мишикамо, Сангерт и др.

При заполнении водохранилища нередко затопляются пойменные озера и старицы, ставшие частями нового искусственного водоема. Они, хотя и составляют обычно ничтожную долю площади и объема нового водоема, но существенно сказываются на его биологическом режиме. Водные животные и растения таких водоемов составляют основу биофонда, из которого затем формируется бентос и планктон нового водохранилища, что важно принимать во внимание при гидробиологических исследованиях и прогнозах.

К специфической (по генезису создания) категории относятся водохранилища, питающиеся подземными водами (и частично использующие в качестве емкости подземные пустоты). В том или ином количестве подземные воды поступают в большинство водохранилищ. Но есть водохранилища, для которых этот источник главный. Часть запасов воды таких водохранилищ иногда находится в карстовых пустотах. Наиболее интересные примеры использования карстовых пустот для сохранения воды известны в Югославии (водохранилища Врла III, Кокин-Брод, каскады водохранилищ на реках Мережница и Добра).

Еще недавно считалось, что водохранилища обязательно должны принадлежать к числу внутренних, т. е. континентальных, водоемов. Однако в некоторых странах (Нидерланды, Великобритания) уже осуществлено или осуществляется устройство емкостей для хранения запасов пресной воды в частях морских бухт и дельт, отгороженных от моря плотинами. Такие водохранилища можно разделить на две группы: водохранилища в бухтах и эстуарных и водохранилища среди польдеров. В обоих случаях соленая и солоноватая вода постепенно вытесняется пресной, пригодной для технического водоснабжения.

Разработаны проекты строительства плотин и создания водохранилищ в заливах Моркам и Солуэй-Ферт на западном берегу Англии в графстве Ланкашир. Рассматривались возможности создания аналогичного водохранилища в Каркинитском заливе Черного моря (Крым), Днепровско-Бугском лимане и др.

К водохранилищам, расположенным на участках морского дна, отвоеванных у моря, относятся и водохранилища, расположенные среди польдеров, т. е. массивов земель, расположенных ниже уровня моря и защищенных дамбами от вторжения морских вод. Классический пример польдеров — Нидерланды, где создано пресное водохранилище Эйсселмер, питаемое водами Рейна.

Типизация по географическому положению. Водохранилища — объекты азональные. В зависимости от тех или иных потребностей народного хозяйства водохранилища можно создать в любой географической зоне, там где это позволяют условия рельефа и стока. Однако на особенности водного, химического и биологического режимов искусственных водоемов оказывает воздействие совокупность зональных и азональных факторов, которые необходимо учитывать при характеристике и исследовании природных особенностей этих водоемов.

При прогнозировании особенностей новых проектируемых водохранилищ и при подборе для сравнения с ними соответствующих водоемов-аналогов в первую очередь должно учитываться расположение водоемов в пределах географической зоны или высотного пояса.

Из азональных факторов самый существенный — рельеф. Водохранилище может быть создано в условиях как сильно, так и умеренно расчлененного рельефа в пределах низменностей, холмистых равнин, предгорий, плато, плоскогорий, горных долин и каньонов. Характер рельефа местности, где создается водохранилище, определяет площади затопления земель на единицу объема и напора, морфологию и морфометрию водохранилища, частично режим сработки и наполнения, влияние искусственного водоема на природную среду и, наконец, возможности комплексного или отраслевого использования.

Предложена типизация долинных водохранилищ СССР на водохранилища равнин, предгорных и плоскогорных территорий,

горных областей (Авакян, Шарапов, 1968, 1977). В работах этих авторов указаны следующие особенности выделенных типов водохранилищ.

Водохранилища равнин характеризуются следующими основными признаками: значительной площадью зеркала и площадью затопления земель на единицу объема и напора; небольшой и средней максимальной глубиной (15—25 м); небольшой и средней глубиной сработки (в пределах 2—7 м); большим изменением площади зеркала при колебаниях уровня; интенсивностью переработки берегов и подтоплением земель; комплексным, как правило, использованием, так как на большинстве равнинных территорий развито многоотраслевое хозяйство.

Водохранилища предгорных и плоскогорных областей имеют следующие отличительные особенности: большая максимальная (до 70—100 м и более) и средняя (до 35 м) глубина; большая глубина сработки (до 10—20 м); меньшая (чем на равнинах) интенсивность переработки берегов; высокие и в большинстве своем крутые берега, что затрудняет хозяйственное освоение береговой полосы; относительно большие нарушения в хозяйстве района создания, вследствие сосредоточения хозяйственных объектов в речных долинах.

Горные водохранилища характеризуются следующими признаками: сравнительно небольшой площадью акватории и небольшим затоплением земель, редко превышающим десятки квадратных километров; чаще всего большими глубинами (нередко более 100 м); очень большой глубиной сработки (до 100 м и более); небольшим изменением площади водного зеркала при сработке; отсутствием значительной переработки и подтопления берегов, сложенных водоупорными скальными породами; интенсивным заполнением наносами в связи с большой величиной твердого стока горных рек и обвальными деформациями берегов.

Уточненная классификация водохранилищ по их высотному положению с учетом климатических зон, в которых они распо-

Таблица 14

Классификация водохранилищ по высотным положениям

Типы водохранилищ	Климатические пояса				
	субтропический	умеренный		субтропический и тропический	субэкваториальный и экваториальный
		северная часть	южная часть		
Равнинные	0—200	0—500	0—700	0—1000	0—1200
Предгорные	200—500	500—1000	700—1200	1000—1500	1200—2000
Горные	Выше 500	1000—1500	1200—2000	1500—2500	2000—3000
Высокогорные	—	Выше 1500	Выше 2000	Выше 2500	Выше 3000

ложена, приводится в табл. 14 (предложена М. А. Фортунатовым).

Предлагаемая схема может рассматриваться как первое приближение. Схема составлена для водохранилищ северного полушария, но с небольшими поправками, по-видимому, пригодна для водоемов обоих полушарий.

Типизация по термическому режиму. В зависимости от географической широты, высоты над уровнем моря, глубины, конфигурации и площади зеркала водоема и климатических условий складывается сложная картина термического режима водоема. Особенно большую роль играет ветровой и волновой режимы и степень проточности водоема. Для получения хотя бы ориентировочного представления о вероятных особенностях термического режима проектируемых водохранилищ и особенностей расслоения их водной толщи приходится для сравнения пользоваться работами по классификации озер.

Наиболее распространена схема разделения водоемов земного шара на несколько типов по числу полных циркуляций водной толщи, особенностям их термического режима и расположения в различных зонах и высотных поясах, предложенная Хатчинсоном и Лоффлером в 1957 г. Согласно этой схеме водоемы замедленного водообмена делятся на голомиктические, в которых время от времени водная толща полностью перемешивается, и меромиктические, в которых отсутствуют циркуляционные процессы в пределах всей водной толщи от поверхности до дна, а также амиктические водоемы, постоянно покрытые льдом. Невозможность полного перемешивания верхнего слоя меромиктического озера (миксолимнионом) с нижним слоем (монолимнионом) объясняется повышенным содержанием в воде нижнего слоя минеральных веществ. Поэтому градиенты плотности воды в хемоклине на границе этих слоев всегда выше, чем градиенты, обусловленные различием температуры воды в разные сезоны. Меромиктические водоемы (озера, фиорды и внутренние моря) встречаются в разных районах земного шара, их распространение азональное.

Голомиктические водоемы, в свою очередь, могут быть разделены на следующие подтипы: холодные мономиктические (полное перемешивание один раз в год, в начале лета); теплые мономиктические (перемешивание один раз в год, зимой); димиктические (циркуляция два раза в год, весной и осенью, с летней и зимней стагнацией); олигомиктические (циркуляция при вторжении холодных воздушных масс, вызывающих выпадение холодных дождевых осадков); полимиктические (высокогорные водоемы в экваториальном и субэкваториальном поясах, в которых почти ежедневно в ночные часы поверхностные слои воды охлаждаются, что способствует перемешиванию водной толщи).

В некоторых водохранилищах, расположенных на границе субэкваториального и тропического поясов, например в олигомик-

тическом водохранилище Кариба, в результате бурного развития в толще воды микрофитов и ослабления процессов циркуляции образуется мощный слой воды, содержащий сероводород. Поэтому данное водохранилище сходно с меромиктическими озерами, характеризуемыми биогенным происхождением меромиксиса. При сбросе в водохранилища промышленных вод повышенной минерализации также может возникнуть временное меромиктическое расслоение, называемое искусственным меромиксисом.

В олигомиктических озерах и водохранилищах незначительные различия в температуре воды на поверхности и у дна достаточны для создания временной устойчивой стратификации. Циркуляция возникает редко и нерегулярно в периоды вторжения холодных воздушных масс и эпизодического выпадения холодных дождей.

При сравнительном изучении термического режима водохранилищ сезонного регулирования, расположенных в различных зонах, в эту схему должны быть внесены некоторые добавления. Для водохранилищ суточного и недельного регулирования данная схема мало применима, поскольку по своей проточности такие водохранилища ближе к рекам, чем к водоемам замедленного водообмена. В водохранилищах сезонного регулирования с большим или средним водообменом (таких, как Куйбышевское, Каменчугское, Иовское, Каховское, Кондозерское) создаются условия стратификации водной толщи, промежуточные между реками и озерами.

На ряде крупных водохранилищ в начале лета формируется резко выраженный слой температурного скачка, который позднее часто разрушается ветровым волнением. В конце лета и осенью в пределах большей части акватории чаще всего наблюдается гомотермическое распределение температуры. В тех водохранилищах, площадь зеркала которых невелика, а глубина и колебания уровня велики, главная причина нарушения расслоения водной толщи заключается не в ветровом перемешивании, а в сработке уровня.

Сравнительное изучение соотношений между площадью водного зеркала, полным объемом водохранилища при НПУ и мертвым объемом при УМО важно для прогнозирования свойств и особенностей новых водоемов. При сравнении необходимо учитывать и климатические особенности местности, в которой создаются водохранилища (в особенности годовой ход температуры воздуха и сведения о ветровом режиме). На основании сопоставления указанных величин возможно ориентировочно судить о вероятной степени расслоения водной толщи по температуре, содержанию в воде растворенного кислорода и о ряде показателей, определяющих особенности биологического режима водоемов.

Определенный интерес для типизации водохранилищ по географическому положению, точнее, свойствам природной среды

района создания представляют сведения о физико-географической провинции или области, об особенностях водосборной площади (рельеф, почва, растительность, хозяйственная освоенность и т. д.), характере затопленной территории (виды угодий), гидрологических характеристиках (проточность, ледовый режим, течения, особенности взвесей и грунтов и т. д.). Однако имеющихся сведений для обобщающих типизаций по земному шару явно недостаточно.

ТИПИЗАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ ПО ВАЖНЕЙШИМ ПАРАМЕТРАМ

Классификация водохранилищ по конфигурации. Конфигурация водохранилищ весьма разнообразна и варьирует от узких водоемов, вытянутых вдоль русла, до расширенных, приближающихся по форме к неправильным эллипсам, многоугольникам и различным сложным лопастным разветвленным фигурам.

Форма и многие морфометрические показатели водохранилищ непрерывно, а часто и резко изменяются в зависимости от изменений в них уровня воды. Поэтому морфометрия и морфология водохранилища, наблюдаемая при НПУ, далеко не всегда типична для большей части года. При детальном изучении водохранилищ основные морфометрические показатели должны быть определены и для различных стадий его наполнения.

В СССР предлагалась типизация водохранилищ по их конфигурации, в которой выделялись: озеровидные (расширенные), речные и сложной формы (Лифанов, 1946). В настоящее время есть предложения различать русловую и озеровидную формы водного зеркала (Жадин, 1961); речные и озерно-речные (Авакян, Шарапов, 1977). По сравнению с указанными схемами более детально выделение по конфигурации пойменных, долинных, озеровидных и водохранилищ сложной формы (Фортунатов, 1970).

Пойменные водохранилища по конфигурации сходны с реками в периоды половодья (рис. 13). В пределах большей части водохранилища бывает затоплена только пойма. В нижней, приплотинной, части затапливается часть надпойменной террасы.

Долинные водохранилища также имеют удлиненную конфигурацию. В то же время их ширина значительно превышает ширину разливов реки, на которой они созданы. В верхней части долинного водохранилища затопление ограничивается поймой, но в нижней части затопляются также надпойменные террасы. В тех местах, где бывают затоплены прилегающие низменности и впадины, нередко образуются обширные озеровидные плесы.

Озеровидные водохранилища по форме делятся на продолговатые, широкие и лопастные. Каждая из этих подгрупп, в свою очередь, может быть разделена на подгруппы третьего порядка по степени расчлененности берегов. Протяженность удлиненных

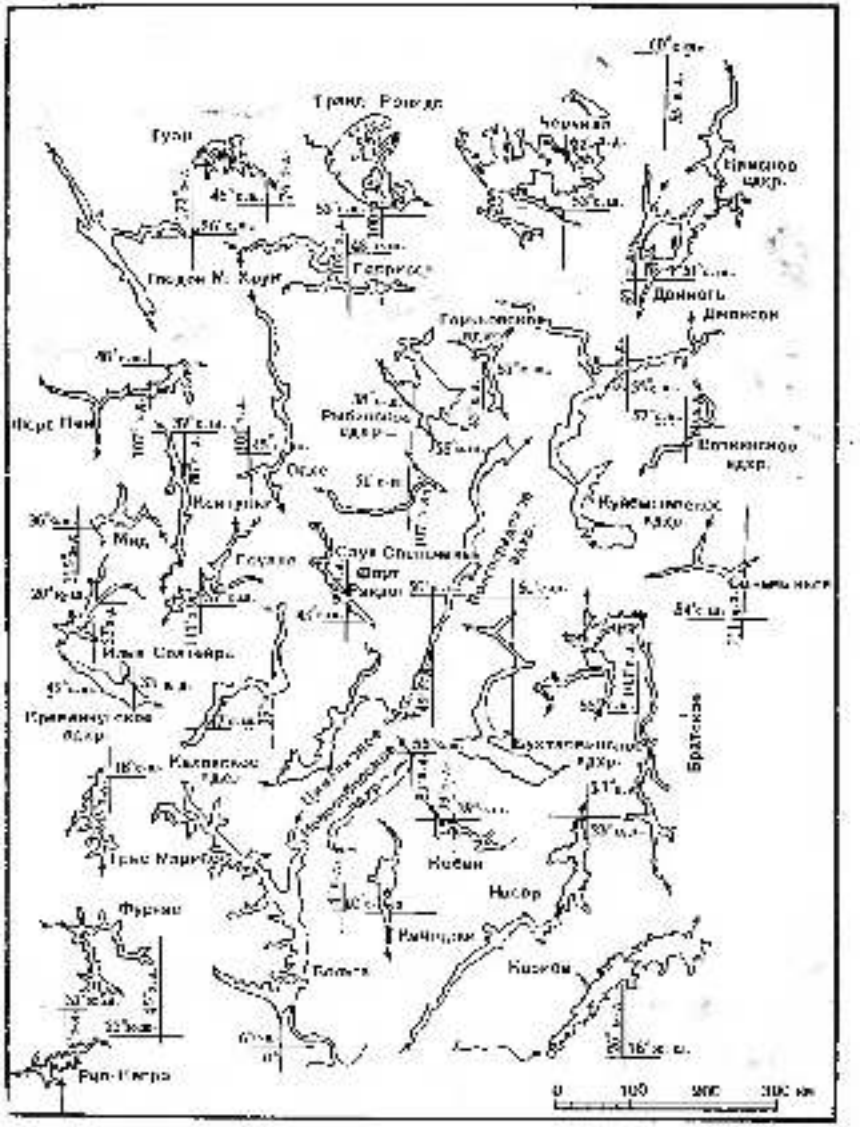


Рис. 13. Конфигурация водного зеркала ряда водохранилищ мира (Gregg, 1975). Цифрами указаны географические координаты (широта и долгота)

озеровидных водохранилищ в 3 — 10 раз больше их наибольшей ширины.

У широких озеровидных водохранилищ длина главного плеса или равна его ширине, или превышает ее не более чем в 2—2,5 раза. При заполнении таких водохранилищ затопляются не только надпойменные террасы, но также междуречья и обширные низины. Степень расчлененности плесов, извилистость береговой линии и количество островов могут сильно варьировать.

Большое количество озеровидных водохранилищ с чрезвычайно извилистой береговой линией, большим количеством островов и заливов расположено в районах, ландшафты которых сформировались под воздействием оледенений. Такие водохранилища, преимущественно зарегулированные ледниковые озера, многочисленны в Карельской АССР, в Мурманской области, Канаде и северо-западной части США.

Водохранилища сложной конфигурации делятся на несколько подгрупп. Чаще всего сложная конфигурация искусственного водоема связана с расчлененностью рельефа или разветвленной гидрографической сетью района заполнения. При подпоре до НПУ долины притоков превращаются в глубокие извилистые заливы и воронкообразные эстуарии.

Очень сложную конфигурацию имеют некоторые водохранилища с отдельными озеровидными плесами, которые соединяются не только короткими проливами, но иногда и длинными извилистыми протоками, по морфологии сходными с водохранилищами руслового и долинного типов.

К своеобразной подгруппе водохранилищ сложной конфигурации следует отнести водоемы подковообразной и вилообразной формы (см. рис. 13). Их акватория разделяется на два или более удлиненных, обычно извилистых, плеса, которые разветвляются выше основной плотины водохранилища. Площадь и длина этих плесов могут различаться в широких пределах. Иногда такие плесы располагаются почти параллельно, иногда под различными углами или расходятся дугообразно.

Классификация водохранилищ по объему и площади. Среди показателей, определяющих размеры водохранилищ, наибольшее значение имеют объем и площадь зеркала. У большинства водохранилищ как объем, так и площадь зеркала не остается постоянной, а значительно варьирует по сезонам в соответствии с режимом эксплуатации и гидрологическим режимом года. Для репрезентативности сравнения размеров различных водоемов с зарегулированным режимом их морфометрические параметры следует приводить как при нормальном подпорном уровне, так и при уровне мертвого объема. Для характеристики водного режима значительный интерес представляют также показатели средней площади и объема водохранилища в течение навигационного сезона и в тот период, когда акватории покрыты льдом.

При сопоставлении объема водохранилищ с объемами зарегулированных озер (озер-водохранилищ) необходимо помнить, что полная сравнимость здесь невозможна. В таких зарегулированных озерах, как Байкал, Онежское, Виктория и многие другие, объем исходного естественного озера в десятки и сотни раз превышает полезный объем, созданный в результате регулирования. Поэтому в данном случае приходится ограничиваться сравнением только регулируемых полезных призм (также весьма условным).

Предложено много классификаций водохранилищ по площади водного зеркала и объему (Авакян, Шарапов, 1960, 1962, 1977; Фортунатов, 1963; Макаров, Вейнерт, 1976; и др.). В настоящей книге при характеристике размеров водохранилищ мы пользуемся классификацией А. Б. Авакяна и В. А. Шарапова (1977), которая приведена в табл. 15

Таблица 15

Классификация водохранилищ по размерам

Категория водохранилищ	Полный объем, км³	Площадь водного зеркала, км²
Крупнейшие	Более 50	Более 5000
Очень крупные	50—10	5000—500
Крупные	10—1	500—100
Средние	1—0,1	100—20
Небольшие	0,1—0,01	20—2
Малые	Менее 0,01	Менее 2

Общепринятой классификации водохранилищ по глубине до настоящего времени нет; при сопоставлениях же необходимо пользоваться единообразными критериями и терминами, характеризующими также и глубину сравниваемых водоемов. С этой целью предлагается классификация, приведенная в табл. 16.

Эта схема позволяет группировать по наибольшей и по средней глубинам водохранилища различных типов, включая многие зарегулированные озера, хотя, конечно, глубочайшее в мире оз. Байкал (1620 м), подпертое плотиной Иркутской ГЭС, далеко выходит за пределы шкалы. В то же время большинство глубоких зарегулированных озер мира, таких, как Онежское (121 м), Женева (100 м) и многие другие, по глубине вполне сопоставимы с водохранилищами, образованными высокими плотинами. К 1970 г. наиболее глубокими водохранилищами мира считались Гранд-Диксанс (высота плотины 284 м) в Швейцарии и Вайонт (262 м) в Италии. В ближайшее время глубочайшим в мире станет Нурекское водохранилище в СССР, сооружаемое на р. Вахш (высота плотины 300 м).

Таблица 16

Классификация водохранилищ по глубине

Группа	Наибольшие глубины, м	Средние глубины, м
Исключительно глубокие	Более 200	Более 60
Очень глубокие	100—200	30—60
Глубокие	50—99	15—29
Средней глубины	20—49	7—14
Незначительной глубины	10—19	3—6
Мелкие	Менее 10	Менее 3

Зачастую о максимальной глубине проектируемых водохранилищ, расположенных в речных долинах, приходится приближенно судить по высоте плотин.

По характеру регулирования стока принято различать водохранилища многолетнего, сезонного, годичного, недельного и суточного регулирования. Эта типизация очевидна и не требует особых комментариев, необходимо лишь отметить, что многие водохранилища, запроектированные для многолетнего регулирования стока, по ряду причин используются практически как сезонные регуляторы стока.

Колебания уровня воды в водохранилищах относится к числу важнейших показателей их гидрологического режима. Колебание уровня естественных озер обычно не превышает долей метра и крайне редко нескольких метров. Сработка глубоких водохранилищ, расположенных в горных ущельях, вызывает колебания в десятки и сотни метров. Только в Альпах имеется более 20 водохранилищ со сработкой 100 м и более (Link, 1970).

В результате анализа данных по нескольким сотням водохранилищ мира составлена классификация водохранилищ по уровенному режиму, приведенная в табл. 17.

Классификации по показателю водообмена. Для характеристики водообмена и степени проточности водохранилищ и озер различными авторами применяются разные показатели.

Большая часть этих показателей схематически отражает истинную проточность водоемов. Одним из основных и наиболее удобных массовых показателей для характеристики емкости воды, аккумулированной в водохранилищах, можно считать осредненную водообменность. Практическое удобство этого показателя обусловливается тем, что сведения о полном объеме водохранилища (при НПУ) и об объемах воды, сбрасываемой через плотину в нижний бьеф, имеются для большого числа водоемов, расположенных в различных географических условиях. Далее (табл. 18) приводится предлагаемая нами классификация водо-

Таблица 17

Классификация водохранилищ по глубине сработки уровня

Степень колебания уровня	Амплитуда, м	Примеры
Малая	Меньше 1	Хевосноски, Белгородское, Аятское, Галичское, Саратовское, Днепровское, Ташкентское; водохранилища каналов Волга—Дон, Рейн—Майн—Дунай и др.
Небольшая	1—3	Волгоградское, Усть-Илимское, Горьковское (СССР), Лиах (Австрия)
Средняя	3—10	Рыбинское, Куйбышевское, Цимлянское, Братское, Бухтарминское, Вилюйское (СССР), Зильван (Швейцария)
Большая	11—30	Черкейское, Хантайское, Красноярское, Мингечаурское (СССР), Клонталерзее, Инсертталь (Швейцария), Тауернмозе, Зильверетта (Австрия)
Очень большая	31—100	Ахангаранское, Нурекское, Токтогульское, Чарвакское (СССР), Васснфельбурен, Мозербоден (Австрия), Гёшенеральп, Люцендро (Швейцария)
Исключительно большая	Более 100	Гранд-Дикенс, Моттэнэ (Швейцария), Тень, Розелен (Франция), Джиарское (СССР)

Таблица 18

Классификация водохранилищ по водообмену

Степень водообменности	Показатель водообменности в годах и долях года *	Примеры
Исключительно большая	Менее 0,10	Саратовское, Днепродзержинское, Киевское, Угличское (СССР), им. Франклина Рузвельта, Лейк-Миллата, Мак-Пери (США)
Очень большая	0,10—0,24	Куйбышевское, Волгоградское, Новосибирское, Каисское (СССР), Бат-Бенд (США)
Большая	0,25—0,49	Кайракумское, Кременчугское, Каховское, Черкейское (СССР), Форт-Рендл (США)
Средняя	0,50—0,99	Усть-Илимское, Саянское, Рыбинское, Красноярское (СССР)
Небольшая	1,0—1,99	Цимлянское, Мингечаурское, Токтогульское, Братское (СССР), Оаке, Поуэлл (США)
Малая	Более 2,0	Бухтарминское, Капчагайское, Кузнецкое, Веселовское, Пролетарское (СССР), Форт-Пек, Мид (США)

* Водообменность крупных водохранилищ СССР варьирует в пределах от 0,05 до 4,5 года. В США водообменность водохранилищ нередко выражают числом лет (или долей года), в течение которого происходит смена полного объема водохранилища.

хранилищ по степени водообмена, разработанная на основе сопоставления водообменности более чем 150 водохранилищ СССР и США.

Естественно, что крупные озера-водохранилища по показателям водообменности выходят за рамки приведенной классификации. Например, период смены полного объема Онежского (Верхнесвирского) водохранилища близок к 17 годам. Исключительно велик период водообмена Байкала, равный примерно 400 годам. Периоды водообмена неглубоких проточных озер близки к показателям, характерным для водохранилищ многолетнего регулирования. Некоторые авторы рекомендуют пользоваться показателем условного водообмена, который представляет отношение среднегодового поступления воды к объему самого водоема. Для водохранилищ, расположенных в аридных районах, этот показатель неудовлетворителен в связи с большими потерями воды на испарение с поверхности водного зеркала.

В водохранилищах, расположенных в зоне значительного и среднего увлажнения, различия между указанными показателями незначительны и ими можно пренебречь. При сравнении водоемов, расположенных в зоне избыточного увлажнения, с водоемами аридных областей следует обязательно пользоваться одним и тем же показателем.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКОМУ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОМУ РЕЖИМАМ

При типизации водохранилищ по химическому составу воды и особенностям химического режима водоемов прежде всего необходимо использовать существующие классификации поверхностных вод суши по количеству растворенных в них минеральных веществ, соотношению между главными группами ионов, особенностям газового режима, качественной и количественной характеристике находящегося в воде органического вещества.

В СССР распространена классификация природных вод по их минерализации, согласно которой природные воды делятся на следующие четыре группы (Алекин, 1952): пресные — до 1,0; солоноватые — 1 — 25; с морской соленостью — 25 — 50; рассолы — выше 50 г/л.

Как правило, при изучении водохранилищ приходится иметь дело только с пресными и слабосолоноватыми водами. Однако в заливах водохранилищ многолетнего регулирования, расположенных в аридных областях, концентрация растворенных минеральных веществ временами может приближаться к солености воды в немного опресненных внутренних морях.

По классификации О. А. Алекина (1952), воды суши по преобладающим анионам делятся на три основных класса: гидрокарбонатные ($HCO_3 + CO_3$); сульфатные (SO_4^{2-}) и хлоридные (Cl^-). Каждый класс разделяется на типы по преобладающему катиону. На основании сочетаний и соотношения содержания основных ионов в итоге выделяется 27 видов вод, каждый из которых характеризуется специфическими свойствами, происхождением и распространением.

Гидрокарбонатный класс типичен для водохранилищ лесной зоны и лесостепи, сульфатный — для южной части лесостепи и степной зоны, хлоридный и хлоридно-сульфатный — для зоны полупустыни. Гидрохимический режим отдельных звеньев каскада водохранилищ формируется при взаимодействии зональных, азональных и интразональных факторов (Фортунатов, 1970). Среди типичных примеров интразонального процесса при формировании гидрохимического режима водохранилищ, входящих в систему транзитного каскада, можно привести внедрение вод из пределов лесной зоны в смежную зону лесостепи, а далее в зоны степи и полупустыни (водохранилища Волжско-Камского и Днепровского каскадов в СССР).

Важность сравнительной характеристики количества и состава растворенных в воде органических веществ для типизации и районировки водоемов отмечалась многими авторами. Однако вопросы оценки содержания органических веществ в природных водах относятся к числу методически сложных, так как в природных водах присутствуют органические вещества различного происхождения и в различной форме: растворенной, коллоидной, взвесей, комплексных соединений. Наиболее распространенный способ оценки содержания органики — определение величины окисляемости — бихроматной и перманганатной. Однако массовые определения окисляемости вод водохранилищ, расположенных в различных природных зонах, пока недостаточны для классификации водохранилищ по этому показателю. Отметим, что хотя и косвенным, но важным показателем, характеризующим органические гуминовые вещества, могут служить достаточно простые и давно определяемые показатели цвета и степени окрашенности.

Для классификации водохранилищ по степени окрашенности воды может быть использована шкала, (Фортунатов, 1959б), разработанная на примере водохранилищ Волжского каскада:

Группа	Степень окрашенности	Цветность, градусы
1	Почти неокрашенные	менее 20
2	Слабоокрашенные	20—39
3	Среднеокрашенные	40—59
4	Интенсивно-окрашенные	60—99
5	Темноокрашенные	100—200
6	Исключительно темноокрашенные	более 200

1279—2

Повышенная цветность — один из наиболее трудно устранимых недостатков воды при ее использовании для централизованного водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий. В СССР по государственному стандарту (ГОСТ 2874 — 54) окрашенность воды в водопроводных сетях городов и индустриальных поселков не должна превышать 20 градусов цветности. Величина окрашенности воды принадлежит к числу признаков, характерных для отдельных географических зон и ландшафтных условий бассейна водосбора. Из-за отсутствия расчетных методов прогноза судить о вероятности окрашенности проектируемого водохранилища можно путем сравнения с соответствующим водоемом аналогом.

Для зоны тундры и большей части лесной зоны характерны воды средней, повышенной и интенсивной окрашенности. В тех случаях, когда бассейны питания сильно заболочены, дренирующие их реки нередко вносят в водохранилища воды цветностью 100—150 градусов.

Классификация по трофности и сапробности. В условиях усиливающегося антропогенного воздействия на водоемы большую практическую важность приобретают вопросы классификации и типизации водохранилищ по характеру и степени этого воздействия. В этом направлении может быть использован ряд показателей (критериев) и прежде всего так называемый критерий трофности. Это понятие, сформулированное, как известно, Тинеманом еще в начале века, значительно трансформировалось относительно своего первоначального смысла и трактуется ныне шире, чем понятие «кормность». В современных условиях евтрофикация водоемов рассматривается как процесс нарушения лимнической экосистемы. Подробное рассмотрение этого вопроса выходит за рамки данного раздела монографии, здесь лишь отметим, что необходимо различать: дистрофные, олиготрофные, мезотрофные, евтрофные и гиперевтрофные водохранилища.

В основу типизации водохранилищ может быть также положен показатель сапробности, устанавливаемый по характерному видовому составу живого населения вод, в соответствии с которым выделяются олигосапробные, α- и β-мезосапробные и полисапробные водохранилища.

Подобная типизация также представляет интерес для проектирования и эксплуатации водоснабженческих и рекреационных водохранилищ.

В заключение кратко остановимся на вопросе типизации водохранилищ как природных комплексов по стадиям их развития. Водохранилища по сравнению с озерами более динамичные объекты. Большая часть взвесей, непрерывно поступающих с притоком, задерживается в чаше водохранилища (заиление); возникают интенсивные процессы формирования берегов нового водоема.

Развитие динамических процессов вызывает в конечном итоге «эволюцию водохранилищ», которая проходит неодинаково в разных природных условиях, определяющих скорость протекания физико-химических, биологических и биохимических реакций, а также интенсивность развития ряда геофизических и геодинамических процессов. Велика в эволюции водохранилищ и роль антропогенного фактора.

В основном изучение динамики водохранилищ как природных комплексов проводилось в двух направлениях: биологическом (эволюция экосистем водохранилищ) и геодинамическом, геоморфологическом (формирование ложа и берегов).

Биологическим аспектом «созревания» и «старения» водохранилищ посвящены многочисленные работы. Установлено, что в развитии большинства водохранилищ, созданных на равнинных реках, довольно четко проявляются три фазы: первая — вспышки трофии, вторая — трофической депрессии и третья — нового постепенного повышения трофии. Вносят свои, к нередко весьма значительные, коррективы в эту схему антропогенная евтрофикация водохранилищ, в процессе которой в водоемы поступают избыточные количества биогенных веществ. Экосистемы евтрофированных водохранилищ при условии достаточного количества внешней тепловой энергии (солнце, сбросы тепловых и атомных станций) продуцируют огромное количество органического вещества. Однако полезная для человека биопродуктивность экосистем таких водохранилищ невелика и составляет доли процента.

Можно также типизировать водохранилища по **признаку их эволюции (динамики)** на основе интенсивности проявления и развития геодинамических процессов (переработка берегов, подтопление, формирование ложа, развитие оползней, обрушение больших масс пород в результате просадок и т. д.). Развитие этих геодинамических процессов происходит в результате взаимодействия зональных (сток, климат) и азональных (рельеф, состав пород ложа и берегов) факторов. Большое, а в ряде случаев и определяющее влияние на интенсивность проявления геодинамических процессов на водохранилищах оказывают антропогенные факторы, и прежде всего режим эксплуатации.

Можно привести немало примеров, когда изменение режима сработки водохранилищ нарушало сложившееся относительное равновесие и активизировало геодинамические процессы. Более подробно все эти вопросы рассмотрены в гл. IV. Здесь лишь укажем, что с учетом развития геодинамических процессов в районах искусственных водоемов можно выделить следующие типы водохранилищ.

1. Геодинамически активные, «молодые» водохранилища, на которых наблюдаются активные геодинамические процессы (обычно до 8 — 10 лет после создания).

2. Геодинамически неустойчивые водохранилища, на которых наблюдаются циклически сменяющиеся стадии активизации и относительной стабилизации геодинамических процессов (обычно до 30 — 50 лет).

3. Геодинамически стабилизирующиеся водохранилища, на которых геодинамические процессы носят почти устанавливший-ся характер (при нормальном режиме эксплуатации эта стадия наступает через несколько десятилетий после создания).

4. Геодинамически зрелые водохранилища, заполняющиеся наносами, со сформировавшейся береговой линией.

О ТИПОЛОГИИ ВОДОХРАНИЛИЩ

Ранее были рассмотрены вопросы систематизации (типизация и классификация) водохранилищ по наиболее важным показателям и признакам, общее число которых приближается к двум десяткам. Мы стремились показать, что систематизация водохранилищ по тому или иному признаку почти всегда имеет отраслевое научно-прикладное значение, определяемое прежде всего поставленными задачами (проектирование, эксплуатация, прогноз).

Однако важно рассмотреть и оценить возможности систематизации водохранилищ для комплексного изучения этих объектов, полно учитывающего различные природные и хозяйственные, режимные и динамические аспекты искусственных объектов как элементов природной и техногенной среды. Комплексное, взаимосвязанное рассмотрение указанных аспектов должно лежать в основе выделения основных типов водохранилищ как хозяйственно-географических (или антропогенно регулируемых объектов).

Прежде всего следует уточнить смысл понятия «типология водохранилищ», так как этим термином обычно называют усложненные, разветвленные (гетерогенные) типизации водохранилищ, что с нашей точки зрения не совсем верно отражает суть проблемы. В соответствии с определением общего термина «типология» будем называть «типологией водохранилищ» систематизацию искусственных водоемов по общности (совокупности) их важнейших признаков.

Из материалов предыдущих разделов этой главы следует, что совокупность признаков, положенных в основу типологии водохранилищ, может быть достаточно обширной. Однако она не должна быть чрезмерной, так как в противном случае типологической системой будет трудно пользоваться вследствие чрезвычайной ее громоздкости и сложности, так как мы имеем дело с большим разветвлением признаков на каждой последующей ступени «типологического деления». В типологических построениях, если быть до конца логичными и последовательными, придется принимать во внимание множество признаков, характе-

ризующих водохранилище как природный комплекс, экосистему (биогидроценоз), вместилище водного ресурса определенного качества, хозяйственный объект.

Ясно, что построение такой всеобъемлющей (универсальной) многомерной классификации водохранилищ дело весьма трудное, так как при этом приходится вместе сводить и учитывать такие разнородные аспекты, как природные, технические, экологические и социальные. Очевидно также, что подробные всеобъемлющие классификации, скорее всего, будут искусственными и несколько условными и сама по себе сложность их построения еще не гарантирует прикладной и научной ценности, даже если формально выдержаны логические требования.

Заметим также, что может быть создана не одна, а несколько схем «типологии», которые с формально логических позиций не будут иметь серьезных изъянов, так как основным условием корректности проведения этих построений является, как известно, соблюдение двух правил. Первое из них заключается в корректном делении объема понятий или признаков, а второе — в применении на каждой ступени типизации одних и тех же (по всему горизонтальному ряду) критериев. Предельным случаем развития таких разветвленных схем типизации является «дерево» целей, на каждом уровне которого рассматриваются все логически возможные варианты, а на конечной ступени деления их может быть достаточно много, в нашем случае многие сотни типов водохранилищ.

Таким образом, трудности в разработке исчерпывающей типологии водохранилищ достаточно велики. Возможный выход из создавшегося положения видится в двух направлениях. Первый заключается в создании отраслевых типологий водохранилищ (физико-географических, гидрологических, биологических), а второй — в разработке «паспортной карточки» водохранилищ по важнейшим признакам, которые можно было бы унифицировать, наносить на перфокарты и обрабатывать на ЭВМ.

Второй путь в сложившейся ситуации, учитывая недостаточность информации по водохранилищам в глобальном аспекте (по всему миру), представляется более перспективным, так как он позволит организовать сбор и обработку информации по водохранилищам мира в соответствии с современными требованиями. Во-вторых, разработка подробных типологических таблиц по водохранилищам мира и создание их картотеки будут иметь важнейшее прикладное значение при решении вопросов проектирования, эксплуатации и прогноза динамики водохранилищ. Наконец, накопление такого рода систематизированных данных в конечном итоге будет способствовать обоснованию и разработке как отраслевых, так и универсальных (многомерных) типологий водохранилищ.

Глава IV

ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФИИ ТЕРРИТОРИЙ

Прежде чем характеризовать изменения природной среды в результате создания водохранилищ, следует отметить, что научно-техническая литература по этой проблеме в большинстве стран, в общем, бедна. По отдельным регионам и элементам природной среды и по некоторым водохранилищам такие исследования ведутся, но они большей частью узко специальны. Например, подробно исследовались на ряде водохранилищ США и Индии заиление (Varshney, 1970; и др.), на водохранилищах Африки — изменения санитарно-гигиенических условий жизни людей (Man-Made Lakes, 1966; Man-Made Lakes, 1975; и др.), термический режим водохранилищ и др.

Уровень и масштабы исследований по этой проблеме в Советском Союзе объективно по большинству аспектов выше, о чем свидетельствует, в частности, большое количество научных работ (перечень основных из них приведен в работе В. С. Сметанича (1974)), в том числе ряд монографических обобщающих работ (Авакян, Шарапов, 1962, 1968, 1977 и др., Кибальчич, 1965; Печеркин, 1966, 1969; Румянцев, 1966; Буторин, 1969; Вендров, 1970; Влияние водохранилищ лесной зоны, 1970; Инженерно-географические проблемы..., 1972; Минеронка, Хоситашвили, 1974; Дьяконов, 1975; Россинский, 1975; Финаров, 1974; Широков, 1974; и др.) и работ по комплексной характеристике крупных водохранилищ (Водохранилище Воткинской ГЭС..., 1968; Комплексные исследования водохранилищ, 1971; Киевское водохранилище, 1972; Рыбинское водохранилище..., 1972; Бейром и др., 1973). В зарубежной научной литературе известны лишь несколько работ близкого типа (Man-Made Lakes, 1966, 1973; Dams in Africa, 1968; Man-Made Lakes. Planning..., 1969; Man-Made Lakes as..., 1972, ICOLD..., 1973; Man-Made Lakes..., 1975). Поэтому приводимые данные о влиянии водохранилищ по отдельным аспектам имеют фрагментарный характер.

Водохозяйственное строительство влечет за собой изменение природных условий и процессов на обширных территориях. Характер проявления изменений весьма разнообразен в силу многогранности воздействия водохранилищ на природную среду.

Изменения природной среды проявляются по-разному на прилегающих к водохранилищу территориях и в зонах их гидрологического и водохозяйственного влияния. Представляется целесообразным выделить следующие районы воздействия водохозяйственного строительства на природную среду: а) район самого водохранилища (его чаша и прилегающие территории); б) район влияния регулирования водохранилищем жидкого и твердого стоков реки в речной долине ниже гидроузла (в нижнем бьефе), включая дельту реки и прилегающую к ней часть моря или озера; в) район изъятия стока из реки с подразделением на подрайон обезвоживания вследствие отвода воды из водохранилища в деривационные каналы или туннели ГЭС (обычно ограниченного по длине, поскольку использованная вода на некотором расстоянии ниже плотины возвращается в ту же реку) и подрайон уменьшения стока в результате безвозвратного изъятия воды из водохранилища для переброски в другой речной бассейн; г) район влияния дополнительного стока на водохранилища (орошаемые массивы, обводняемые реки и т. п.).

Изменение природных процессов в верхних бьефах гидроузлов определяется в основном размерами и режимом эксплуатации водохранилища, его конфигурацией, морфологией ложа и берегов и составом слагающих их пород. Характер и глубина изменений природных условий в долине реки ниже гидроузла в основном зависят от вида регулирования стока. В районах изъятия и уменьшения стока изменения природной среды определяются в первую очередь величиной и режимом изъятия стока, наличием боковой проточности на затрагиваемом участке реки и физико-географическими условиями долины.

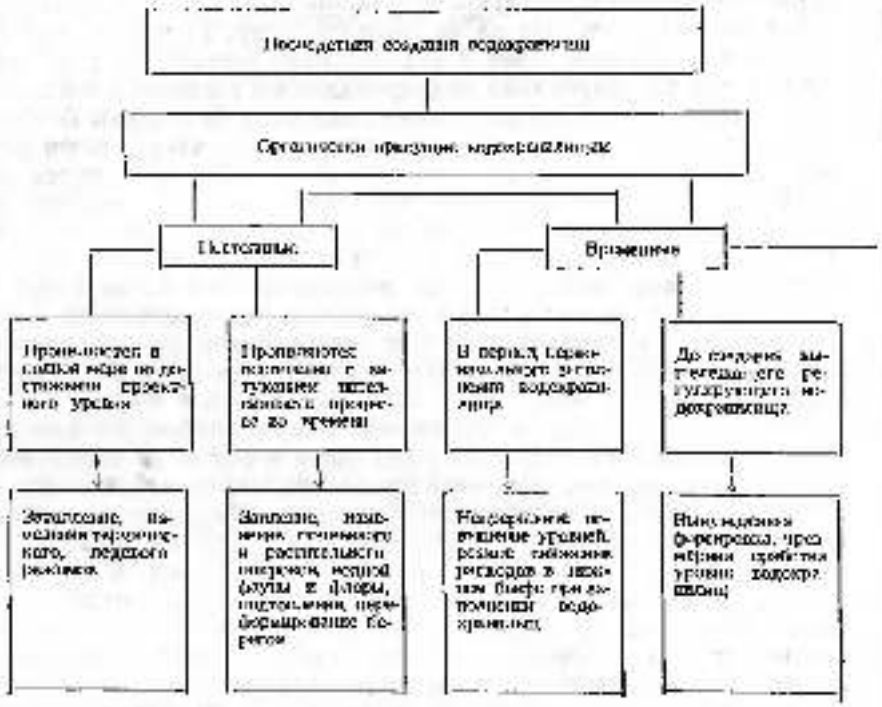
Сложность и многообразие воздействия водохранилищ на природную среду отмечают многие исследователи (Авакян, Шарапов, 1968, 1977; Вендров, 1970; Мятарзин, 1971; Широков, 1974; Вендров, Дьяконов, 1976; Fels, 1965, 1967; Töndury, 1969; Link, 1970; Darrell, 1971; Trefethen, 1972; Cherel, 1973; Duthie, Ostrofsky, 1975; Chadwick, 1976). Это воздействие может быть постоянным и временным, положительным или нежелательным (схема 2).

В результате создания водохранилищ изменяется, иногда весьма существенно, гидрография районов, в том числе соотношение между площадью суши и акватории (озерность), рисунок гидрографической сети и т. п.

Если не учитывать таких гигантских озер, как Каспийское, Аральское, Великие Американские озера и Великие Африканские озера, то можно утверждать, что создание водохранилищ существенно увеличило озерность СССР, США, а также Африки и Южной Америки. Для примера можно привести европейскую часть СССР, где площадь водохранилищ увеличилась с 20-х годов этого века на 50 тыс. км², что равносильно появлению здесь примерно пяти таких озер, как Онежское. Существенно возросла

Схема 2

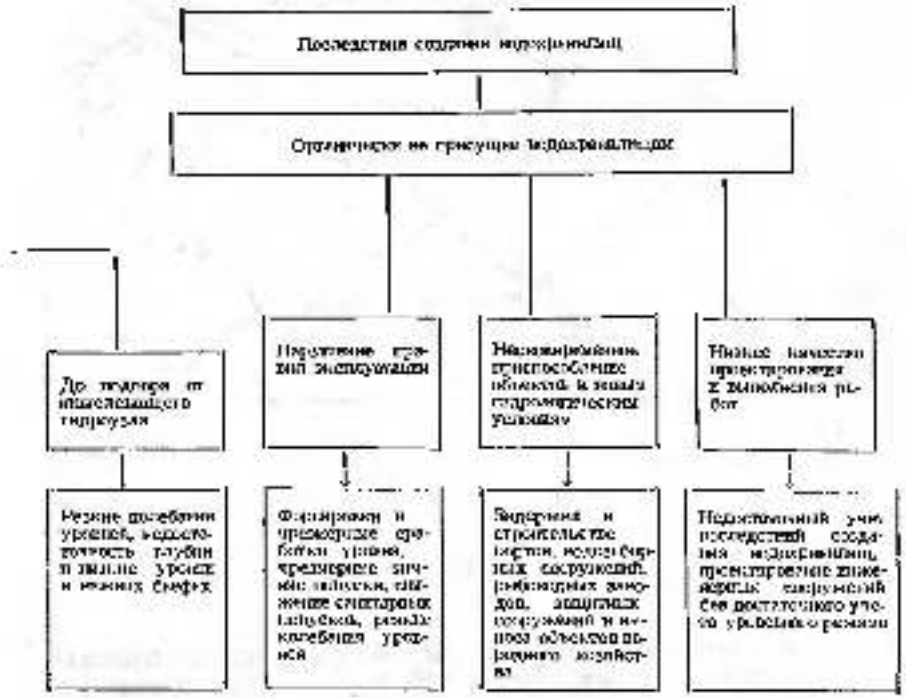
Классификация последствий создания водохранилищ
(по А. Б. Авакяну)



озерность США, где площадь водохранилищ увеличилась за последние 60 лет с 9,7 тыс. до 50,0 тыс. км², а также таких государств, как Гана (после создания водохранилища Вольта она превышает 3,5%), Нигерия, Замбия, Южная Родезия, Египет, Ирак, Иран, Индия, ЮАР, Мексика, Бразилия и др. В регионах меньшего размера, например в отдельных районах государств, озерность территории в результате создания водохранилищ увеличивается иногда в несколько раз, например в пределах Подмосковья она увеличилась в 7 раз.

Следует особо отметить, что в аридной зоне (страны Северной и Южной Африки, Западной и Центральной Азии, Австралии, некоторые районы Америки, Средняя Азия) водохранилища — практически единственные постоянные пресноводные водоемы, так как вода имеющихся здесь озер, как правило, соленая или солоноватая, а большинство рек (кроме транзитных рек типа Нила, Нигера, Тигра, Евфрата, Амударьи и значительных местных рек) в сухие периоды обычно пересыхают.

Значительно увеличивается фонд пресноводных озеровидных водоемов также и в странах с более влажным климатом и густой



гидрографической сетью. Например, в Альпах, на территории Швейцарии, Австрии и части территории Франции, ФРГ, Италии и Югославии, значительно увеличилась озерность высоко- и среднегорных районов; по данным Линка (Link, 1970), в Альпах к 1970 г. создано 322 водохранилища общей площадью почти 600 км², что равноценно площади самого крупного в Альпах Женевского озера; примерно половина этой площади появилась в результате затопления территории (остальное приходится на площадь естественных озер, оказавшихся в подпоре).

Создание водохранилищ приводит прежде всего к изменению водных поверхностей на месте территорий, покрытых лесами, лугами, пашнями, болотами и другими угодьями, что кардинальным образом изменяет гидрографию района. Образующиеся искусственные водоемы по параметрам сопоставимы с многими крупнейшими озерами, не говоря о том, что некоторые из них (Байкал, Онежское, Зайсан, Онтарио, Виктория и др.) превратились в водохранилища. Сравнение данных о максимальных параметрах водохранилищ мира (см. Приложение) показывает, что длина больших водохранилищ достигает многих сотен кило-

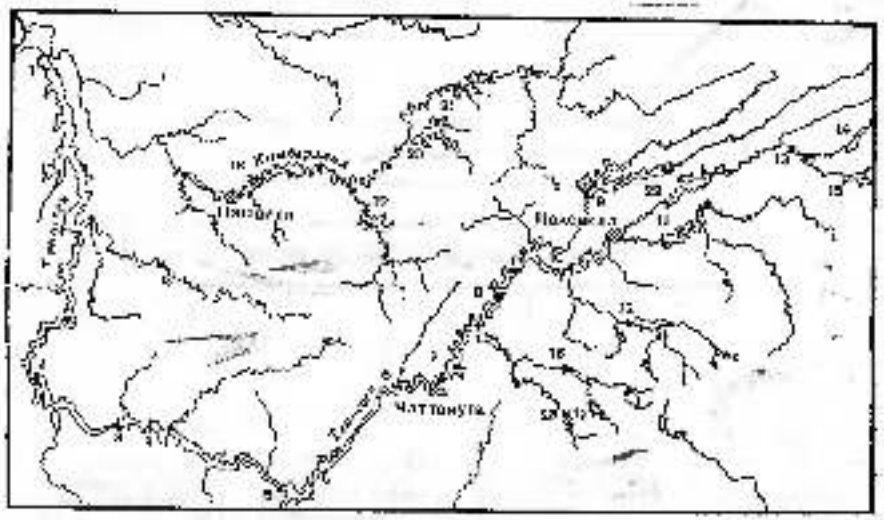


Рис. 14. Система водохранилищ в бассейнах рек Теннесси и Камберленд (Man-Made Lakes, 1973)

Водохранилища: *1* — Кентукки; *2* — Пикуик-Лэндинг; *3* — Уилсон; *4* — Уилер; *5* — Гантерсвилл; *6* — Хейлс Бар; *7* — Чикамога; *8* — Уотс-Бар; *9* — Норрис; *10* — Форт-Лоудон; *11* — Дуглас; *12* — Фонтана; *13* — Бун; *14* — Саут Холстон; *15* — Уотога; *16* — Ашфилдинг; *17* — Нотли; *18* — Камберленд; *19* — Сентер-Хилл; *20* — Дейл Холлоу; *21* — Вольф Крик; *22* — Черокн; *23* — Блу-Ридж

метров, максимальная ширина — 20—40 км и более, площадь водного зеркала — многих тысяч, а по крупным озерам водохранилищам — десятков тысяч квадратных километров. При этом по всем показателям на первых местах оказываются в несколько различной последовательности одни и те же водохранилища; исключение составляют показатели максимальной и средней глубины, по которым на первых десятках мест находятся в основном относительно небольшие горные водохранилища, образованные высокими плотинами в узких долинах.

Большие водохранилища, со значительной акваторией и значительным объемом воды, уровень которой поднят плотиной на десятки, а иногда и на сотни метров по сравнению с естественным уровнем, приводят к значительному преобразованию гидрографии прилегающих к реке территорий. Особенно велики изменения при создании каскадов водохранилищ (непрерывных или с разрывами) или систем водохранилищ на главной реке и ее крупных притоках, не образующих каскадов, но значительно преобразующих сток реки. Примерами непрерывных каскадов могут служить каскады на Волге, Днепре, Нижнем Выге, Конде, Везере, Майне, Рейне выше Цюриха, Влтаве, Теннесси (рис. 14), Колумбии (рис. 15) и ряде других рек. Примерами каскадов с неподдержанными участками реки между некоторыми водохрани-

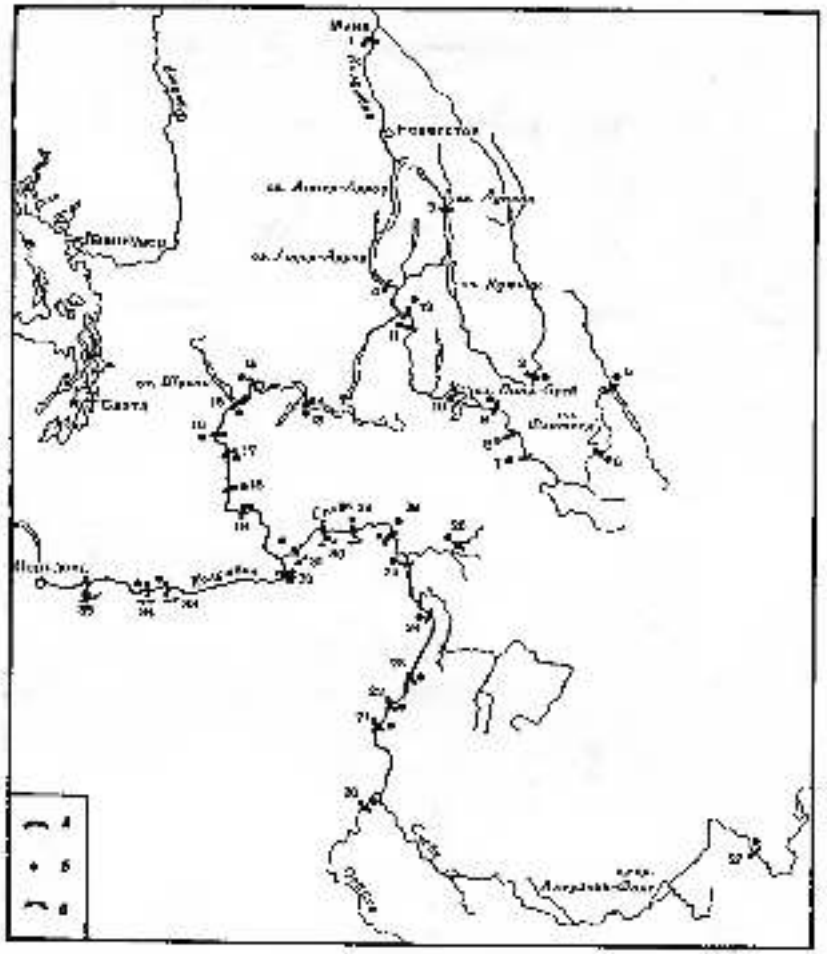
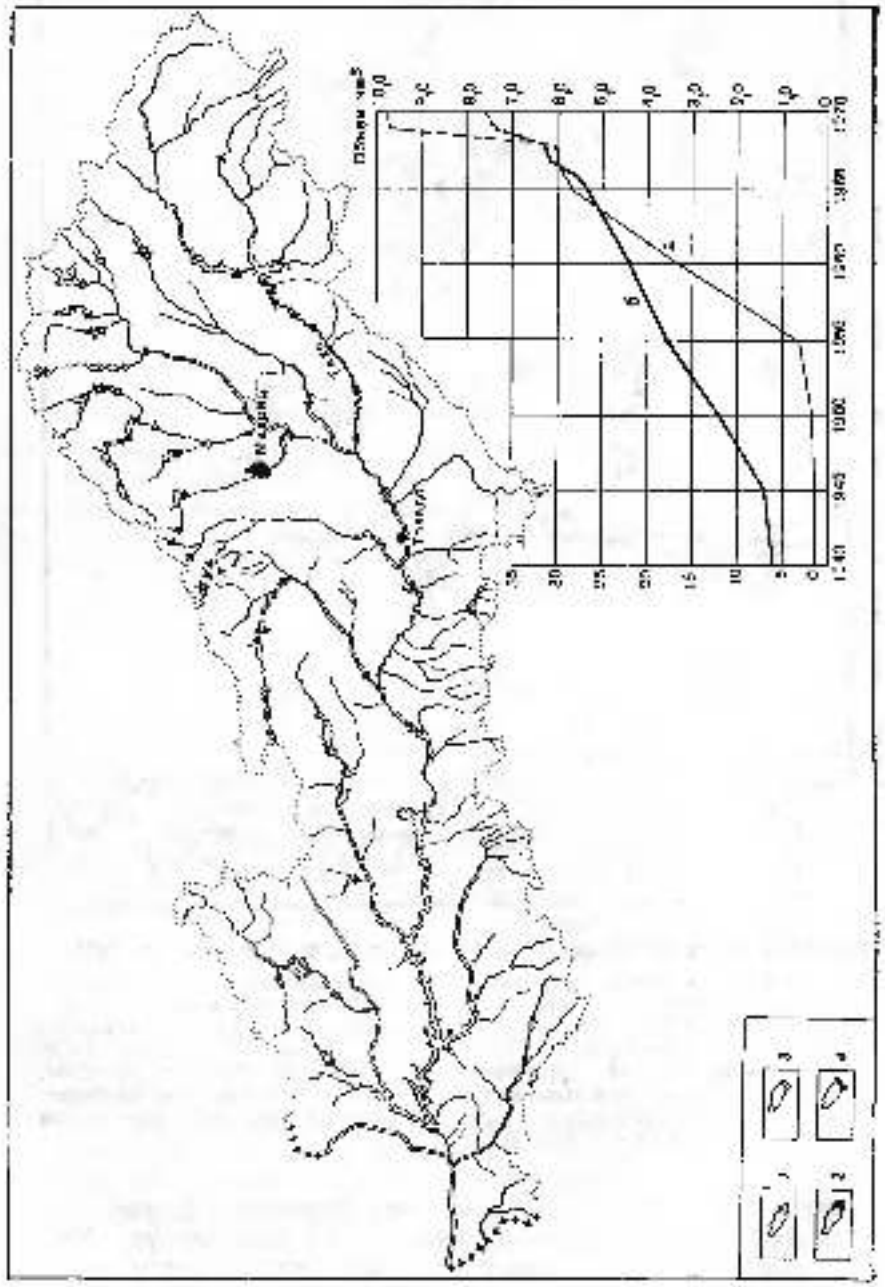


Рис. 15. Система водохранилищ в бассейне р. Колумбии (Gregg, 1974)

А — плотины; *Б* — гидроэлектростанции; *В* — судоходные шлюзы. Водохранилища: *1* — Мика; *2* — Либби; *3* — Дункан; *4* — Арроу; *5* — Хангри-Хорс; *6* — Керр (Флэтхед); *7* — Ревлд Бенд; *8* — Ностор Рэпидс; *9* — Кабинет Горж; *10* — Пенд Орей; *11* — Бедлдори; *12* — Пшеть; *13* — Гранд Кули; *14* — Чиф-Джозеф; *15* — Шилан; *16* — Рок-Айленд; *17* — Рок-Айленд; *18* — Уэнэтчи; *19* — Прест-Рапидс; *20* — Свайхи; *21* — Брауни; *22* — Оксбоу; *23* — Хелз Кэньон; *24* — Хай Маунтин Шип; *25* — Ачелни; *26* — Дворшэк; *27* — Пэлоуз; *28* — Лоуэр Гранит; *29* — Литл-Гуз; *30* — Лоуэр Монументал; *31* — Эйс-Харбор; *32* — Мак-Нари; *33* — Лонсп-Дей; *34* — Те-Дэлс; *35* — Бенкнд

Цами могут служить каскады на Сырдарье, Дунае, Тахо (рис. 16), Дуэро, Евфрате, Оранжевой, Спейе, Миссури, Колорадо, Гриджальве, Рио-Гранде, Сан-Франсиску, Тигре и др. Системы же отдельных регулирующих водохранилищ имеются на многих реках земного шара.



Как видно по данным табл. 19, протяженность ряда каскадов водохранилищ достигает многих сотен и даже 2—3 тыс. км, а если включить зоны влияния зарегулированного стока в нижних бьефах — еще больше. Так, протяженность Волжского каскада составляет около 3 тыс. км, а с учетом Волго-Ахтубинской поймы и дельты — 3,5 тыс. км. Протяженность каскада на реках Колумбия, Миссури, Колорадо, Теннесси превышает 1000 км.

Строительство отдельных водохранилищ и переброска стока из них в другие речные бассейны также нередко вызывают существенные изменения гидрографии районов (рис. 17). Изменения в гидрографию многих горных районов мира вносят также строительство деривационных гидроэлектростанций, поскольку, кроме создания водохранилищ, оно приводит к отводу стока рек в соседние бассейны (иногда через главные водоразделы), к прекращению или резкому уменьшению стока на участках рек ниже места отбора воды. Кроме того, перехватывается и отводится в одно водохранилище или деривацию сток многих горных ручьев. Примерами могут служить горные части бассейнов таких рек, как Тисса, Кубань, Рионн, Аракс, Рона, Рейн, По, Муррей, Сакраменто, Делавэр, Рио-Негро и т. д.

Весьма существенные изменения в гидрографии происходят в результате создания водохранилищ, предназначенных для переброски части стока из одной реки в другую для орошения земель, водоснабжения, создания речных путей. Так, канал им. Москвы, реки Москва и Ока ниже Коломны стали фактически рукавом Волги с существенно увеличившимся стоком по сравнению с естественным. Значительно изменилась гидрография Северного Кавказа и Нижнего Поволжья в результате переброски части стока Кубани в реки Егорлык и Калаус, строительства каналов, водохранилищ в бассейне Кубани и др. Местные переброски речного стока осуществляются в ряде речных бассейнов Испании, Франции, ФРГ, США, Канады, Мексики, Бразилии, Аргентины, ЮАР и т. д. Так, качественно изменился гидрографический облик п-ва Лабрадор в Канаде в результате создания большого числа водохранилищ, объединивших по нескольку естественных озер, строительства соединительных и деривационных каналов и т. д. (рис. 17); аналогичные изменения гидрографии можно наблюдать в Швеции, Норвегии и на северо-западе СССР.

В результате строительства водохранилищ, каналов, водопроводов и других гидротехнических сооружений прежде изолиро-

Рис. 16. Схема каскада водохранилищ на р. Таго (Obras realizadas, 1969)

Водохранилища государственные: *1* — проектируемые; *2* — существующие и строящиеся. Водохранилища частных компаний: *3* — проектируемые; *4* — существующие и строящиеся. На графике — динамика роста за период 1890—1968 гг.: *а* — объема водохранилищ и *б* — мощности водохранилищ

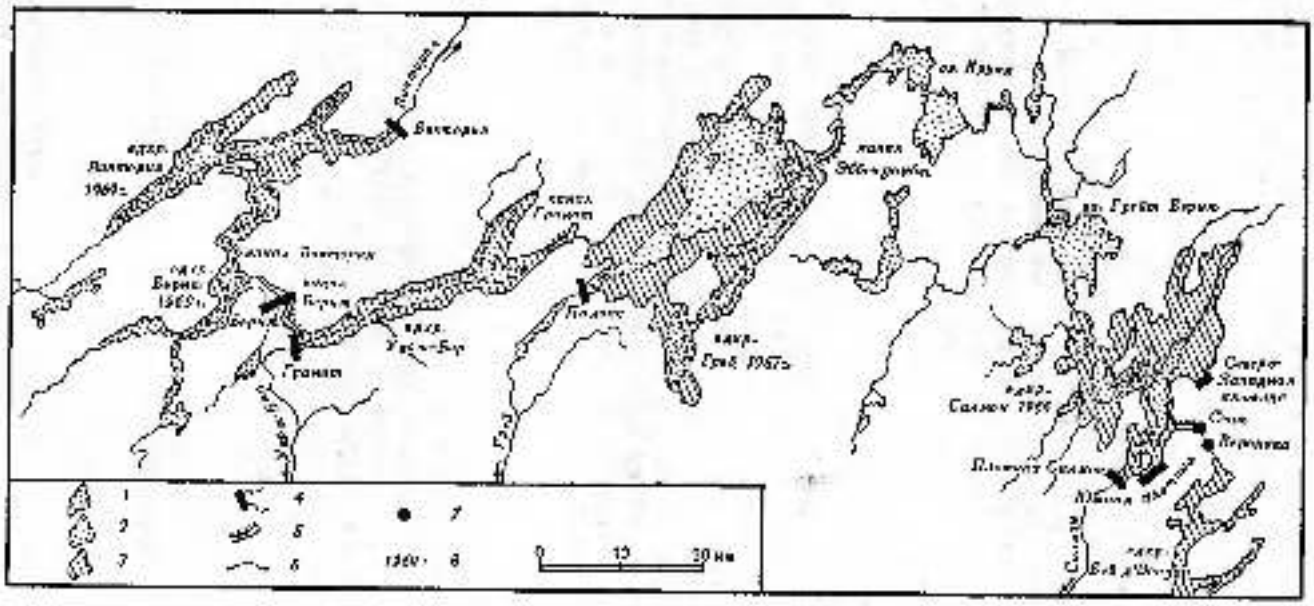


Рис. 17. Система водохранилищ, питающих ГЭС Бэй д'Эсгуар (Канада) (Cartactual, 1970, v. 22, N 2)

1 — естественные озера; *2* — подпертые озера; *3* — площадь затопления водохранилища; *4* — плотины и дамбы; *5* — каналы; *6* — реки в пределах распространения подпора; *7* — ГЭС; *8* — год заполнения водохранилища

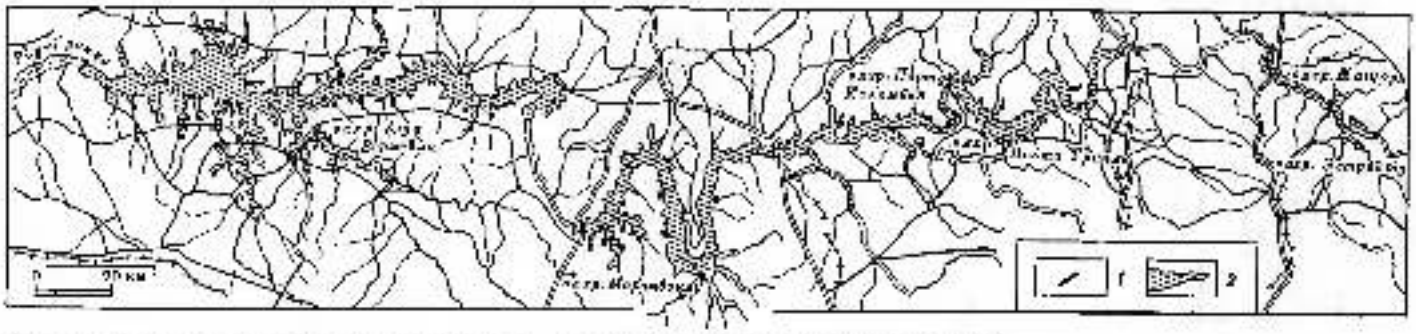


Рис. 18. Схема каскада водохранилищ на р. Риу-Гранде (Cartactual, 1977, v. 68, N 1)

1 — плотины; *2* — водохранилище

Таблица 19

Суммарные данные по некоторым каскадам водохранилищ

Река	Страна	Количество ступеней	Объем, км³ полный	Объем, км³ полезный	Площадь водного зеркала, тыс. км²	Протяженность каскада, км	Основные виды полезного использования
Европа							
Волга	СССР	9	142,6	70,6	20,5	2900	ЭСИРЛ
Днепр	»	6	43,8	18,4	7,0	900	ЭИСРВ
Нижний Буг	»	5	6,7	1,2	1,3	150	ЭС
Днестр	»	3	1,0	0,2	0,1	140	Э
Сулак	»	6	3,8	1,7	0,1	60	ЭИ
Арда	Болгария	5	1,0	1,0	0,1	...	ИЭ
Влтава	Чехословакия	7	1,3	0,9	0,1	200	ЭСВ
Тахо	Испания	11	7,6	6,0	0,3	500	ИЭ
Дуэро	»	5	2,3	1,1	0,1	300	ЭП
Азия							
Ангара	СССР	3	276,3	97,4	40,3*	1500**	ЭСЛ
Нарын—Сыр-дарья	»	6	30,1	21,4	1,8	250	ИЭК
Кура	»	3	18,6	6,8	0,7	125	ЭИС
Евфрат	Турция, Сирия	3	52,4	39,7	1,7	500	ИЭН
Дамодар **	Индия	5	2,5	Нет данных	0,3	Нет данных	ИЭ
Северная Америка							
Ла Гранд	Канада	5	138,6	88,6	9,6	650	Э
Маникуаган	»	3	136,7	Нет данных	2,5	400	Э
Колумбия	Канада, США	15	58,3	20	1,5	1500	ЭАС
Снейк	США	6	7,2	5,0	0,5	Нет данных	Э
Миссури	США	9	97,6	83,4	4,9	930	НИЭС
Теннесси	»	15	32,4	16,0	3,5	1240	НЭСВ
Нос-Плейт-Ривер	»	7	6,6	6,5	0,6	Нет данных	ЭВБ
Колорадо	США, Мексика	11	78,2	60,6	1,8	1400	ИЭН
Гриальва	Мексика	4	16,2	Нет данных	Нет данных	300	ИЭ
Южная Америка							
Парана с Параибой	Бразилия	5	75,4	То же	3,6	500	Э
Рио Гранде	»	5	41,0	»	3,0	Нет данных	Э

Примечания. * С учетом оз. Байкал; ** С учетом притока.

ванные естественные водные системы сливаются в единые водохозяйственные системы различных масштабов. Примером может служить европейская территория СССР, где такие связи возникли между бассейнами Белого, Балтийского, Черного, Азовского и Каспийского морей, а также Северо-Германская низменность, где воедино связаны каналами все крупнейшие реки Польши, ГДР, ФРГ, Франции, а в перспективе появятся устойчивые водохозяйственные связи с бассейном Дуная (по каналам Рейн — Майн — Дунай, Лаба — Дунай и др.). Тесные водохозяйственные связи возникли в результате создания водохранилищ и каналов между некоторыми речными бассейнами в США и Канаде, в Скандинавских странах, Австралии и т. д. (Varlet, 1966; Michaels, 1975; Amyot, 1976).

Особенно заметно изменяется гидрография в зоне образования самого водохранилища. В ряде случаев возникающие искусственные водоемы имеют очень сложную форму с многочисленными заливами, островами, проливами и т. д. и очень значительной по протяженности береговой линией. Примеры водохранилищ различной конфигурации показаны на рис. 13, 17, 18.

Длина береговой линии водохранилищ определяет фронт его взаимодействия с окружающей территорией. У многих водохранилищ она исчисляется многими тысячами километров (Братское — 6000, Вольта — 4500, Кису — 3500, Кариба — 3150 км и т. д.).

В результате регулирования стока водохранилищами плотин значительно изменяется гидрографический облик речных долин ниже гидроузлов. В результате уменьшения стока в периоды половодий и паводков прекращаются или уменьшаются разливы воды по пойме, что приводит к высыханию, занесению или зарастанию прежних проток и пойменных озер, как это наблюдается в дельтах Дона, Сырдарьи, Или, Нила, Саскачевана и ряда других рек. Участки горных рек ниже плотин, обеспечивающих забор воды в деривационные каналы и туннели, нередко совсем лишаются поверхностного стока и несут только фильтрационные расходы.

ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК

При создании водохранилищ изменяется гидрологический режим рек как выше плотины (в пределах распространения подпора), так и ниже ее. Используемые в работе термины, касающиеся уровенного режима, показаны на рис. 19. Изменение гидрологического режима водотока в верхнем бьефе определяется подпором реки плотиной и состоит прежде всего в значительном повышении уровня воды (в прилотинных участках горных водохранилищ на 100—200 м и более) и в образовании здесь водохранилища.

Установленное для СССР среднее соотношение полезного объема водохранилищ разного вида регулирования и объема

годового стока (для многолетнего регулирования — 20—50% и для сезонного регулирования — 8—20%) в целом, вероятно, справедливо для рек многих районов земного шара с близкими климатическими условиями. Иное, вероятно, соотношение между полезным объемом водохранилища и годовым и паводковым стоками характерно для таких географических поясов, как субтропический, тропический и экваториальный. Так, в странах с большой внутригодовой и многолетней неравномерностью стока, например в областях с муссонным климатом (Индия, Юго-Восточная Азия, Центральная Америка и др.) и в засушливых

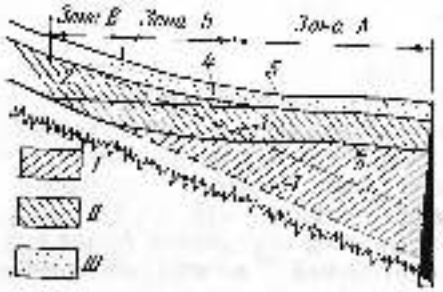


Рис. 19. Основные элементы и зоны водохранилища

1 — ложе русла реки до создания водохранилища; *2* — нормальный подпорный уровень (НПУ) водохранилища; *3* — уровень реки в половодье до создания водохранилища; *4* — НПУ водохранилища в половодье; *5* — форсированный уровень водохранилища; *6* — уровень сработки; *7* — плотина; *I* — мертвый объем; *II* — полезный объем; *III* — резервный объем. Зоны водохранилища: *А* — низовая; *Б* — средняя, *В* — верхняя

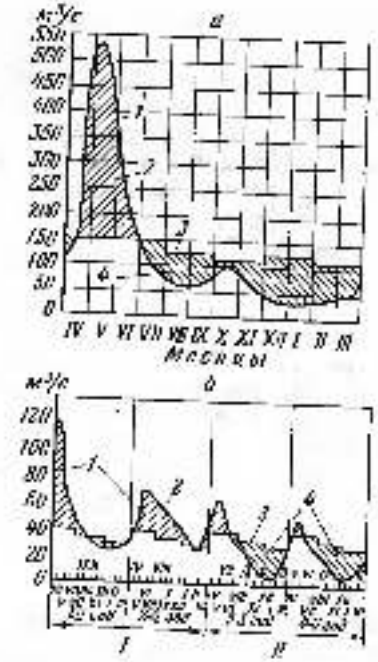
областях с резким, но интенсивными ливнями (Средиземноморские страны Европы и Африки, Ближний Восток, Австралия, Южная Африка, Запад США, Аргентина и др.), требуются, как правило, более емкие водохранилища и с большим противопаводковым объемом, который должен быть свободным от воды большую часть года.

Данные о соотношении полезного объема водохранилищ мира и годового стока и о степени регулирования ими речного стока имеются для СССР и США, а также для ряда крупных водохранилищ мира. Эти данные позволяют считать, что на земном шаре достигнута высокая степень регулирования стока многих интенсивно используемых рек. Так, в СССР многолетнее и сезонное регулирование стока осуществляют примерно $^3/_4$ водохранилищ; в США из 465 водохранилищ объемом более 100 млн. м³ примерно 360 водохранилищ, т. е. также $^3/_4$, многолетнего и сезонного регулирования (за критерий принят коэффициент регулирования более 0,1 –0,15: Martin, Hanson, 1966).

Высокая степень регулирования характерна для озерных водохранилищ Карелии, Скандинавии, Канады, Тасмании и некоторых других регионов, для горных водохранилищ всех стран, а также для большинства пустынных и сухостепных районов земного шара и для лесных регионов тропических и субтропических стран. В части этих регионов мира созданию более емких водохранилищ благоприятствуют природные условия (узкие створы, скальные породы, акватория озер и т. п.) и не препятствуют большие нарушения в хозяйстве (ядесь при создании водохранилищ затопляются, как правило, относительно небольшие площади ценных земель и малое количество хозяйственных объектов). И наоборот, в плотно населенных и интенсивно освоенных в сельскохозяйственном и промышленном отношении странах и районах, приуроченных в основном к умеренному и субтропическому поясам, удельный вес водохранилищ сезонного регулирования значительно ниже, а водохранилищ многолетнего регулирования относительно мало. Примером могут служить равнинные части ряда стран Европы, многие районы США, европейской части СССР (Украина, Прибалтийские республики, Центр, Урал, Северный Кавказ).

Рис. 20. Пример графика регулирования стока водохранилищем

а — сезонное:
1 — суточные расходы;
2 — объем воды, накапливаемый в водохранилище;
3 — зарегулированные расходы;
4 — объем воды, высвобождаемый из водохранилища;
б — многолетнее:
1 — объем воды, накапливаемый в водохранилище;
2 — бытовые расходы;
3 — зарегулированные расходы;
4 — объем воды, высвобождаемый из водохранилища
I — многоводные годы;
II — маловодные годы (Авакян, Шарапов, 1977)



Многолетнее и глубокое сезонное регулирование речного стока (рис. 20) осуществляют многие крупнейшие долинные водохранилища мира (Братское, Карпба, Насер, Вольта, Гордон М. Хрум, Зейское, Саньмынься и др.), абсолютное большинство водохранилищ, образованных в результате подпора озер (Виктория, Даниэль-Джонсон, Черчилл, Бухтарминское, Байкальское, Онтарио, Онежское, Нипигон, Ненери и многие другие водохранилища СССР, Канады, Скандинавских стран, Тасмании),

многие водохранилища горных и предгорных районов, используемые в основном для гидроэнергетики, а также многие водохранилища, предназначенные для борьбы с наводнениями и ирригации в равнинных и предгорных районах.

Так, из 75 водохранилищ объемом более 1 млрд. м³, для которых в Кадастре водохранилищ США приводится коэффициент регулирования, 55 водохранилищ имеют коэффициент регулирования (т. е. отношение полезного объема к среднемноголетнему стоку) 0,5 и более (из них 2 к более — у водохранилищ Мид, Форт-Пек, Кентукки, Флеминг-Гордж, Тринити, Элефант-Бют, Рузвельт и др.). Таким образом, преобладающая часть больших водохранилищ США позволяет регулировать сток в многолетнем разрезе. В СССР из 66 существующих и строящихся водохранилищ объемом более 1 млрд. м³ многолетнее регулирование стока осуществляют 24 водохранилища, из них у 15 коэффициент регулирования составляет 0,5—1,0 и у 7 — более 1,0.

В сезонном разрезе регулируют речной сток почти все водохранилища, предназначенные для водоснабжения, ирригации, борьбы с наводнениями, аккумуляции воды, и многие гидроэнергетические водохранилища.

Большинство горных водохранилищ и многие предгорные и в меньшей степени равнинные водохранилища во всех странах мира используются для гидроэнергетики и поэтому осуществляют суточное и недельное регулирование, которое также сильно сказывается на гидрологическом режиме рек.

Гидрологические процессы в водохранилищах и в нижних бьефах гидроузлов в зарубежных странах протекают с теми же закономерностями и особенностями, какие достаточно подробно изучены в СССР и освещены в советской литературе (Бахтиаров, 1961; Кусков, 1964; Попов, 1965; Калинин, 1968; Буторин, 1969; Вендров, 1970; Грик, 1971; Режимовский, Рубинштейн, 1974; Россинский, 1975; Авакян, Шарапов, 1977; и др.). Поэтому здесь мы осветим лишь те особенности изменения гидрологических процессов в водохранилищах и в нижних бьефах гидроузлов, которые не наблюдаются совсем или слабо выражены в СССР из-за отсутствия некоторых природных зон.

Уровенный режим водохранилищ определяется степенью регулирования стока (см. рис. 20), их назначением и некоторыми другими факторами и имеет следующие общие черты. Наибольшей высоты в водохранилищах сезонного и многолетнего регулирования уровень воды достигает в конце весеннего половодья (в умеренном и полярном поясах), летнего паводка (в высокогорных районах с ледниковым питанием рек) или в конце многоводного периода (дождевого периода в тропическом поясе, периода дождей в областях муссонного климата и т. д.); затем после некоторого стояния на отметке НПУ уровень водохранилища начинает понижаться, причем на разных водохранилищах сроки, продолжительность и величина сработки уровня различны в за-

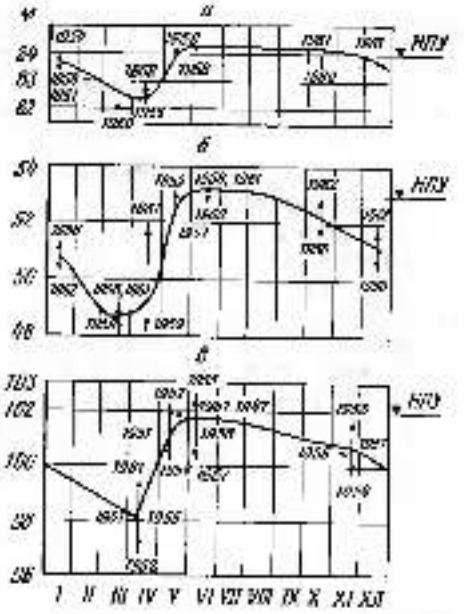
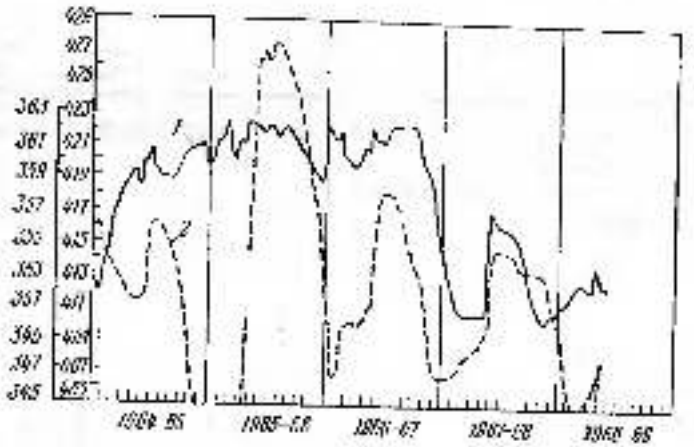


Рис. 21. Средний годовой ход уровней водохранилищ разного типа регулирования и отклонения от него в отдельные годы (Инженерно-географические проблемы..., 1972)

Водохранилища:
а — Горьковское (сезонное);
б — Куйбышевское (годичное);
в — Рыбинское (многолетнее)

Рис. 22. Режим уровня водохранилища на р. Гвадиане (Obras realizadas..., 1969)

Водохранилища:
1 — Гарсия де Сола;
2 — Сикарр.



висимости от указанных причин. Ход уровней некоторых водохранилищ показан на рис. 21 и 22.

Степень использования объема водохранилищ и соответственно глубина сработки их уровня достигает наибольших величин при удовлетворении интересов ирригации и борьбы с наводнениями и незначительна у водохранилищ, предназначенных для водного транспорта, рыбного хозяйства, рекреации и используемых как пруды-охладители тепловых и атомных электростанций и промышленных предприятий. Степень сработки гидроэнергетических водохранилищ весьма неодинакова в зависи-

мости от типа гидроэлектростанции (приплотинная, деривационная, гидроаккумулирующая и т. п.), роли ее в энергосистеме и положения в каскаде. У водохранилищ, используемых комплексно, относительная сработка их обычно меньше, чем у одноцелевых.

Различные сочетания природных условий и видов использования водохранилищ создают большое разнообразие соотношения полного и полезного объемов, а также их уровенных режимов, но вместе с тем можно отметить и общие черты. К ним относятся меньшая относительная сработка водохранилищ в промышленно развитых странах и районах, где водохранилища служат в первую очередь для водоснабжения, охлаждения, водного транспорта, рекреации и гидроэнергетики (кроме горных районов), и значительная сработка в странах и районах с большим значением ирригации и борьбы с наводнениями.

В качестве примера можно привести сравнительные данные по водохранилищам СССР и США (табл. 20).

Таблица 20

Отношение полезного объема водохранилищ к полному их объему в СССР и США и их отдельных регионах

Страна	Районы	Количество водохранилищ	Объем водохранилищ, км³		Отношение полезного объема к общему, %
			общий	полезный	
СССР	Всего	202	1137,3	540,9	47
	В том числе				
	ЕТС (кроме Северного Кавказа)	103	318,1	164,3	51
	Средняя Азия и Казахстан	50	114,1	61,0	54
	Кавказ	35	60,2	32,4	54
	Сибирь	15	555,8	237,5	43
США	Всего	1187	500,8	443,4	88,5
	В том числе				
	Тихоокеанский Северо-Запад	121	48,8	33,9	69
	Северо-Восток	303	19,3	18,9	97
	Юго-Запад (штаты Техас, Нью-Мексико, Юта)	139	48,9	45,7	93

В целом по США из 425 водохранилищ емкостью более 100 млн. м³ (Martin, Hansor, 1966) у 260 водохранилищ полезный объем составляет более 90% полного, в том числе у 220 водохранилищ — более 95%; эти водохранилища практически опорожняются почти до дна.

Уровни воды водохранилищ в течение года изменяются в пределах от нескольких десятков сантиметров до десятков метров в год. В настоящее время в разных странах создано несколько десятков водохранилищ, уровень воды которых колеблется даже более чем на сто метров в год.

Многие водохранилища, особенно крупные и крупнейшие, имеют объем, превышающий годовой сток реки в створе плотины, поэтому их первоначальное заполнение до отметки НПУ производится, как правило, в течение ряда лет (Братское, Даниель-Джонсон, Бухтарминское, Кебан, Гордон М. Хрум, Вольта и др. 6—8 лет, Иркутское и Насер — 4 года и т. д.). Такое длительное заполнение обусловливает ряд затруднений при подготовке ложа этих водохранилищ.

Многолетнее регулирование стока вызывает к такую особенность режима уровней водохранилищ, как стояние их в разные годы на разных отметках. Это приводит к известным осложнениям для судоходства, эксплуатации водозаборов, причалов, увеличивает капиталовложения в их строительство.

В соответствии с указанными особенностями сработки многие водохранилища зарубежных стран в целом имеют более значительные, чем в СССР, колебания уровня в течение года и водообмен, что отражается, в свою очередь, на режиме стоковых течений, термическом, гидрохимическом и гидробиологическом режимах водохранилищ и рек в нижних бьефах гидроузлов, а также на процессах заиления, переформирования берегов и дна. Эти изменения обычно учитываются при проектировании различных мероприятий. Но в некоторых развивающихся странах местное население было недостаточно проинформировано об изменении режима реки, в результате чего они терпели материальные потери и моральный ущерб. Характерным примером может служить гидроузел Кариба.

Существенные изменения претерпевает режим расходов и уровней реки ниже регулирующих водохранилищ в сезонном, многолетнем, недельном и суточном аспектах. Сезонное и многолетнее регулирование речного стока вызывает большее или меньшее уменьшение паводковых расходов и соответствующее снижение уровней, которое наблюдается ниже крупных водохранилищ на протяжении сотен километров (Волга ниже Волгоградского гидроузла — 500 км, Замбези ниже плотины Кариба — около 300 км), ниже меньших водохранилищ — на десятках километров, а на бесприточных участках больших рек — даже на протяжении более тысячи километров (Иртыш ниже Бухтарминского водохранилища, Нил ниже водохранилища Насер) (Hurst..., 1966). Влияние недельного регулирования стока гидроэлектростанциями сказывается на уровне воды на больших реках на протяжении до 200—300 км и суточного регулирования — на протяжении до 80—100 км.

Изменения в результате создания водохранилищ таких гидрологических явлений, как течения, волновой, термический и ледовый режимы, в известной нам зарубежной литературе освещены

скудно. Представляется, что эти изменения в целом не выходят за пределы аналогичных изменений в водохранилищах СССР. Очень важная и сложная проблема за рубежом — проблема водообмена в водохранилищах, поскольку в индустриально развитых и плотно населенных странах (зарубежная Европа, Северная Америка, Япония, некоторые страны на других материках) реки сильно загрязняются; фактор водообмена учитывается при определении и параметров водохранилища, и режима их эксплуатации.

Большое внимание в ряде зарубежных стран уделяется также испарению с поверхности водохранилищ, в том числе методам его уменьшения, поскольку оно очень велико. Так, в аридных зонах зеркало пара с поверхности водохранилищ испаряется слой до 2000 мм и более (Zanker, 1961), а на большей части территории СССР слой испарения не превышает 800—1000 мм. Для примера можно сказать, что из 6 крупнейших водохранилищ Африки (Нассер, Кариба, Кабора Басса, Вольта, Кайнджи и Косу) ежегодно испаряется более 35 км³, что соответствует суммарному полному объему таких водохранилищ, как Косу и Кайнджи. На величину испарения с водохранилищ влияют, помимо географической зональности и высотной поясности, в частности, наличие и режим эксплуатации вышележащих водохранилищ. Так, после создания самого водохранилища Поуэлл на р. Колорадо испарение с акватории расположенного ниже водохранилища Мид уменьшилось с 2170 до 1910 мм; причиной этому было поступление из водохранилища Поуэлл более холодной воды, чем до его создания (Hoffman, Jonez, 1973). Аналогичное явление наблюдается на Усть-Каменогорском водохранилище после создания Бухтарминского гидроузла на р. Иртыш.

Ледовый режим водохранилищ и нижних бьефов, которому в СССР уделяется большое внимание, для многих зарубежных водохранилищ не имеет значения, так как ледовый покров и шуга здесь не образуются. Вместе с тем в некоторых странах (Канада, северные штаты США, скандинавские страны, север Китая и Японии и некоторые высокогорные области) ледовые явления оказывают большое влияние на природу и на условия эксплуатации водохранилищ. Так, в нижнем бьефе гидроузла Сунхуа (КНДР) очень большие сложности при эксплуатации ГЭС вызвало образование зажоров и заторов. Разнообразные ледовые явления наблюдаются в нижних бьефах ряда канадских гидроузлов, что привело, например, к изменению термического и ледового режимов р. Нельсон, в результате чего увеличилась площадь ледовых образований, изменился радиационный баланс и микроклимат ее долины (Cheret, 1973).

С созданием водохранилищ, как известно, значительно изменяется гидрохимический режим реки в верхнем и нижнем бьефах гидроузла. Для большинства водохранилищ характерно сильное обогащение воды биогенными элементами в первые годы

после подпора реки и как следствие этого бурное развитие водной фауны и флоры, особенно бактерий, водорослей, высшей водной растительности и рыбы. В наиболее интенсивной форме это явление наблюдалось в водохранилищах, создававшихся в жарких поясах земли, например на водохранилищах Кариба, Вольта, Кайнджи, Брокопондо, Убольратана и др. (Кинауи, Шешуда, 1975; Davis in Africa, 1968; Cheret, 1973; Inevebore, 1975; Chamlong, Harinasuta, 1975).

Для ряда водохранилищ мира характерно засоление воды в результате ее контактов с засоленными грунтами и грунтовыми водами. В советской литературе отмечено влияние на качество воды гипса и других пород на Камском водохранилище (Печеркин, 1969). Такое же явление наблюдалось на водохранилище Шошилла в Южной Австралии (Cheret, 1973), на некоторых водохранилищах Югославии в карстовых районах (Печеркин, 1969). В нижних бьефах некоторых регулирующих гидроузлов на химических показателях воды отражаются прекращение промывок поймы весенними половодьями и большая степень разбавления загрязненных речных вод в маловодные периоды года вследствие увеличения меженных расходов.

ФОРМИРОВАНИЕ БЕРЕГОВ И ДНА ВОДОХРАНИЛИЩ

С созданием водохранилища начинается формирование рельефа его дна и берегов. О масштабах этих процессов можно судить по следующим данным: у крупных водохранилищ СССР протяженность только абразионных берегов составляет 15 тыс. км, а ежегодный объем грунта, перерабатываемого при формировании берегов, составляет 230—270 млн. м³ (Вендров, 1970).

Обширные исследования процессов формирования берегов и дна водохранилищ начались в период их массового строительства в связи с необходимостью инженерно-геологической оценки и прогнозирования направления и масштабов этого явления, а также для планирования мероприятий, направленных на предотвращение нежелательных последствий. Советскими и зарубежными учеными (М. Г. Алтунин, Г. В. Золотарев, Е. Г. Качугин, Н. Е. Кондратьев, М. А. Мостков, Л. Б. Розовский, Л. Я. Раткович, Н. В. Рослова, Г. И. Шамов, Х. Абиджиев, И. Бачев, I. Bujoi, Brune, J. L. Fuguie, F. Orth, J. C. Stevens и др.) были разработаны методы прогнозирования формирования рельефа берегов и дна.

В последние десятилетия в результате обобщения материалов длительных и массовых наблюдений на водохранилищах советскими и зарубежными учеными (Н. В. Буторин, Н. Г. Варазашвили, С. Л. Вендров, Л. Б. Иконников, Ю. М. Матарзин, Е. Е. Минервина, П. А. Печеркин, В. М. Широков, Г. Р. Хоситашвили, Abdel Asis Ahmed, Christiansen S., Heyndrichx G. A. T., Linhart J., Rolle B. N., Rasmussen J. F., Vetter C. P., и др.) выяс-

вилась необходимость более широкого и комплексного подхода к проблеме формирования ложа водохранилищ, чем прежний сугубо инженерно-геологический подход.

Прежде чем перейти к характеристике процессов формирования ложа водохранилищ, следует отметить, что создание крупных водохранилищ стало важным фактором современных тектонических процессов, в частности землетрясений.

С появлением на земле крупных водохранилищ стали наблюдаться проявления локальной сейсмичности, выражающейся в

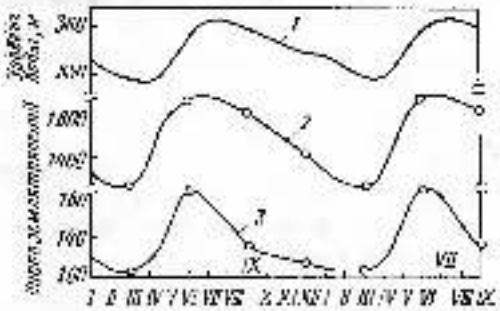


Рис. 23. Сопоставление уровней воды водохранилища Мид с количеством землетрясений в его районе за период 1939—1951 гг. (Man-Made Lakes, 1973)

1 — среднемесячные уровни воды;
2 — число зарегистрированных землетрясений (средние значения по 5-месячным интервалам);
3 — число ощутимых землетрясений (средние значения по 5-месячным интервалам)

возникновении землетрясений в период наполнения и эксплуатации водохранилищ. По мнению специально созданной комиссии ЮНЕСКО, от возбужденных землетрясений (т. е. обусловленных деятельностью человека) не гарантировано ни одно гидротехническое сооружение, и необходимо научиться предсказывать и регулировать появление землетрясений. Зарегистрированы десятки землетрясений, вызванных созданием водохранилищ, в том числе в районах водохранилищ Мид (США), Кариба (Африка), Манла, Койна, Куробэ (Азия), Кремаста, Марафон, Белеча, Гранвил, Монтальяр, Канъялес (Европа); в СССР локальная сейсмичность проявилась в районе Нурекского водохранилища, на примере которого можно показать степень изменения сейсмической активности. До его заполнения район отличался большой сейсмичностью — землетрясения случались 3—4 раза в декаду, сейсмичность района оценивалась в 8—9 баллов. При заполнении водохранилища (первая очередь) в 1972 г. сейсмическая активность резко повысилась: в радиусе 5 км число слабых землетрясений увеличилось в несколько раз; когда уровень воды повысился на 100 м, число малых землетрясений увеличилось до 30—40 в декаду. Увеличилось число землетрясений и в зоне до 15 км от водохранилища.

По мнению большинства исследователей, заполнение водохранилища (первоначальное, а иногда и в процессе его эксплуатации) служит пусковым механизмом разрядки накопленной в земной коре упругой энергии; одно из обязательных условий такой разрядки напряжений — это наличие разломов в земной

коре. Обычно при заполнении крупных водохранилищ наблюдается постепенное нарастание сейсмической активности в течение более или менее продолжительного периода (до 6 лет); для некоторых водохранилищ (например, Белеча в Югославии) установлено, что стабилизация уровня ведет к ослаблению сейсмической деятельности (рис. 23). На ряде водохранилищ установлена корреляционная связь землетрясений и объемов воды (рис. 24). Количество толчков, вызываемых заполнением водохранилищ, может быть очень велико и определяется сотнями и тысячами. Например, в течение 10 лет после наполнения водохранилища Мид на площади 8 тыс. км² было зарегистрировано около 6 тыс. локальных толчков (Николаев, 1973; Bengeisdorf, 1972; Hoffman, 1973).

Формирование берегов водохранилищ. Формирование берегов водохранилища начинается с момента его заполнения. Этот процесс происходит под непосредственным, преимущественно гидродинамическим, воздействием водоема и под влиянием трансформированных вследствие появления водоема геоморфологических процессов. Специфика проявления этих процессов в основном определяется гидрологическими характеристиками водохранилища и «унаследованными» и трансформированными природными условиями.

Берегами водохранилища становятся поверхности или уступы пойменных и надпойменных террас и коренные склоны долин, а иногда — искусственные сооружения (дамбы и т. п.). Изменения физических, химических и геодинамических условий существования форм рельефа, оказавшихся вблизи уреза воды, приводят к нарушению их динамического равновесия. Этому способствуют перемещения уреза воды, которые происходят в течение года и составляют у некоторых водохранилищ до 100—170 м в вертикальном направлении и до 5—15 км на некоторых участках в горизонтальном.

Из гидродинамических факторов ведущим является ветровое волнение, причем размеры переработки берегов водохранилища определяются при прочих равных условиях суммой энергии волнения различной интенсивности. В связи с этим небольшое, но постоянное волнение можно рассматривать как фактор формирования берега не менее существенный, чем штормовое волнение. Интенсивность волнового воздействия на берега водохранилищ во многом зависит от климата района, определяющего режим и скорость ветров и продолжительность периода ледостава. Водохранилища, расположенные на севере Евразии и Северной Америки, свободны ото льда 100—150 дней в году, находящиеся в средних широтах — 200—300 дней, а расположенные южнее 40° с. ш. (в среднем) обычно не замерзают. Соответственно неодинаковы сроки замерзания водохранилищ, находящихся в разных высотных поясах. Интенсивность волновой деятельности во многом зависит от орографии района водохранилища. У горных

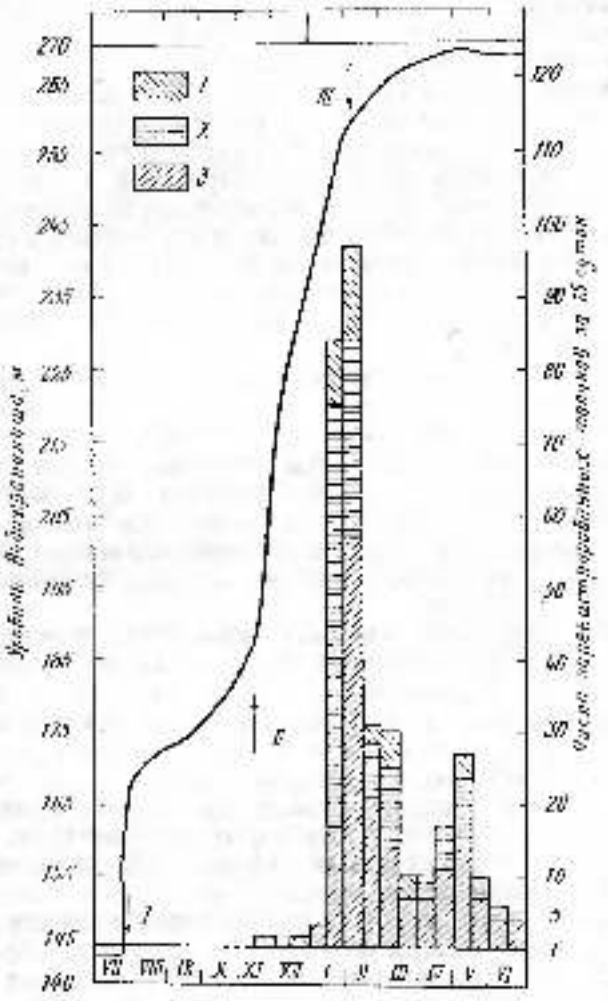


Рис. 24. Связи изменений уровня воды в водохранилище Кремаста с сейсмической активностью в его районе (Man-Made Lakes, 1973)

I — изменения водохранилища (июль 1965 г.); *II* — изменение уровня воды в водохранилище; *III* — наиболее сильный из зарегистрированных толчков (5 февраля 1966 г.). *1* — число толчков, зарегистрированных на двух станциях; *2* — число толчков, зарегистрированных постоянными станциями; *3* — число толчков, зарегистрированных по временным интервалам

водохранилищ скорость ветров и величина волнения обычно намного меньше, чем у равнинных водохранилищ. На широких плесах, типичных для равнинных водохранилищ, волнение обычно более интенсивное, чем на узких плесах и в заливах. В глубоких зонах водохранилища волнение сильнее, чем в мелководных.

Высота и морфология прибрежных форм рельефа также влияют на процесс формирования берега. Выпуклые склоны размываются быстрее, чем вогнутые, причем скорость размыва возрастает с увеличением их крутизны. Пологие берега с уклонами, не превышающими 2—4°, обычно не размываются. С увеличением высоты берега скорость его размыва при прочих равных условиях обычно меньше, чем у крутых, но невысоких берегов, что объясняется образованием у высоких берегов отмели в более короткие сроки. Наличие прибрежной отмели во многом определяет интенсивность абразии берега. Поэтому очень важный процесс — вдольбереговое перемещение наносов, происходящее под действием поступательного движения воды (при подходе волн под углом к берегу) и вдольбереговых дрейфовых, сгонно-нагонных и стоковых течений. Скорость и размеры переработки берега резко возрастают на тех участках, где продукты размыва уносятся вдольбереговым течением. Большие колебания уровня воды в водохранилищах приводят к тому, что волнение и течения при постепенном снижении уровня попеременно размывают все более низкие участки берега, которые при более высоком уровне были береговой отмелью; следовательно, формирование отмели задерживается. Таким образом, чем больше амплитуда колебания уровня в период интенсивной волновой деятельности, тем сильнее идет размыв берега; поэтому берега глубоко сработываемых ирригационных водохранилищ в аридных зонах (Северная и Южная Африка, Ближний и Средний Восток, Индостанский полуостров, некоторые районы США, Мексики, Австралии) перерабатываются несколько сильнее, чем берега водохранилищ в умеренном и экваториальном поясах.

На темпы абразии берегов влияет и состояние поверхности надводных и подводных прибрежных склонов. Покрытые растительностью подводные склоны частично гасят волну и, следовательно, уменьшают интенсивность абразии. Наземная растительность, скрепляя корневой системой грунт, увеличивает его сопротивляемость размыву. В то же время крупные деревья, падая при подмыве, усиливают разрушение берега. Большие скопления плавника у подножья берегового склона могут предохранять его от размыва. Заросшие и задернованные склоны в умеренном, тропическом и экваториальном поясах устойчивее в отношении волновой абразии той же силы, чем лишенные растительности склоны водохранилищ аридных зон, т. е. зональные различия в характере растительного покрова четко отражаются на интенсивности формирования берегов (Вендров,

1970; Инженерно-географические проблемы..., 1972; Linhart, 1969).

Совершенно естественно, что устойчивость берега определяется и характером слагающих его пород. Г. С. Золотарев (1955) делит эти породы по их устойчивости к размыву на шесть групп: 1) песчаные, размыв которых определяется в основном энергией волн и течений; 2) лёссовые (их размыв обусловлен потерей прочности при размокании); 3) различные глинистые, песчаниковые, слабые карбонатные, опоковые и др., размыв которых зависит в основном от степени выветрелости; 4) гипсы, соли и другие легкорастворимые породы, размыв которых зависит от интенсивности выщелачивания; 5) мерзлые песчаные и глинистые породы (интенсивность размыва их обусловлена степенью теплового воздействия) и 6) скальные породы, которые практически можно считать неразмываемыми.

В связи с этим становится очевидно, что водохранилища, расположенные в районах с распространением лёссовых и лёссовидных пород (степная и пустынная зоны СССР, лёссовое плато Китая и др.), отличаются наибольшей интенсивностью абразии берегов; наименьших размеров размыв берегов достигает на горных водохранилищах.

Влияют на формирование берегов физические и химические свойства воды. Так, запасы тепла в воде водохранилищ способствуют оттаиванию и разрушению мерзлых пород, что особенно заметно у водохранилищ в зоне многолетней мерзлоты. Хорошо прогретая вода в водохранилищах, расположенных в низких широтах, способствует бурному развитию высшей водной растительности, что уменьшает абразию берегов; химический состав воды влияет также на состав и характер растительности.

В формировании берегов водохранилищ велика роль антропогенного фактора, не только определяющего положение береговой зоны, но и формирующего ее как непосредственно путем строительства дамб, обваловывающих водохранилище, так и косвенно. К таким косвенным мероприятиям можно отнести создание в береговой зоне оросительно-дренажных систем, организацию сбора или, наоборот, концентрированного сброса ливневых и сточных вод, облесение, залужение и другие меры, изменяющие формы и устойчивость берегов.

Интенсивность и характер формирования берегов неодинаковы на различных участках каждого водохранилища. С. Л. Вендров (1958) у больших равнинных водохранилищ выделяет следующие пять гидрологических зон, каждая из которых характеризуется спецификой гидродинамических условий и формирования берега (см. рис. 19).

1. Приплотинная зона, где, как правило, наибольшие глубина и ширина, поэтому гидродинамическое воздействие на берег наибольшее и формирование берега при прочих равных усло-

виях проходит интенсивнее, а наносы аккумулируются только на глубине, за пределами зоны сработки.

2. Средняя зона, которая при НПУ по интенсивности воздействия на берег мало чем отличается от приплотинной зоны, а при сработке уровня водохранилище в этой зоне остается озеровидным, но становится мелководным, и поэтому волновая переработка берега происходит значительно медленней, чем в предыдущей зоне.

3. Верхняя зона, которая и при НПУ мелководна, в связи с чем интенсивность волновой переработки берега невелика; здесь откладывается преобладающая часть приносимых рекой наносов и быстро формируется прибрежная отмель.

4. Зона выклинивания подпора, которая в зависимости от высоты стояния уровня может быть дельтой или руслом реки; в ее пределах основными процессами формирования берега являются речная эрозия или аккумуляция, а роль волновых процессов невелика.

5. Зона небольших заливов, в пределах которых берег формируется в основном под воздействием склоновых процессов и происходит относительно быстрое заполнение их материалом, сносимым с берега.

Вследствие многообразия сочетаний указанных факторов и условий формирование берегов водохранилищ протекает на разных водохранилищах и различных участках одного и того же водохранилища весьма неодинаково. Имеются, по всей видимости, четкие зональные различия, однако они практически не освещены и в зарубежной научной литературе. В отдельных случаях берег за короткий срок отступает на десятки и сотни метров; так, например, на одном участке Братского водохранилища берег, сложенный плывунами, за 4,5 года отступил на 750 м. В других случаях берега практически остаются неизменными. Материал, поступающий с берегов и приносимый вдольбереговыми течениями, накапливается на прибрежных мелководьях и в заливах, имеющих невысокую гидродинамическую активность; здесь формируются прибрежные аккумулятивные формы: отмели, косы, пересыпи. В результате размыва одних участков берега и аккумуляции материала в заливах береговая линия водохранилища постепенно становится более короткой и плавной. Так, протяженность береговой линии Куйбышевского водохранилища за 1959—1963 гг. сократилась с 2500 км до 2100 км, а коэффициент извилистости уменьшился с 8,9 до 7,4.

В результате гидродинамических процессов у водохранилищ формируются два основных типа берегов: абразионные и аккумулятивные. Некоторые исследователи выделяют также берега нейтрального типа, характеризующиеся слабой активностью процессов размыва и аккумуляцией вследствие малых уклонов, защищенности от волн островами, косами или мелководьями или ввиду большой прочности слагающих берег пород.

Создание водохранилищ влияет также на характер и интенсивность геоморфологических процессов за пределами зоны непосредственного переформирования берегов. Особо следует отметить существенное повышение базиса эрозии, срезание устьев и заметное уменьшение площади водосбора небольших оврагов и ручьев, подъем уровня грунтовых вод и т. п.

В результате воздействия местных рельефообразующих процессов генетически однородные берега водохранилищ приобретают существенные различия, позволяющие разделить их на ряд типов. Так, среди абразионных берегов выделяются обвальные, осыпные, эрозионные, оползневые, плывунные, солифлюкционные, карстовые, торфяные и др. Аккумулятивные берега можно разделить на эолово-дюнные, дельтовые, пересыпные, илово-солянные, сплавинно-заторфованные, ракушечные, камышовые или тростниковые и др.

Весь ход развития берегов крупных искусственных водоемов делится на два основных периода: становление берегов, во время которого преобладает абразия, и стабилизация их, во время которой определяющим процессом является аккумуляция; каждый из этих периодов делится на две постепенно сменяющиеся стадии (Широков, 1974).

Первая стадия периода становления начинается с момента заполнения и заканчивается, когда вода достигает НПУ. Для крупных водохранилищ эта стадия в среднем длится 3—4 года. Она характеризуется абразионной обработкой склонов, уходящих в процессе заполнения водохранилища под воду. Формирование абразионных уступов, уходящих под воду, затрудняет развитие прибрежной отмели и, следовательно, способствует абразии во время следующей стадии развития берега.

На второй стадии процесс абразионной обработки берегов происходит более интенсивно. В этот период развиваются основные рельефообразующие процессы и формируются главные элементы рельефа берега. Во время этой и последующих стадий в процессе формирования берега наблюдаются периоды повышенной активности, связанные с сезонами года и штормовыми периодами. К концу стадии активность абразионной деятельности заметно снижается.

Первая стадия периода стабилизации длится достаточно долго, нередко десятки лет. В это время берег формируется под воздействием абразионно-аккумулятивных процессов, широко развиваются вдольбереговые потоки наносов, заметно возрастает значение неволновых факторов воздействия на берег, отчленяются заливы, выравниваются берега.

Во время второй стадии периода стабилизации интенсивно растут аккумулятивные формы в сторону открытой части водоема, что способствует постепенному отчленению отдельных районов водохранилища и превращению их в аккумулятивную равнину; происходит прогрессирующее сокращение площади

1708—82

водохранилища. Продолжительность этой стадии в основном определяется скоростью аккумуляции наносов и может составлять от нескольких десятков до нескольких сотен лет.

Следует отметить, что изложенная схема динамики формирования берегов предполагает высокую степень стабильности гидродинамической обстановки в водохранилище и постоянство рельефообразующих процессов в его бассейне. Сдвиги в характере и интенсивности этих процессов, обусловленные изменением водохозяйственных функций водохранилища, тектоническими движениями, циклическим изменением гидрометеорологических условий и т. п., могут оживить процесс формирования берегов. Поэтому некоторые авторы считают, что формирование берегов не имеет, как правило, резко выраженного затухающего характера и что положение о конечной стадии формирования берега не имеет практического значения; на водохранилищах возможны только временные периоды значительного уменьшения интенсивности переработки берегов, которые могут затем сменяться периодами их интенсивного проявления (Печеркин, 1969; Вендров, 1970; Матарзин, 1971; Широков, 1974).

Сопоставление процесса развития берегов водохранилищ, расположенных в различных природных условиях, позволяет выявить ряд специфических особенностей. Абразия берегов водохранилищ в зоне развития многолетней мерзлоты (север азиатской части СССР, США, Канада) происходит совместно с процессами оттаивания, просадок и солифлюкции. Поступающие в прибрежную зону водохранилища наносы подвергаются синтенетическому промерзанию, что увеличивает размер отмелей. Для этих районов характерно широкое развитие ледяных берегов и высокая интенсивность термической абразии, в ряде случаев превышающей механическую волновую.

У водохранилищ, расположенных в умеренных широтах, процессы волновой абразии выражены в наиболее чистом виде. Формирование прибрежных отмелей определяется характером вдольбереговых потоков и волновой деятельности.

В аридных условиях у водохранилищ, расположенных в песчаных и глинистых пустынях, на всех этапах формирования берегов весьма велика роль процессов аккумуляции в связи с большим количеством наносов, поступающих с поверхностным стоком, в результате обрушения берегов, сложенных легко размываемым материалом, и за счет большого количества песчаного и пылеватого материала, приносимого ветром. Прибрежные отмели интенсивно заболачиваются и засоляются, вдоль уреза формируется пояс тростниковых или камышовых зарослей.

Характер процессов формирования берегов горных водохранилищ обусловлен относительно малой ролью ветрового волнения, большими и быстрыми колебаниями уровня водохранилища, большей устойчивостью широко распространенных прочных скальных пород, однако часто разбитых тектоническими разло-

мами и трещинами. В связи с малыми объемами наносов, поступающих в горные водохранилища с берегов, их вдольбереговые потоки развиты слабо; например, аккумулятивные отмели у закавказских водохранилищ занимают лишь 3% береговой линии (Минервина, Хоситашвили, 1974).

В водохранилищах, расположенных каскадно, по сравнению с расположенными изолированно условия формирования берегов усложняются. При непрерывном каскаде на каждом водохранилище первоначальное развитие берегов идет в большей степени под влиянием местных условий, а в дальнейшем их устойчивость определяется совокупным воздействием режима регулирования стока и гидродинамикой водоема. При каскадных регулированиях наиболее часты непериодические всплески процесса переработки берегов, связанные в первую очередь с форсировкой уровня воды выше НПУ, пропуском через систему водохранилищ больших расходов и вводом в каскад новых водных объектов. В результате с учетом непериодических увеличений водности реки конечная стадия развития берегов может быть продолжительнее, чем у одиночных водохранилищ.

Заиление водохранилищ и формирование подводного рельефа и донных отложений. Подводный рельеф водохранилищ формируется под влиянием нескольких факторов: морфометрии и гидродинамики водохранилища, морфологии затопленного рельефа, объема и состава наносов, поступающих со стоком и от переработки берегов.

Водохранилища аккумулируют большую часть материала, поступающего с поверхностным стоком и в результате обрушения берегов. Не более 1—10% от всех поступающих наносов сбрасывается в нижний бьеф и, следовательно, не менее 90 — 95% идет на формирование донных отложений. Источники поступления материала Н. В. Буторин и др. (1975) подразделяют на 5 групп: 1) поверхностный сток; 2) размыв берегов и дна; 3) продуцирование фитопланктона и высшей водной растительности; 4) физико-химические процессы в водоеме и 5) эоловые процессы.

Если у естественных внутриконтинентальных водоемов в балансе наносов доминирует материал, поступающий с поверхностным стоком, то у большинства равнинных водохранилищ в первые годы их существования донные отложения формируются преимущественно за счет продуктов разрушения берегов и дна; с течением времени их количество убывает и начинают преобладать наносы, поступающие с поверхностным стоком. Так, за первые 12 лет существования Угличского водохранилища (1939—1951 гг.) среднегодовое количество обрушенного грунта превышало суммарный сток взвешенных наносов в 2,3 раза, в последующее десятилетие они были примерно одинаковы, а в начале 60-х годов количество речных наносов начало превышать поступление материала за счет береговой абразии (Буторин и др., 1975). У горных водохранилищ, берега которых сложены скальными породами, это соотношение существенно иное; так, на Мингечаурском водохранилище среднегодовое поступление грунта от абразии берегов составляет только 9,1%, а с речным стоком — 89,8% (Тарвердиев, 1968).

Специфическим источником донных отложений служат всплывающие торфяники; образующаяся при их размыве торфяная взвесь участвует в формировании донных отложений. Ее количество, за первые 25 лет существования Рыбинского водохранилища составило около 5% от общей суммы наносов. Продукты распада фитопланктона и высших растений также служат заметным источником пополнения донных отложений. Их количество в водохранилищах зоны умеренного климата составляет 1—6% от общей суммы наносов, а у водохранилищ, расположенных в районах с аридным и тропическим климатом, очевидно, может быть и больше. Можно предполагать, что в водохранилищах образуются и хемогенные взвеси, однако о роли их в балансе отложений в настоящее время нет никаких данных. У водохранилищ аридной зоны, расположенных в песчаных пустынях, важным источником донных отложений может быть эоловый перенос песчаных и пылевых отложений. У водохранилищ умеренного и тропического поясов такого источника, как правило, нет.

Известное представление о количестве и соотношении различных наносов, поступающих в водохранилища умеренного пояса, могут дать данные табл. 21.

Количество наносов, поступающих с поверхностным стоком в водохранилища пустынной зоны, часто значительно больше, чем у водохранилищ, расположенных в зонах умеренного и хо-

Таблица 21

Количество вещества, поступившего в водохранилище из основных источников (Широков, 1974; Буторин и др., 1975)

Водохранилище	Годы наблюдений	Сток наносов	Размыв берегов и дна	Продукция фитопланктона и высшей водной растительности	Всего
Иваньковское	1937—1968	8250 28,2%	14 440 68,1	1150 5,3	21 840 100
Угличское	1940—1968	7160 38,9	10 700 58,1	550 3,0	18 410 100
Рыбинское	1941—1965	19000 17,5	87 600 79,8	2000 2,7	108 500 100
Новосибирское	1957—1969	Нет данных 46,7	Нет данных 49,4	Нет данных 3,9	Нет данных 100

Примечание. В числителе — тыс. т, в знаменателе — %.

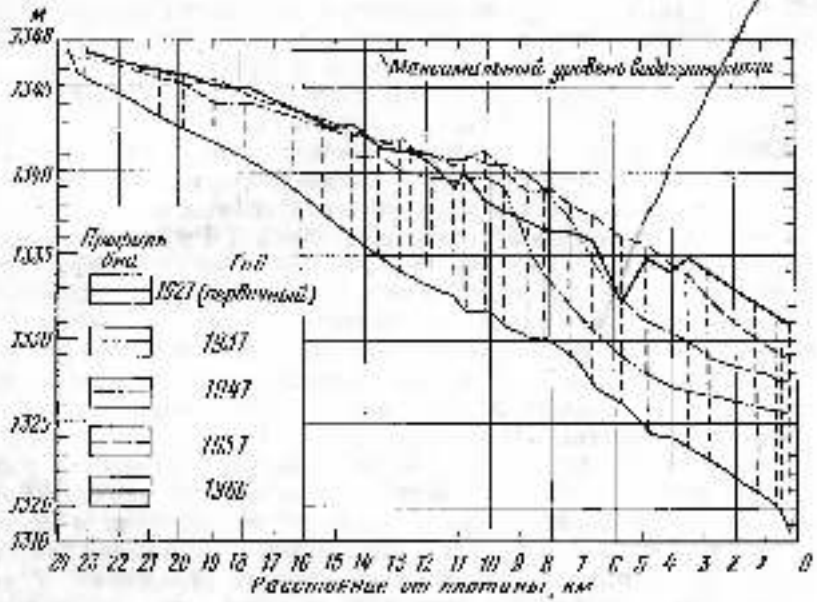


Рис. 25. Заиление водохранилища Гергеи на р. Норт-Платт (США) (Man-Made Lakes, 1973)

ледного климата (рис. 25). Поэтому именно пустынные водохранилища очень быстро заиливаются. Так, в США некоторые водохранилища, расположенные в пустынной зоне, заполнялись наносами за 10—15 лет; одно из них за 7 лет потеряло около 50% емкости.

Для заиления этого водохранилища было построено полое, но и оно за 13 лет потеряло 95% емкости.

Поступающие в водохранилище наносы распределяются по его дну и формируют грунтовый комплекс отложений. Средняя мощность их годового слоя рапа у Ивановского водохранилища 0,2 см, Угличского 0,17 см и у Рыбинского 0,25 см, при максимальной мощности 1,9, 1,1 и 6,0 см соответственно. Состав и размещение донных отложений у водохранилищ могут быть самыми разнообразными и зависят от величины сработки и степени проточности водохранилища, режима течений и волнений, количества и крупности наносов; на указанные факторы сильно влияют географическое положение водохранилища, его размеры и морфология. В каждом конкретном водоеме определяющие факторы — характер и количество грунтообразующего материала и гидродинамическая активность водных масс. В русловых водохранилищах преобладающая форма гидродинамической активности — течения, в водохранилищах долинного и озерного типов — волнение.

Н. Д. Бугорин и др. (1975) при изучении верхневолжских водохранилищ разделили донные грунты на три основные группы: а) первичные затопленные почвы, существенно не изменившие свои свойства; б) трансформированные затопленные почвы, в значительной мере утратившие прежние свойства; в) вторичные грунты (галечники, пески, илы, образованию которых предшествует предварительная сортировка их частиц, и отложения из макрофитов).

Галечники, гравелистые и крупнозернистые пески развиты преимущественно в горных и предгорных водохранилищах, в основном в дельтах впадающих в водохранилище рек. Пески по образованию можно разделить на русловые, прибрежные и пески открытых пространств. Илистые пески образуются на границе распространения песков, где наблюдаются изменения гидродинамической активности. Песчанистые и серые илы делятся по происхождению на аллювиальные и местные; первые образуются из вносимых в водохранилище аллювиальных наносов, и местах их накопления служат зоны аккумулирования подпора, а местные или формируются в основном из продуктов размыва берега и ложа водохранилища. В формировании всех илов участвуют остатки торфа, затопленной наземной растительности, продукты ветрового переноса, остатки водной фауны и флоры (рис. 26).

Представление о соотношении грунтов у равнинных водохранилищ умеренного пояса дают данные табл. 22 и рис. 26.

В зависимости от гидродинамической активности (течения, волнения) глубина расположения песков у этих водохранилищ различна: у Угличского до 2, у Иваньковского до 4, и у Рыбинского до 10 м.

Процесс коренной перестройки подводного рельефа начинается одновременно с наполнением водохранилища. Размыв и переуглубление дна течениями чаще наблюдается у русловых водохранилищ. Размыв в результате волновой деятельности обычно происходит на участках акваторий с глубинами не более 8—10 м. Нивелировка дна как в мелководной, так и глубоководной зонах происходит за счет отложений наносов в понижениях рельефа.

Из зоны взмучивания взвешенный материал поступает в открытую часть водоема, где и осаждается на дно, образуя слой песчано-иловых или иловых отложений. Наибольшая мощность их наблюдается в замкнутых котловинах (затопленные озера, старицы и межгривные понижения). С удалением от берега и по направлению к плотине мощность отложений уменьшается.

Процесс формирования ложа водохранилища, так же как и процесс формирования берегов, делится на два периода: становление подводного рельефа, сопровождающееся более интенсивным поступлением наносов, и стабилизация подводного рельефа, происходящая при умеренном поступлении наносов в водохра-

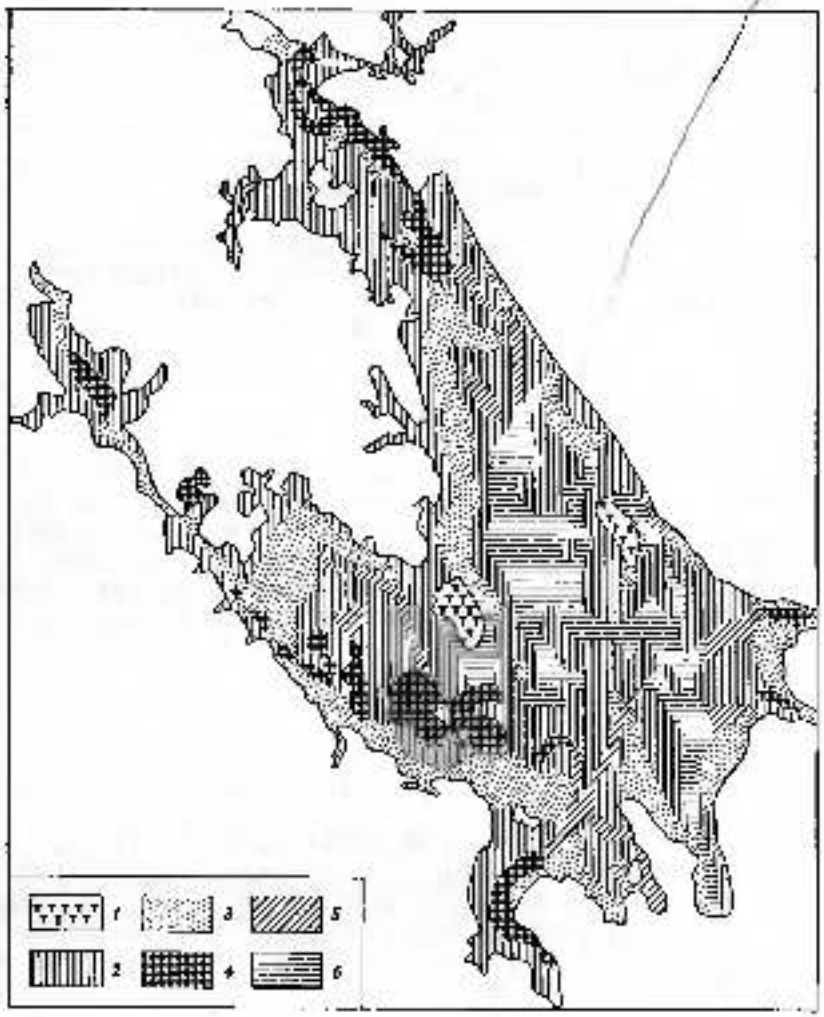


Рис. 26. Схема распределения донных отложений на Рыбинском водохранилище (Буторин и др., 1975)

1 — чистые пески; *2* — глины; *3* — пески с илистым песком; *4* — песчанистый серый и серый ил; *5* — переходный ил; *6* — торфянистый ил

нилище и при ведущем значении процесса перераспределения наносов. Каждый этап делится на две стадии. Первая стадия совпадает с периодом первоначального заполнения водохранилища до НПУ и характеризуется выработкой абразионных уступов, которые по мере подъема уровня уходят под воду и становятся новыми элементами рельефа дна.

Таблица 22

Распространение донных отложений в верховольских водохранилищах, % от площади водохранилищ
(Буторин и др., 1975)

Тип грунта	Водохранилища		
	Иваньковское	Угличское	Рыбинское
Незаиленные почвы	41	19	55
Пески и илистые пески	10	17	20
Песчанистые серые и серые илы	45	64	8
Торфянистый ил	—	—	13
Переходный ил	—	—	4
Отложения на микрофитов	4	<1	<1

Во вторую стадию также интенсивно обрушиваются прибрежные берега и формируются основные элементы рельефа дна; в районах мелководий начинается полновое выравнивание дна, а в глубоководной зоне — первичная планировка рельефа. Продолжительность этой стадии может превышать 2—4 десятилетия.

Второй период характеризуется заметным уменьшением поступления материала от абразии и возрастанием роли твердого стока с водосбора и продуктов жизнедеятельности водных организмов. Во время первой стадии этого периода ведущее значение в формировании ложа водохранилища принадлежит процессам перемещения наносов вдоль берега, отделения и занесения заливов; происходит также медленное зарастание мелководий, завершается формирование комплекса донных отложений. Во время второй стадии рельеф ложа водохранилища формируется в результате накопления аккумулятивного материала все дальше от берега, что способствует постепенному отчленению некоторых районов водохранилища и выравниванию рельефа дна. Продолжительность этого этапа может достигать нескольких сотен лет.

Значительные изменения в формировании донных отложений и, следовательно, рельефа ложа происходят в случае расположения водохранилищ в каскаде. При непрерывном расположении водохранилищ количество твердого стока заметно уменьшается к устью реки. Основным приемником твердого стока реки служит верхнее водохранилище, где он и аккумулируется. Все нижерасположенные водохранилища получают взвешенные наносы только при транзитном сбросе весеннего половодья по каскаду и с притоков. При этом поступление твердого стока в дельту реки резко сокращается.

Аккумулируя подавляющую часть наносов, водохранилища и тем более каскады водохранилищ резко сокращают количество

наносов, поступающих в дельты или устья. Уменьшение поступления наносов в дельты рек было зафиксировано на Волге, Куре, Дону, Ниле и на ряде других крупных рек, зарегулированных водохранилищами или каскадами водохранилищ. Вследствие уменьшения количества твердого стока произошли заметные изменения в морфологии дельт. Так, если в дельте Нила до создания водохранилища Насер процесс роста дельты и ее абразии были примерно одинаковой интенсивности, то после ввода водохранилища в эксплуатацию это равновесие оказалось нарушенным, сейчас происходит абразионный размыв дельты - размываются основания защитных дамб, опоры мостов, территория береговых населенных пунктов и т. п. (Кинаун, Шенуда, 1975; Man-Made Lakes, 1973).

ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА КЛИМАТ, ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ, ПОЧВЫ, РАСТИТЕЛЬНОСТЬ И ЖИВОТНЫЙ МИР

Создание водохранилищ влечет существенные изменения почв, растительности и животного мира. Первопричина изменений заключается в трансформации климата, характера и степени увлажнения почв. Поэтому принято выделять три пояса влияния водохранилища на почвенно-растительный покров: гидрологический, гидрогеологический и климатический. В свою очередь, каждый из них по степени интенсивности воздействия может быть разделен на несколько зон. В настоящее время обычно выделяются зоны: постоянного затопления, периодического (временного) затопления, сильного подтопления (заболачивания), умеренного подтопления, слабого подтопления, активного климатического влияния и эпизодического климатического влияния. Основной причиной изменения природы в нижнем бьефе служит зарегулирование стока и преобразование гидрологического режима реки, причем на них наиболее важные – снижение наводкового и повышение меженного уровня, а также изменение продолжительности затопления поймы и режима поступления наносов.

В конфигурации и размещении зон влияния водохранилища в верхнем и нижнем бьефах гидроузла существуют значительные различия. В первом случае зоны влияния обычно располагаются в указанной последовательности концентрическими поясами вокруг водохранилища, обычно сужающимися вверх от плотины. Во втором случае зона влияния протягивается сравнительно узкой полосой вдоль русла реки. Размеры территории, на которой фиксируются изменения почвенного и растительного покрова, могут быть, особенно у равнинных водохранилищ, достаточно велики и соизмеримы с площадью зеркала водохранилищ. Ширина отдельных зон влияния колеблется от нескольких десятков метров до нескольких десятков километров. Протяженность полосы влияния в нижнем бьефе у некоторых водохранилищ превышает 1000 км. Размеры территории, на которой проявляется влияние водохранилища, зависят не только от местных факторов (строение рельефа, литология почвогрунтов, особенности грунтовых вод и т. п.), но и от размеров и режима эксплуатации водохранилища, а также и от его географического положения.

Влияние водохранилищ на климат довольно подробно исследовалось в СССР (Вендров, Малик, 1964; Ретеюм, 1968; Вендров, 1970; Влияние водохранилищ..., 1970; Формирование природных условий..., 1970; Комплексные исследования..., 1971; Инженерно-географические проблемы..., 1972; и др.). Обобщающие работы зарубежных авторов о влиянии водохранилищ на климат нам неизвестны, имеются лишь отдельные публикации по конкретным водохранилищам; вопросы влияния водохранилищ на климат кратко освещаются также в работах общего характера.

Влияние даже самых крупных водохранилищ на климат распространяется на сравнительно небольшую территорию прилегающих районов и еще менее заметно в нижних бьефах гидроузлов. Так, по расчетам Ю. М. Матвеева (1971), площадь зоны климатического влияния такого большого водохранилища, как Каманче, примерно равна площади его зеркала. Из-за преобладания в СССР переноса тепла и влаги с запада на восток климатическое влияние водохранилищ сильнее сказывается на их восточных берегах. Изменения микроклимата при создании водохранилищ определяются увеличением суммарной радиации и радиационного баланса, большей теплоемкостью водохранилищ по сравнению с сушей, уменьшением шероховатости поверхности и другими факторами.

Влияние водохранилищ на микроклимат в различных природных зонах неодинаково. В зоне недостаточного увлажнения это влияние затухает быстрее и резче, чем в зоне избыточного увлажнения, где оно усиливает существующие черты избыточного увлажнения и поэтому распространяется дальше, но с менее резкими переходами. Поэтому при движении с юга на север в СССР ширина полосы активного влияния на климат увеличивается. В то же время абсолютные и относительные показатели изменения микроклимата возрастают при движении с севера на юг (Вендров, 1970).

Интенсивность изменений климата под влиянием водохранилищ зависит также от рельефа (чем выше берега, тем быстрее затухают эти изменения), от параметров водохранилища, особенно объема водной массы, и других факторов. Основные изменения метеорологических условий под влиянием водохранилищ состоят в следующем: увеличивается радиационный баланс, испарение, ослабляется континентальность климата, возрастают скорости ветра, появляются ветры типа бризов. Изменения затрагивают практически все элементы микроклимата акватории и прибрежных территорий.

Весной водохранилища оказывают охлаждающее влияние на прибрежные территории, а во второй половине теплого периода (до ледостава), отдавая накопленное тепло, оказывают отепляющее воздействие. Под воздействием водохранилищ в прибрежной полосе, как правило, уменьшается континентальность климата: ход температур становится более плавным, суточная амплитуда температур воздуха уменьшается, влажность воздуха увеличивается, весенние заморозки прекращаются в более ранние сроки, осенние заморозки наступают позже и т. д. Снижение континентальности климата в результате создания водохранилищ отмечалось в аридных районах Северной Африки, Западной Азии, Мексики, Австралии, в некоторых районах умеренной зоны (СССР, Северная часть Китая, Канада, Северная Европа) и во всех горных районах (Cheret, 1973; Кинауи, Шенуда, 1975; Töndury, 1969; Link, 1970; Man-Made Lakes, 1973). Так, водохранилища Локка и Портиллахта должны, по мнению Castrel (1961), оказать смягчающее влияние на местный климат, создание водохранилища Бхакра привело к уменьшению летнего максимума и повышению зимнего минимума температуры (Man Made Lakes, 1973).

В районе крупных водохранилищ количество осадков несколько увеличивается. Характерным примером может служить водохранилище Насер в Асуане; до создания этого водохранилища дожди выпадали 1 раз в 40—50 лет, а за последние 4 года здесь выпало уже 3 дождя — в 1971, 1973 и 1974 гг. (Кинауи, Шенуда, 1975). Изменился режим выпадения осадков в районе водохранилища Вольта (Cheret, 1973). За счет испарения с увеличившейся водной поверхности возрастает относительная и абсолютная влажность воздуха, что особенно заметно сказывается в аридных и субаридных зонах, например на водохранилищах Насер, Вольта, Кайнджи, Табка и др. Увеличение влажности воздуха и частоты туманов при подпоре озер установлено в Швеции (Cheret, 1973).

Создание обширных водных поверхностей приводит к значительному увеличению скорости и повторяемости ветра и к уменьшению продолжительности штилевой погоды. В районах всех крупных водохранилищ отмечаются ветры типа бризов. Так, на Братском водохранилище скорость дневных бризов у земной поверхности достигает 3—4 м/с, на Камском — до 3,5 м/с, причем в сторону суши бризы проникают на расстояние 2—3 км, захватывая по высоте зону в 100—250 м (на Волгоградском водохранилище — до 300 м) (Матвеев, 1971). На водохранилище Насер бризы опускаются в 1—2 км от уреза воды; над водохранилищем отмечено усиление скорости ветра по сравнению с ветрами над сушей (Кинауи, Шенуда, 1975).

Сильное влияние на микроклимат оказывают водохранилища, используемые для охлаждения производственных вод. Так, в ФРГ вода более 500 водохранилищ и прудов нагревается до

30—40° С (Künstliche Seen..., 1975); аналогичные условия создаются и на водохранилищах-охладителях всех других стран мира. Однако зона влияния таких водохранилищ, ввиду их относительно малой величины весьма незначительна по территории и по высоте воздушного слоя.

В нижних бьефах гидроэлектростанций внутрисуточное перераспределение стока приводит, как правило, к увеличению расходов воды в зимнее время и к усилению влияния их на температуру и влажность воздуха. Значительнее изменяется термический режим ниже глубоководных водохранилищ, в районах с холодным климатом. Так, в нижнем бьефе Красноярского гидроузла температура воды зимой выше на 1,5—2°, а в октябре-ноябре — даже на 4—8° С, причем отепляющее влияние сказывается на расстоянии десятков и даже сотен километров (Макаров, 1969). Аналогичные изменения наблюдаются в нижних бьефах гидроузла Сунхуа и ряда гидроузлов в Канаде, США и других стран. В таких нижних бьефах наблюдается повышение влажности воздуха и образование туманов. Несколько изменяется микроклимат речных долин в нижних бьефах также и в более жарких районах. Так, понижение температуры воды, сбрасываемой из водохранилища Пауэлл, отразилось на микроклимате долины р. Колорадо в зоне водохранилища Мид. Аналогичное влияние оказало создание глубоководного Бухтарминского водохранилища на микроклимат в районе Усть-Каменогорского водохранилища и его нижнего бьефа.

Размеры и скорость повышения уровня и пределы распространения подпора грунтовых вод на разных водохранилищах и разных их участках неодинаковы и зависят в основном от высоты подпора вод реки, режима заполнения и сработки водохранилища, морфологии побережья, характера залегания, механического состава и фильтрационных свойств грунтов. Конечное при данном режиме водохранилища стояние уровня грунтовых вод достигается по истечении многих лет, особенно в глинистых породах и на значительном удалении от водохранилища.

Вопросы влияния водохранилищ на уровень и режим грунтовых вод слабо освещены в известной нам зарубежной литературе, что обусловлено, вероятно, относительно малыми масштабами распространения этого процесса на берегах небольших водохранилищ, наиболее распространенных в промышленно развитых странах мира. На больших же равнинных водохранилищах в этих странах, как правило, проводятся специальные мероприятия, направленные на предотвращение подтопления ценных сооружений и сельскохозяйственных земель. На крупных же равнинных водохранилищах в развивающихся странах процесс повышения уровня грунтовых вод, несомненно, наблюдается, однако он не привлек, по-видимому, еще внимания из-за слабой освоенности большей части побережий таких водохранилищ и относительно небольшой длительности их эксплуатации. Кроме

того, полное или почти полное опорожнение многих водохранилищ, в первую очередь ирригационных, противопаводковых и аккумулирующих сток в целях осуществления попусков, не создает условий для стабильности процесса повышения уровня грунтовых вод; такие водохранилища широко распространены в равнинных районах США, Мексики, Индии, Пакистана, ЮАР, Китая и других стран.

Значительное вертикальное и горизонтальное распространение подпора грунтовых вод рассматривается обычно как нежелательное явление, поскольку оно ведет к заболачиванию прибрежных территорий. В зарубежной литературе имеются лишь отрывочные сведения о распространении таких процессов на берегах водохранилищ. Так, например, имеются сведения о значительном подъеме уровня грунтовых вод на берегах водохранилищ Влоцлавек на р. Висле (Szotyczynski, 1971) и Зегже на р. Нареве (Польша), где через 3,5 года после заполнения водохранилища уровень грунтовых вод поднялся на 0,45—0,88 м, что привело к заболачиванию десятков гектаров земель (Cheret, 1973); при создании и эксплуатации водохранилища Джердап на Дунае пришлось осуществить ряд мероприятий, направленных на уменьшение фильтрации через противопаводковые дамбы и подтопления прилегающих земель (Cheret, 1973).

На небольших равнинных водохранилищах с малой величиной подпора уровня воды (таких водохранилищ много, например, в зарубежной Европе — в ФРГ, Франции, Австрии) подпор уровня грунтовых вод незначителен; его оценивают, как правило, положительно, поскольку небольшое подтопление улучшает водный режим прибрежных земель, занятых лесами и лугами. В ряде случаев повышение уровня грунтовых вод — одна из задач подпора рек, как, например, на многих предгорных речках Альп. Как положительное явление рассматривается подъем уровня грунтовых вод на берегах водохранилищ на реках Энс, Дунай и Траун в Австрии (Kraus, 1954; Donat, 1955; Kraftwerkbau, 1964). Очень часто в зарубежной практике подпор уровня грунтовых вод при создании водохранилищ рассматривают как средство для обогащения запасов грунтовых вод в целях их использования для питьевого водоснабжения.

В СССР и за рубежом очень большое внимание уделяется вопросам фильтрации воды из водохранилищ. Тем не менее уровень изучения гидрогеологических условий в отдельных случаях оказывается недостаточным, и после создания водохранилищ потери воды на фильтрацию значительно превышают расчетные. Это иногда приводит к отказу от наполнения водохранилищ до проектных отметок НПУ, как, например, Храмского водохранилища в СССР, некоторых водохранилищ в Югославии и других странах. Так, водохранилище Гларталъп в Швейцарии наполняется только до отметки 849,5 м (при НПУ 855) из-за

наличия в верхней части водохранилища сильно фильтрующих закарстованных известняков (Link, 1970).

Влияние водохранилищ на почвы в зоне периодического затопления определяется частотой и продолжительностью затопления. У водохранилищ, расположенных в умеренном климате, в этой зоне формируются обычно болотные и торфяно-глеевые почвы, для которых характерна высокая степень заторфованности и большое содержание закисных форм железа. Ширина этой полосы определяется в основном наклоном поверхности и амплитудой колебания уровня воды. Интенсивность процесса подтопления зависит от частоты и продолжительности затопления.

В зоне подтопления изменения в почвенном покрове происходят вследствие поднятия грунтовых вод. В подзоне сильного подтопления (с глубиной залегания грунтовых вод менее 1 м[1]) уровень грунтовых вод нередко доходит до поверхности земли. Нисходящий поток почвенного раствора сменяется устойчивым восходящим. Поэтому в умеренном поясе, по данным С. А. Владыченского (1958), преобладают болотные, торфяно-глеевые и торфянисто-подзолисто-глеевые почвы с сильно торфянистой дерниной. В аридных районах в этой зоне обычно преобладают вторично засоленные почвы.

В зоне умеренного подтопления, где уровень грунтовых вод располагается на глубине от 1 до 2 м от поверхности земли, доминирует процесс так называемого оглеения подзолистых почв. Его характерные признаки — повышение содержания гумуса, азота, фосфора, кальция и соединений железа, появление в верхнем горизонте почв охристых пятен и прожилок и уменьшение кислотности в нижнем слое под действием грунтовых вод, имеющих нейтральную реакцию. В черноземовидных почвах может происходить рассоление, отмеченное, например, на берегах Цимлянского и ряда других водохранилищ. На участках с более близким к поверхности залеганием грунтовых вод указанные изменения химических процессов усиливаются и наблюдаются ясно выраженные процессы оглеения почв; дерново-подзолистые почвы могут переходить в подзолисто-глееватые. Можно предполагать, что в аридных районах в этой зоне почвы могут вторично засолиться.

Положение уровня грунтовых вод на глубине 2—3 м, характерное для зоны слабого подтопления, вызывает увеличение подвижности гумусовых веществ и железа и оглеение этих горизонтов (образование фосфатов закисного железа), выражающееся в появлении разрозненных пятен и прослоек зеленоватого

[1] Следует отметить, что глубина залегания зеркала грунтовых вод — понятие, применительно к вопросу динамики почв, в известной мере условное. Это объясняется тем, что степень увлажнения почв определяется также характером и величиной капиллярного подъема. Величина его в зависимости от механического состава грунтов может колебаться от 0,5-2,0 до 6,0 м при наполненности капилляров до 75—80%.

цвета. В зоне климатического влияния изменения в почвенном покрове могут быть вызваны увеличением количества осадков и влажности воздуха, но, скорее всего, они в большей степени обусловлены трансформациями растительного покрова, который более чутко реагирует на эти изменения.

Наблюдения показывают, что на берегах водохранилищ многолетнего регулирования, характеризующихся большой амплитудой многолетних колебаний уровня, влияние их на почвы менее постоянно, так как в годы с низкими уровнями признаки заболачивания и оглеения на многих участках исчезают или ослабевают (Успенская, 1966). Большая сработка некоторых водохранилищ сезонного регулирования в бездефицитный период также уменьшает воздействие подтопления на почвы.

В нижнем бьефе почвенный покров изменяется дифференцированно. Это объясняется своеобразием трансформации гидрологического режима рек — более сильным и продолжительным увлажнением прируслового части поймы и уменьшением поверхностного увлажнения со остальной территории. Поэтому в узкой прирусловой полосе изменения в почвенном покрове проявляются в интенсификации процессов заболачивания или оглеения и аналогичным процессом в зоне подтопления вокруг водохранилищ. На большей части территории поймы, где уменьшается или прекращается увлажнение поймы паводковыми водами, наблюдается ксерофитизация почв. Особенно заметно это в аридных районах, где отсутствие весенних или весенне-летних разливов объясняет высокую интенсивность вторичного засоления поймы. До создания водохранилища периодическое промывание способствовало снижению засоленности почв и образованию горизонта пресных вод, который препятствовал капиллярному подъему более глубоких засоленных вод.

Создание водохранилища резко уменьшает размеры и трансформирует режим поступления наносов в нижний бьеф. В условиях аридных районов ежегодные поступления наилка поддерживали плодородие пойменных земель. Так, например, во время ежегодных разливов Нила на его пойме откладывалось до 5,4 млн. м³ ила. В результате создания водохранилища Насер этот процесс прекратился; для восстановления плодородия, по расчетам некоторых исследователей, необходимо внесение не менее 13 тыс. т аммиачной селитры в год. Однако и для почв пойм рек зоны избыточного увлажнения поступление взвешенных наносов не менее важно. Так, по данным Б. В. Воробьева (1973), в нижнем бьефе Воткинского гидроузла 55% снижения урожайности сена и 90% уменьшение количества кормовых единиц в нем — следствие снижения количества плодородного наилка, ранее ежегодно оставлявшегося во время паводка.

Постоянное и глубоководное (более 1,5—2 м) затопление территории приводит к полной гибели существовавшей ранее наземной растительности. В зоне мелководного постоянного затопления (включая ежегодно осушаемые участки) также почти полностью отмирает древесно-кустарниковая и изменяется травянистая растительность. При относительно длительных затоплениях отмирают даже болотные растения. Большую жизнестойкость в условиях затопления имеют различные ивы. На Днепровском водохранилище ивовые заросли развиваются нормально даже на участках, вот уже много лет затопленных на глубину до 1 м в течение большей части вегетационного периода. На водохранилище Зегже в Польше наиболее устойчивым в зоне затопления оказался дуб (Cheret, 1973). В субтропических аридных районах древесная растительность в зоне затопления, как правило, не сохраняется.

В зоне краткосрочного мелководного затопления и в нижней и средней частях зоны временного затопления формируется полоса гидрофильных и гигрофильных ассоциаций. Вдоль берегов водохранилищ в зоне умеренного климата при глубинах менее 2—2,5 м формируется пояс из тростника, камыша или рогоза. В более глубоких местах обычны рдесты, уруть и другие плавающие и погруженные водные растения.

На развитие гигрофильной и гидрофильной растительности большое влияние оказывает уровенный режим водохранилища, защищенность берегов от волнения, характер и состав прежней растительности, а также рельеф и грунты дна, химизм воды, наличие в водохранилище растительноядных рыб и т. п. На водохранилищах с большой высотой волн зарослей водной растительности на открытых участках побережья почти нет. Не развивается растительность также и у приглубых берегов, при большой сработке особенно в вегетационный период и при чередовании лет с высокими и низкими уровнями наполнения, как, например, на Рыбинском водохранилище. На берегах водохранилища Насер практически нет зарослей тростника и камыша, их появление отмечено здесь только в изолированных водоемах, образующихся вследствие просачивания воды через песчаные перемычки (например, массив Куркур); при большом подъеме уровня воды в водоеме камыш исчезает (Кипаун, Шенуда, 1975). Постоянство уровня воды, наоборот, способствует быстрому формированию прибрежных и водных сообществ. Летнее снижение уровня благоприятствует массовому распространению земноводных видов растений. Для многих водохранилищ в субтропических, тропических и экваториальном поясах земного шара характерно бурное распространение водных сорняков (рис. 27), особенно водного гиацинта (Eichornia crassipes, E. azurea), водного папоротника (Salvinia auriculata), нильского салата (Pistia stratiotes) и др. Однако на водохранилищах с большой сработкой водный гиацинт, папоротник и нильский салат распространены незначительно. Практически нет этих водных растений на водохранилище Насер, хотя в пойме Белого Нила они занимают огромные площади (Cherel, 1973; Leentvaar, 1975).

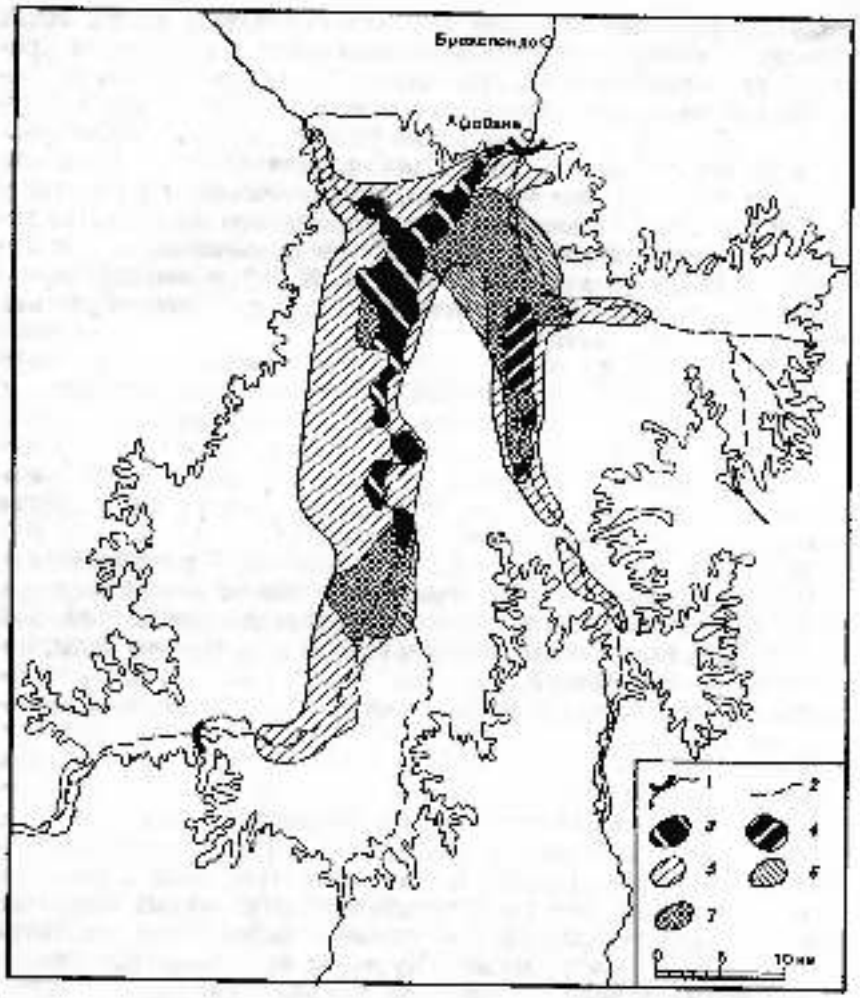


Рис. 27. Схема зарастания водохранилища Бровендо (Суринам) (Man-Made Lakes, 1973)

1 — плотина; *2* — затопленные русла рек; *3* — распространение водного гиацинта в 1964 г.; *4* — то же, ротоглистника; *5* — распространение водного гиацинта в 1966 г.; *6* — то же, ротоглистника; *7* — зоны распространения обоих видов растений.

В зонах подтопления (сильного, умеренного и слабого) древесно-кустарниковая и травянистая растительность по-разному реагируют на изменение увлажненности. Древесно-кустарниковая растительность с глубже расположенными корневыми системами, как правило, более чутко откликается на изменение природных условий. В зоне сильного подтопления большинство де-

ревьев или гибнет, или же сильно угнетено. Последнее выражается в усыхании крон, разрежении древостоев и снижении их бонитета. Однако выносливость различных древесных и кустарниковых пород к подтоплению различна. По наблюдениям на берегах Цимлянского и Волгоградского водохранилищ большую устойчивость при подтоплении, кроме ив, показали вяз мелколистый, ясень зеленый, гледичия, скумпия и др. В зонах умеренного и слабого подтопления водное и минеральное питание растений, как правило, улучшается, прирост древесины увеличивается иногда на 50—70% (Дьяконов, 1975).

Состав травянистой растительности изменяется в полосе более узкой, чем древесно-кустарниковая. При положении уровня грунтовых вод на глубине менее 0,5- 0,7 м луговое разнотравье обедняется; из травостоя выпадают многие ценные в кормовом отношении виды трав, например бобовые и многие злаки. Однако некоторые злаки и в таких условиях развиваются хорошо (полевица белая, мятлик, тимофеевка, лядвенец и др.). В этой зоне обычно доминируют гигрофиты, в том числе осоки, щучка и др. При умеренном и слабом подтоплении, когда уровень грунтовых вод располагается на глубине 0,7—1 м, улучшается не только водный, но и питательный режим, в результате чего увеличивается общая масса травостоя таких трав, как костер безостый, овсяница красная, полевица белая, мятлик, клевер, тимофеевка, ледвенец рогатый и др.

В зоне климатического влияния существенных изменений в условиях произрастания и в видовом составе растительности обычно не наблюдается; более заметны фенологические сдвиги.

Гидрологический режим рек в нижнем бьефе гидроузлов обусловливает изменения в характере растительности, соответствующие сдвигам в увлажнении почвенного покрова. Влаголюбивая растительность остается в узкой прируслової полосе, а на большей части поймы развиваются менее влаголюбивые сообщества. Сильнее, вплоть до опустынивания, это сказывается в аридных районах, где весенние или весенне-летние наводки были (при относительно глубоком залегании уровня грунтовых вод) основным источником создания запасов влаги.

Сокращение продолжительности и частоты весенних разливов отрицательно сказывается на развитии характерных для пойм и дельт южных рек зарослей тростника и камыша, для которых режим естественного длительного затопления во время вегетационного периода был благоприятен. Заросли их после зарегулирования реки деградируют, часто уступая место солончаковым сообществам. Так, например, после частичного зарегулирования Амударьи тростниковые заросли в ее дельте, развитые ранее на площади около 0,5 млн. га, сохранились лишь на небольших участках, достаточная степень увлажнения которых поддерживается искусственно.

В районах избыточного увлажнения роль паводков для создания запасов влаги и, следовательно, для биологической продуктивности невелика, так как растения достаточно обеспечены водой за счет атмосферных осадков. В некоторых случаях, например на р. Оби, нижнем Иртыше и т. д., умеренное сокращение продолжительности затопления поймы благоприятствует увеличению биомассы растительности. В Приамурье, Приморье и в северо-восточных районах Китая пойменные земли затопляются часто в разгар вегетации луговой растительности, что приводит к ее зависанию, а иногда и к полной гибели.

На поймах большинства речных долин зоны умеренного климата при зарегулировании стока перестраиваются почвенно-растительные комплексы. На пойме высокого уровня начинают господствовать террасовые или водораздельные комплексы; на пойме среднего уровня развиваются комплексы высокой поймы (затопление на небольшой срок один раз в несколько лет); пойма низкого уровня приобретает черты поймы среднего уровня. На поймах рек аридной зоны лишь на низких уровнях в почвенно-растительном покрове сохраняются элементы пойменного ландшафта.

В субтропических и тропических поясах сокращение частоты и длительности паводков также уменьшает увлажнение и удобрение пойм, в результате чего условия развития растительности и животного мира ухудшаются, как это произошло, например, в долинах рек Замбези, Лимпопо, Вольты и др. Вместе с тем уменьшение проточности пойменных водоемов приводит к их быстрому зарастанию тиаштом, папоротником и др. (Cheret, 1973).

На почвы и растительность пойм влияют также весенние затопления. Так, паледи на лугах и пашнях могут на отдельных участках держаться до середины мая, что не только нарушает нормальный фенологический цикл, но и способствует развитию процесса оглеения почв с соответствующим изменением растительного покрова (Волковский, 1962).

Появление нового искусственного водоема — водохранилища — причина существенных изменений в животном мире обширного района. Во влажных поясах (умеренном, тропическом и экваториальном) создание водохранилищ влияет на животный мир почти всегда отрицательно, так как оно приводит к затоплению территорий с особенно многообразными условиями и богатой пищей; пойменно-долинные экосистемы обычно характеризуются разнообразием животного мира (Инженерно-географические проблемы..., 1972; Trefethen, 1972; Townsend, 1975; и др.).

Во время заполнения водохранилищ, продолжающегося иногда в течение ряда лет, весьма заметно падает численность многих видов животных из-за гибели молодняка в результате непрерывно меняющихся условий увлажнения. Так, например, затопляются гнезда и гибнут отложенные яйца у многих видов птиц.

При создании водохранилищ в поймах рек с богатым растительным и животным миром, например в степных районах СССР, многие населяющие их животные концентрируются на отдельных сохранившихся участках в верхней части водохранилища и в устьях притоков; из-за недостаточности территории поголовье их обычно уменьшается.

Большие водохранилища в горных районах (как, например, в Кордильерах на территории США и Канады) нарушают пути миграций копытных животных (Trefethen, 1972).

В аридных зонах, в поймах пересыхающих рек и временных водотоков нет условий для обитания многих видов животных, в частности, из-за отсутствия постоянных водопоев. Появление водохранилищ делает пригодными для обитания животных пустынные и степные территории площадью в сотни и тысячи квадратных километров (Trefethen, 1972; Cheret, 1973).

Влияние водохранилищ на животный мир начинает сказываться еще до заполнения их — при лесосводке и лесоочистке ложа, строительстве дорог и т. д., когда нарушаются места обитания и кормовые угодья.

Во время наполнения водохранилища, особенно если оно происходит быстро, наблюдается массовая миграция животных. Многие животные, убегая от прибывающей воды, скапливаются на временно образующихся островах и там гибнут в результате поднятия уровня. На некоторых крупных водохранилищах отмечалась гибель даже некоторых полуводных животных, таких, как выхухоль, кутора, водяная полевка. Некоторые виды животных — ондатра, лоси и др.— страдают из-за сокращения кормовой базы. Переформирование берегов приводит к уничтожению мест обитания отдельных видов животных, например, разрушаются гнезда ласточек-береговушек на абразионных обрывах.

В отдельных случаях вытеснение животных из зоны затопления приводит к неблагоприятным последствиям для человека (уничтожение посевов скопившимися в большом количестве животными, появление угрозы эпидемий и др.).

Появление водохранилища в ряде случаев может изменить пути перелета птиц. На некоторых водохранилищах перелетные птицы задерживаются на все лето, гнездятся и выводят птенцов.

Условия обитания животных изменяются и в процессе эксплуатации водохранилищ. Так, на мелких млекопитающих и птиц сильно влияют колебания уровня воды; численность грызунов на берегах Рыбинского водохранилища в годы с различным уровнем воды изменяется в 3—10 раз (Калецкая, 1957).

Сработка уровня весной приводит к обсыханию икры у многих земноводных, что является, очевидно, главной причиной их отсутствия на многих участках водохранилищ. Зимняя сработка уровня лишает полуводных животных (выдру, ондатру, норку и др.) свободного выхода в воду подо льдом. В результате на ряде водохранилищ отмечено переселение этих животных за его пре-

дены (Ретеюм, 1968). В то же время при зарастании мелководий, на заболачиваемых берегах, на всплывших и прибитых к берегу торфяниках нередки создаются благоприятные условия не только для водоплавающих птиц, но и для грызунов. Значительно возрастает количество беспозвоночных.

В нижних бьефах водохранилищ изменения животного населения обусловливаются в основном изменением почвенно-растительного покрова и заключаются в сокращении численности полуводных животных и гнездящихся в пойме птиц. Резкое ухудшение условий жизни ондатры произошло в дельте р. Или после создания Капчагайского водохранилища, в дельте р. Пис ниже водохранилища Гордон М. Хрум (Канада) и в нижних бьефах ряда других гидроузлов. Так, в дельте р. Пис, расположенной примерно в 1100 км ниже указанного водохранилища, сокращение расхода весеннего половодья с 8700 до 3000 м³/с снизило уровни в дельте реки на 3,6 м, что привело к сокращению площади и длины береговой линии дельтовых водоемов примерно на 36—38%; некоторые озера стали промерзать до дна. Это привело к тому, что в национальном парке Баффало численность ондатры уменьшалась следующими темпами (в тыс. голов): в 1965—1966 гг. 144, в 1969—1970 гг.— 32, в 1970—1971 гг. — 8, в 1971—1972 гг.— 2 (Townsend, 1975).

В результате всех отмеченных изменений природных условий при создании водохранилищ постепенно образуется новый, сбалансированный по условиям жизни биоценоз. На водохранилищах с небольшими колебаниями уровней биоценозы более богаты и быстрее формируются, чем на водохранилищах со значительной сработкой. Наиболее неблагоприятны в этом отношении водохранилища многолетнего регулирования.

Влияние создания и эксплуатации водохранилищ в верхних и нижних бьефах гидроузлов на флору и фауну самих водоемов рассматривается в гл. V.

ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

Исследования, проведенные в течение последних десятилетий как по инициативе Всемирной организации здравоохранения, так и в соответствии с национальными программами многих стран, позволили установить основные последствия создания крупных водохранилищ для условий жизни и состояния здоровья населения (Авакян, Шарапов, 1968; 1977; Deom, 1975).

Общеизвестны положительные социально-экономические последствия гидростроительства, способствующие улучшению условий труда, быта и отдыха людей и снижению в этой связи общей заболеваемости.

Вместе с тем в ряде случаев существенны и негативные последствия создания водохранилищ — ухудшение эпидемиологической и паразитологической обстановки, ухудшение некоторых климатических параметров, повышение уровня стояния грунтовых вод, замена привычного вида трудовой деятельности значительных контингентов населения, изменение характера его питания. Все эти факторы также влияют на состояние здоровья и общую заболеваемость населения.

Особого рассмотрения заслуживает изучение влияния водохранилищ на изменение природных условий обитания возбудителей и переносчиков некоторых инфекций. Как известно, с водным фактором связано распространение инфекционных заболеваний, вызываемых возбудителями (микроорганизмами), тифозно-паратифозной группы, холеры, дизентерии, туляремии, лептоспироза, бруцеллеза. Тем же путем могут передаваться и возбудители вирусных кишечных заболеваний, инфекционного гепатита и аденовирусных заболеваний; в меньшей степени это касается полиомиелита и др. (Черкинский..., 1975).

При создании водохранилищ подчас возникают условия, способствующие сочетанию трех обстоятельств, необходимых для распространения кишечных инфекций (Черкинский..., 1975):

1) возможность попадания в воду возбудителей заболеваний с выделениями больных или бациллоносителей;

2) возможность достаточно длительного выживания в воде вирулентных форм возбудителей;

3) возможность использования зараженной воды человеком в хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых целях.

Обстановка, опасная в отношении возникновения вспышек кишечных инфекций, осложняется в период строительства водохранилищ. Здесь могут вступать в силу такие факторы, как большое скопление строительных рабочих, прибывающих из районов с различной эпидемической обстановкой, высокая плотность населения во временных лагерях и поселках строителей, недостаточный уровень профилактических мероприятий, коммунально-бытового обслуживания, общественного питания (Black, 1975; Imevbore, 1975). Усугубление действия этих факторов обычно вызывается их сочетанием с климатическими особенностями субтропического и тропического поясов, как, например, при строительстве плотины и создании водохранилища Кайнджи в Нигерии. За 4 года в строительстве участвовало более 20 тыс. рабочих и специалистов, размещенных с семьями в специально сооруженных поселках; кроме них, к зоне строительства тяготело большое количество людей, размещавшихся в близлежащих деревнях. Наиболее типичными для этого периода оказались инфекционные кишечные заболевания и производственный травматизм. Однако большинство исследователей считает, что своевременное принятие широких профилактических мер может существенно снизить инфекционную заболеваемость строительных рабочих и членов их семей.

В период эксплуатации водохранилища уровень кишечной инфекционной заболеваемости зависит от характера водоохранных мероприятий, надежности санитарной охраны зон питьевых водозаборов, эффективности обработки воды при централизованном водоснабжении, т. е. от факторов, обычных для незарегулированных водоемов. Однако высказываются соображения о менее интенсивных процессах бактериального обсеменения зарегулированных водотоков и в качестве примера приводятся данные о маловыраженной заболеваемости холерой (лишь несколько случаев) населения на берегах водохранилища Канаджи во время эпидемии 1971 –1972 гг. (Imevbore, 1975).

Большие сложности связаны с изменением паразитарной обстановки под влиянием строительства и эксплуатации водохранилищ. В значительной степени это касается водохранилищ, расположенных в зонах распространения ряда паразитарных заболеваний (Африка, Азия, Южная Америка), где климатические условия (высокие температуры, повышенная влажность) особенно благоприятны для развития промежуточных форм возбудителей и переносчиков паразитарных болезней.

Паразитарные заболевания, связанные с водным фактором, на протяжении многих лет являются предметом внимания Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). Еще в 1950 г. группой экспертов ВОЗ обращалось внимание на необходимость принятия энергичных мер противодействия распространению этих болезней при создании крупных гидротехнических сооружений и ирригационных систем, при изменении режимов орошения — переходе от сезонного к круглогодичному и т. п. (Deom, 1975). Наиболее неблагоприятные последствия отмечаются в странах тропического и субтропического поясов.

Создание крупных водохранилищ в Таиланде позволило выявить связь патологии человека с изменениями окружающей среды в прилегающих к водохранилищам районах. Создание крупных водохранилищ значительно расширило промысел рыбы, привлекло к ним значительные контингенты населения, что повысило количество потребляемых белков: однако рыбный рацион питания оказался для местных жителей причиной нарастания числа случаев столь опасных гельминтозов, как шистосомоз, описторхоз и гнатостомиаз. Обводнение обширных территорий в сочетании с климатом Индокитая создало весьма благоприятные условия для развития первичных и вторичных переносчиков этих заболеваний (моллюсков, рыб). В то же время обычаи их употребления в пищу в сыром виде достаточно прочны среди местного населения. Отмечают, что наиболее распространенным заболеванием после создания водохранилищ в северо-восточном Таиланде стал шистосомоз. Особенно выраженными оказались кожные формы болезни.

Иная паразитарная обстановка сложилась в прибрежной зоне водохранилища Канаджи в Африке. Район этот и до создания водохранилища считался эндемическим очагом онхоцеркоза (имеются данные о том, что прежде около 5,7% живущего здесь населения в связи с этим заболеванием лишилось зрения). Однако после заполнения водохранилища резко сократились участки территории, подходящие для выплода мошки-переносчика. В результате заболеваемость онхоцеркозом значительно снизилась, хотя вместо 10 прибрежных деревень появилось около 70 новых селений (Deom, 1975; Imevbore, 1975).

Наряду с уменьшением заболеваемости онхоцеркозом в районе Канаджи значительно увеличилось число заболевших шистосомозом; четыре года спустя после ввода водохранилища в эксплуатацию уже около 31% обследованного прибрежного населения было поражено этой болезнью (Deom, 1975; Imevbore, 1975).

Распространение этого заболевания приобрело серьезнейшее значение в Африке после завершения строительства водохранилищ (Насер, Сеннар и др. в бассейне Нила) и введения круглогодичного орошения. За несколько лет частота случаев заболевания шистосомозом возросла с 5 до 80%. По данным ВОЗ, возбудитель этого заболевания — Schistosoma haematobium обнаруживался у 61,3% рыбаков, населяющих берега водохранилища Насер. Аналогичные изменения заболеваемости шистосомозом наблюдались и среди населения района Джезира в Судане после строительства плотины Сеннар на Голубом Ниле. Система ирригационных каналов и здесь послужила идеальным местом развития улиток — промежуточных хозяев возбудителя болезни.

Создание водохранилищ способствует ликвидации речных логов — мест размножения мошки, однако она может сохраняться (или образоваться) на быстрых реках, впадающих в водохранилища. В качестве примера можно привести африканские водохранилища Вольта и Кариба.

Возможность расширения ареала обитания другого кровососущего насекомого — мухи цеце — переносчика смертельно опасного трипаносомоза — сонной болезни, также отмечена при создании некоторых водохранилищ Африки. Многочисленны примеры появления у водохранилищ дополнительных или новых очагов выплода переносчиков малярии — комаров-анофелесов, нуждающихся в мелководьях для периода развития личинок. Успешная борьба с малярией в Советском Союзе, завершившаяся практическим искоренением этой болезни,— яркий пример эффективности целенаправленных профилактических мер, обращенных главным образом на ликвидацию очагов выплода комаров.

Оценивая характер и степень влияния водохранилищ на состояние здоровья населения, нельзя не учитывать также действие уже упомянутых и столь существенных факторов, как вынужденная его миграция с затопляемых территорий, изменение характера трудовой деятельности переселенных контингентов, специфики питания и т. п.

При оценке негативных последствий создания и эксплуатации следует иметь в виду, что, помимо паразитарной и инфекционной заболеваемости, речь идет о весьма косвенных влияниях водного фактора, подчас полностью перекрываемых социально-экономическими явлениями, не имеющими прямой связи с созданием водохранилища (низкий уровень белковой и витаминной обеспеченности, характер питания, недостатки медицинского обслуживания, профилактических мероприятий, соблюдение традиций и т. п.). При правильном решении этих вопросов действие косвенных негативных факторов, сопутствующих гидростроительству, может быть предотвращено или значительно ослаблено, о чем свидетельствует опыт СССР.

Глава V

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ

БАКТЕРИАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Бактериальные процессы играют важную роль в формировании качества воды и создании биологической продукции водоемов. Микробиологическая изученность водохранилищ еще недостаточна, хотя имеются результаты таких исследований для некоторых водохранилищ мира. Более или менее систематические исследования бактериофлоры водохранилищ в течение полного вегетационного периода или ряда сезонов известны в основном для водохранилищ СССР.

Необходимо принимать во внимание, что в первую очередь исследовались более крупные и важные в хозяйственном отношении водохранилища. Большинство водохранилищ мира создано за последние два-три десятилетия, и соответственно их микробиологическое изучение имеет очень короткую историю; из крупных водохранилищ мира (объемом более 1 км³) изучено около 10%, а в СССР систематические исследования проводятся на 16 крупных водохранилищах, т. е. охватывают 25%.

В Советском Союзе наиболее исследованы микробиальные процессы в Рыбинском водохранилище, где по некоторым показателям имеются данные за 15 лет (Романенко, 1972), в водохранилищах Днепровского каскада (Гак, 1975), в ангарских водохранилищах (Кожова, 1970; Мамонтова, 1976) и в некоторых других.

За рубежом многолетние и разносторонние микробиологические исследования проведены на водохранилищах Влтавского каскада в ЧССР (Straškrabová et al., 1973) и на водохранилище Вольта (Biswas, Ruih, 1972). Микробиологических сведений о крупнейших водохранилищах мира, расположенных в Африке, США и Канаде, в известной нам литературе нет.

Большинство работ по микробиологии водохранилищ относится к последним годам (1970—1975), что и дало возможность подвести некоторые итоги.

Имеющиеся микробиологические работы не равноценны по широте и глубине охвата и законченности представленных результатов; в некоторых из них дается статистическая обработка многолетних наблюдений (Романенко, 1972; Гак, 1975; Мамон-

Таблица 23

Численность бактерионланктона в водохранилищах

Водохранилище	Год заполнения	Объем, км³/средняя глубина, м	Полный водообмен	Период измерения	Число определений	Общая численность бактерий, млн. кл./мл	Биомасса, г/м³	Гетеротрофн. тыс. кл./мл	Источник
Олиготрофные									
Иркутское	1956—1959	46,5/—	24	III.1959—II.1960	—	0,45	—	—	Кожова, 1970
Кайраккумское	1956—1959	4,2/12,0	—	—	—	0,4—0,75	0,5—1,12	0,4—0,75	Богданов, 1975
Штеховице (ЧССР)	1946	0,01/0,8	240	VI—IX. 1963	—	0,59	—	0,28	Straškrabova et al., 1973
Мезотрофные									
Слапы (ЧССР)	1954	0,3/—	9	VI. 1963—VI. 1964	—	0,53	—	0,89	Procházkova et al. 1973
Братское	1961—1967	169,3/31,0	0,5	V—IX. 1964—1970	—	0,85	0,77	0,72	Кожова, Мамонтова, 1978
Ткибульское	1956	0,05/6,8	9—12	VIII.1959—V.1960	—	—	1,1	1,23	Якобашвили, 1966
Усть-Каменогорское	1954	0,6/17,6	33	V—IX.1959—1963	—	1,5	0,71	0,1—1,0	Гулая, 1975
Рыбинское	1940—1947	25,4/5,6	1,8	V—XI.1956—1958	750	1,42±0,18	—	0,27	Романенко, 1972

Таблица 23 (окончание)

Водохранилище	Год заполнения	Объем, км³/средняя глубина, м	Полный водообмен	Период насыщения	Число определений	Общая численность бактерий, млн. кл./мл	Биомасса, г/м³	Гетеротрофн. тыс. кл./мл	Источник
Горьковское	1955—1957	16,0/0,4	—	V—X. 1967	—	1,7	0,77	—	Тарасова, 1970
Куйбышевское	1955—1957	58,0/9,0	4,4	V—X. 1965—1972	—	1,8—2,7	—	0,3—0,9	Иванов, 1975
Саратовское	1968	13,4/7,3	15—18	V—X. 1971—1973	—	1,8	—	0,47	Дзюбан, 1975
Волгоградское	1958—1960	31,4/10,2	7,7	V—X. 1957—1958	—	1,85	—	1,14	Донецкая, 1970
Цимлянское	1951—1957	23,6/9,0	0,3	V—X. 1961—1969	1300	2,1	1,74	0,1—1,0	Гусак, 1975
Вране (ЧССР)	1935	0,01/4,4	300	VI—IX. 1963	—	2,12	—	5,49	Straškrabova et al., 1973
Вольта (Гана)	1964	148/18,6	—	1964—1970	—	—	—	0,3—1,0	Biswas, Ruth, 1972
Евтрофные									
Ивангородское	1937	1,1/3,4	13,6	V—XI. 1973—1974	200	3,0	—	0,33	Стольбухин, 1978
Киевское	1964—1966	4,6/4,0	9—12	V—X. 1965—1969	250	4,22	3,34	1,42	Гак, 1975
Кременчугское	1959—1961	13,5/6,0	2,3—4,0	IV—XI. 1968	42	3,51	1,83	0,65	»
Днепродзержинское	1963—1965	2,5/4,3	4,3	IV—X. 1968	17	3,44	2,20	0,43	»
Запорожское	1946	3,3/8,0	12—14	IV—X. 1968	19	3,68	2,10	0,88	»
Каховское	1955—1958	18,2/8,4	2—3	IV—X. 1959—1969	100	5,40	4,10	0,91	»
Дубоссарское	1955	0,5/6,5	18	IV—X. 1958—1959	64	6,06	4,88	13,78	Дымченкова-Кривенцова, 1984

това, 1976), а в других не приводится даже среднеарифметических показателей за год (сезон). Поэтому приводимые таблицы в некоторых случаях в целом содержат средние показатели из имеющихся у авторов данных по отдельным станциям в отдельные месяцы. Например, в табл. 23 для водохранилищ Иртышских, Дубоссарского и Волги приведены полученные нами средние данные о численности и биомассе бактериопланктона и числе гетеротрофных бактерий.

Приведенные в табл. 23 данные позволяют классифицировать водохранилища по трофическим типам. По данным табл. 23 следует, что в олиготрофных водохранилищах численность бактериопланктона находится в пределах 0,4 –0,6 млн. клеток на 1 мл, его биомасса составляет 0,1 –1,2 г/м³, а число гетеротрофов — 0,3—0,75 тыс. кл./мл. В евтрофных водохранилищах эти показатели значительно выше. Так, концентрация бактерий в воде колеблется от 3 до 6 млн. кл./мл, биомасса бактерий составляет 2—5 г/м³, а численность гетеротрофных бактерий колеблется в широких пределах — от 0,3 до 13,8 тыс. кл./мл. В мезотрофных водохранилищах (Братское и большинство волжских водохранилищ) общая численность бактерий колеблется в пределах 0,5 2,7 млн. кл./мл, биомасса бактерий — 0,4–1,7 г/м³, а числ гетеротрофов 0,3—5,5 тыс. кл./мл; пределы колебаний концентраций бактерий в водохранилищах близки к показателям озер. По данным табл. 23 следует также, что минимальный предел числа гетеротрофов для водохранилищ разных типов примерно одинаков, а максимальная численность сильно различается.

При сравнении концентраций бактерий в разных водохранилищах скорее следует принимать во внимание их общую численность, а не биомассу, так как при определении последней некоторые авторы учитывали коэффициенты усыхания бактериальных клеток на фильтрах (Кожова, 1970; Гулая, 1975), другие же привели биомассу без пересчетного коэффициента. В табл. 23 приведены данные о биомассе бактерий, вычисленные авторами на основании измеренных ими средних объемов бактериальных клеток. Расчет биомассы на основании условного стандартного объема бактерий (например, 1 мкм³) может привести к существенным ошибкам, так как, по нашим данным (Гак, 1975), этот показатель довольно значительно меняется в разных водохранилищах в разные сезоны (табл. 24).

Есть попытка классифицировать водоемы по отношению числа бактерий, растущих на богатой среде, к числу бактерий, растущих на бедной среде. Это отношение назвали ауксотрофным индексом I_A:

$$I_A = (a+b)/b = a/b+1,$$

где a — концентрация бактерий, растущих только на богатой среде (ауксотрофы); b — концентрация бактерий, растущих и на бедной, и на богатой среде (прототрофы). Для классификации

Таблица 24

Средний объем бактериальных клеток в воде водохранилищ Днепра (мкм³) в 1968 г.

Водохранилище	апрель-май	июль-август	сентябрь-ноябрь	Средняя величина за вегетационный сезон
Кременчугское	0,53	0,58	0,44	0,55
Днепродзержинское	0,83	0,64	0,59	0,69
Запорожское	0,68	0,49	0,03	0,53
Каховское	0,36	0,48	0,58	0,47

используется также психрофильный индекс I_P, как отношение бактерий, растущих на богатой среде при 20° С, к числу бактерий, растущих на богатой среде при 37° С:

$$I_P = (P-m)/m = P/m+1,$$

где m — мезофилы (могут расти при 37° С и при 20° С); P — психрофилы (могут расти только при 20° С).

В результате исследований ученые Испании (Guerrero et al., 1975) установили, что:

для олиготрофных водоемов $I_A < I_P$, $b > m$, $a < p$;
для мезотрофных водоемов $I_A \geq I_P$, $a \leq p$;
для евтрофных водоемов $I_A > I_P$, $a > p$.

Значения индексов, полученных для водохранилищ Сиурана, Риу-Декальос и Сау (в Испании), хорошо согласуются с этими условиями. Ауксотрофный и психрофильный индексы соответственно равны: для водохранилища Сиурана — 3 и 3, для Риу-Декальос — 4 и 4, для Сау 6 и 2.

Микробное население в процессе формирования водохранилища изменяется. Некоторые авторы отмечают высокую концентрацию бактерий в первые годы после заполнения водохранилищ с последующим снижением ее до исходных значений в реке или несколько ниже (рис. 28). Это явление обычно объясняют евтрофирующим воздействием вымытых в воду биогенных элементов ложа водохранилища.

На водохранилищах Днепра наблюдалось возрастание общего числа бактерий и их биомассы в 1,5—2 раза в первые три года после их заполнения; значительно резче выражен, но более кратковремен подъем числа гетеротрофных бактерий (в 3—10 раз). В днепровских водохранилищах последующее снижение концентрации бактерий связано, как это ни парадоксально, с их дальнейшим евтрофированием, которое привело к сильному «цветению» воды синезеленными водорослями. Доминирование в фитопланктоне этих малосъедобных для фильтрующего зоопланк-

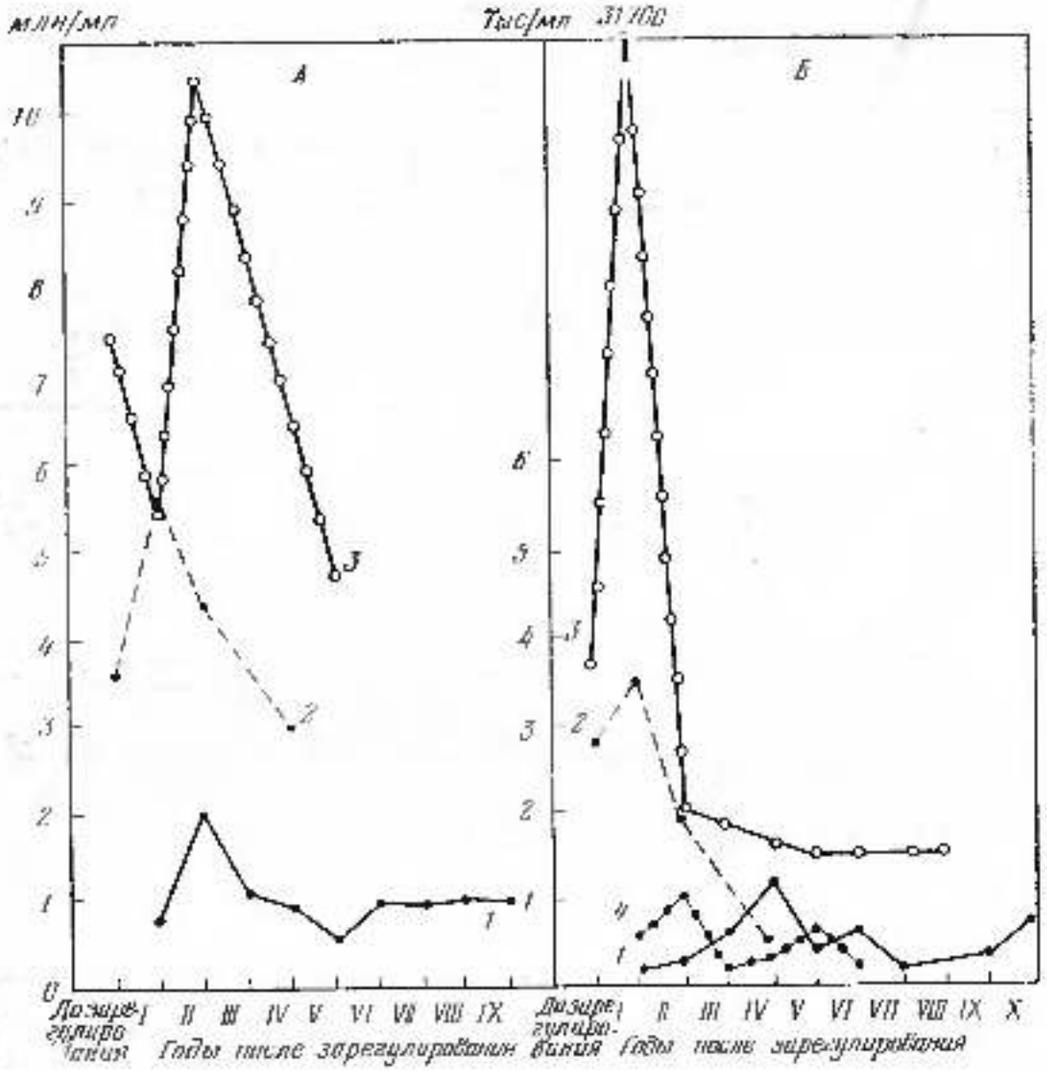


Рис. 28. Формирование микробиологического режима водохранилищ

А — общее количество бактерий (млн. кл./мл); *Б* — численность гетеротрофов (тыс. кл./мл)
1 — Братское; *2* — Киевское; *3* — Кременчугское; *4* — Вольта

тона водорослей вызвало большее потребление бактериально-детритной пищи, что и выразилось в снижении концентрации бактерий в воде (Гак, 1975).

Обращает внимание тот факт, что в нижневолжских водохранилищах концентрация бактерий почти одинакова (1,9 млн. кл./мл в Саратовском и Волгоградском и 2,2 млн. кл./мл в Куйбышевском водохранилищах). Близкие показатели по нижневолжским водохранилищам (2,5—2,6 млн. кл./мл) были получены В. М. Кудрявцевым (1973), Д. З. Гак и Г. А. Инкиной (1975). Общее число бактерий в Кременчугском, Днепродзержинском, Запорожском и Каховском (без учета первых лет с повышенной численностью бактерий) водохранилищах также практически одинаково — от 3,4 до 4,0 млн. кл./мл.

Можно сделать вывод, что в каскадах водохранилищ на равнинных реках через некоторое время после их создания условия обитания бактерий более или менее стабилизируются, что и приводит к уравниванию их численности [1].

Если же рассматривать различные биотопы, то оказывается, что колебания общего числа бактерий гораздо значительнее не только в каскаде, но и в пределах одного водохранилища. Например, в Киевском водохранилище абсолютный размах численности бактериопланктона за 5 лет (1965—1969 гг., 600 измерений) составляет от 1,2 млн. кл./мл до 12 млн. кл./мл, т. е. 10 раз, в том числе размах случайных колебаний в пространстве достигает 2—3 раз (крайние значения в разных точках водной массы в одно и то же время). Примерно таков же размах колебаний во времени — 3—4 раза (крайние значения за 5 лет для одной и той же точки водохранилища) (Гак, 1975). Участки водохранилищ, заросшие водной растительностью, характеризуются наибольшей численностью и активностью микроорганизмов (Марголина, Куклин, 1976).

Внутригодовые колебания численности бактерий (по среднемесячным данным) незначительны и имеют хорошо выраженную сезонную периодичность. На рис. 29 показаны сезонные изменения численности бактериопланктона Рыбинского водохранилища, средние за 15 лет (Романенко, 1972). Подобный ход сезонных изменений бактериопланктона водохранилищ отмечают и другие исследователи. Так, Л. М. Мамонтова (1976) приводит сезонные изменения общей численности бактерий в воде Братского водохранилища. Максимальные значения численности приходятся на июнь-июль и сентябрь-октябрь.

Вопрос о влиянии вышерасположенного водохранилища на нижнее сложен. Так, Н. К. Гулая (1975) показала, что создание на верхнем Иртыше Бухтарминского водохранилища привело к снижению численности бактерий и их активности в нижерасположенном Усть-Каменогорском водохранилище, в которое стали поступать холодные и менее богатые биогенами воды. Исследования водохранилищ в Чехословакии показали, что снижение общего числа бактерий, гетеротрофов, величин $БПК_5$, ХПК в поверхностных водах водохранилища Слапы наблюдалось через 2—4 года после создания выше по течению водохранилища Орлик (Procházkova et al., 1973). Однако в каскаде мелководных озероподобных водохранилищ на равнинных реках такого обедняющего влияния верхних водохранилищ на нижние не наблюдается.

Изучение скорости размножения бактерий и продукции бактериальной биомассы в водохранилищах стало широко развиваться лишь в последние годы. Эти работы выполнены преимущественно на водохранилищах СССР. Результаты исследований

[1] Здесь речь идет только об интегральных средних величинах численности.

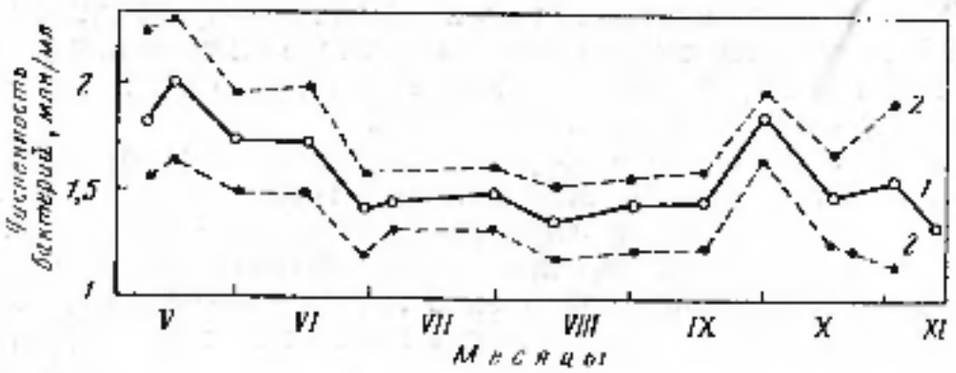


Рис. 29. Сезонная динамика численности бактериопланктона в Рыбинском водохранилище (Романенко, 1972)

1 — средние данные за 13 лет; *2* — доверительный интервал

приведены в табл. 25. Установлено, что константа скорости роста бактерий K или суточный P/B-коэффициент колеблется в пределах 0,23—1,15. Продукция биомассы бактерий составляет в сутки 0,2—2,3 г/м³.

Наблюдается тенденция к возрастанию скорости размножения, продукции бактериальной биомассы от олиготрофных к евтрофным водохранилищам. По-видимому, продукционные характеристики бактериопланктона связаны с обеспеченностью бактерий легкодоступным органическим веществом. Соотношение между продукцией бактериальной биомассы и деструкцией органического вещества, определяемой по потреблению кислорода в скляпках, показано на рис. 30. Из рис. 30 видно, что эти два независимо полученных параметра находятся в прямой зависимости.

Рассмотренные выше материалы позволяют сделать некоторые обобщения о роли бактерий в экосистемах водохранилищ, в формировании качества воды и в трофических связях, определяющих образование биологической продукции. Полнее бактериальные процессы и их роль в экосистеме изучены в Рыбинском водохранилище (Рыбинское водохранилище, 1972) и в днепровских водохранилищах (Гак, 1975).

Установлено, что в Рыбинском водохранилище за вегетационный сезон разрушается около 150 г С/м² органического вещества в результате аэробных, главным образом бактериальных, процессов и еще около 10 г С/м² разрушается анаэробно в грунтах водохранилища; за это же время водоросли и макрофиты продуцируют 65 г С/м² органического вещества. Такое преобладание деструкционных процессов приводит к тому, что в водоеме самоочищение идет очень интенсивно. Анаэробные процессы сульфатредукции и денитрификации, образования метана и водорода в илах имеют лишь локальное значение. В целом водохранилище мало продуктивно и представляет собой мощный резерв чистой воды, пригодной для питьевого водоснабжения.

Таблица 25

Скорость размножения бактерий K, продукция бактериопланктона P и деструкция органического вещества $Д$ в воде водохранилищ

Водохранилище	Период исследования	K, (P/B) сут$^{-1}$	P, г/м³ сут$^{-1}$	$Д$, г С/м² за сезон	Источник
Иркутское	III—X, 1959—1960	0,27	0,21	122	Кожова, 1970
Слапы (ЧССР)	V—X, 1964	0,45	—	315	Straškrabova, 1973
»	V—X, 1965	0,33	—	—	»
Рыбинское	V—XI, 1964	0,35	0,47	—	Романенко, 1972
»	V—XI, 1965	0,67	0,67	116	»
»	V—XI, 1966	0,46	0,49	214	»
»	V—XI, 1967	0,29	0,35	150	»
»	V—XI, 1968	0,29	0,19	64	»
»	1964—1968	0,30	0,43	164	»
Горьковское	II—X, 1957	0,37	—	—	Крашенинникова, 1960
»	V—XI, 1967	0,32	0,30	447	Тарасова, 1973
Саратовское	V—X, 1971	1,06	2,27	—	Дзюбан, 1975
Братское	1965—1972	0,55	0,43	420	Кожова, 1973
Мингечаурское	VII—X, 1958	0,55	—	—	Салманов, 1960
Киевское	V—X, 1965	0,50	1,25	101	Гак, 1975
»	V—XII, 1966	—	1,00	156	»
»	V—X, 1967	0,40	0,65	165	»
»	V—X, 1968	0,23	0,75	133	»
Кременчугское	V—X, 1968	0,47	0,90	197	»
Каховское	V—X, 1968	0,45	0,60	318	»
Днепродзержинское	V—X, 1968	0,93	1,60	209	»
Запорожское	V—X, 1968	1,15	1,50	232	»
Бухтарминское	Лето, 1968—1969	0,54	0,93	220	Гулая, 1975
Усть-Каменогорское	Лето, 1960	0,73	1,01*		»

* В млн. кл/мл.

Велика роль бактерий и в трофических связях Рыбинского водохранилища. Низкая продуктивность фитопланктона, ограниченная вследствие большой цветности воды и ее мутности в результате ветрового перемешивания, не обеспечивает зоопланктон и зообентос достаточным количеством пищи. Роль высших водных растений в образовании первичной продукции очень мала, так как колебания уровня и волнобой препятствуют их развитию. Поэтому значительный источник энергии для экосистемы — это аллохтонное органическое вещество, поступающее с водосбора и включаемое в продукционный процесс посредством бактерий. Эффективность усвоения растворенной легко разлагаемой органики (гидролизат водорослей) бактериями высока

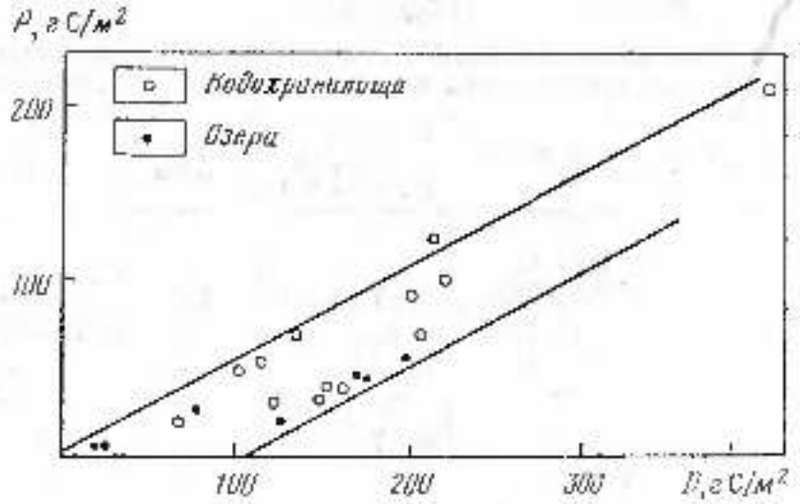


Рис. 30. Отношение продукции бактериальной биомассы (г С/м² за вегетационный сезон) к деструкции органического вещества (в тех же единицах)
P — продукция; *Д* — деструкция

(40—45%), тогда как по опытным данным дафнии усваивают всего лишь около 3% растворенного органического вещества. Усваивая аллохтонное органическое вещество, бактерии создают «первопищу», которая затем через простейших и фильтрующий зоопланктон участвует в образовании биопродукции водоема. Этот дополнительный источник энергии в Рыбинском водохранилище составляет около 50% его первичной продукции.

Изучение минерализующей деятельности бактерий в водохранилищах Днепра показало, что за вегетационный период бактерии окисляют от 100 до 200 г С/м², что составляет примерно половину от общего количества разрушенного органического вещества в воде. Таким образом, интенсивность процессов самоочищения в водохранилищах Днепра еще выше, чем в Рыбинском водохранилище. Однако и первичная продукция органического вещества в этих водохранилищах значительно выше, чем в Рыбинском. Скорость продуцирования органического вещества часто превышает скорость его разрушения. Если же учесть также поступление аллохтонной органики с водосбора и со сточными водами, то следует признать, что для днепровских водохранилищ характерны высокие темпы накопления органического вещества. Так, в Киевском водохранилище накопление идет со скоростью примерно 50 г С/м² в год, что почти равно годовой первичной продукции фитопланктона Рыбинского водохранилища.

Биологическая продуктивность водохранилищ на Днепре очень высока. Однако в них, как и в менее продуктивной экосистеме Рыбинского водохранилища, бактерии играют важную трофическую роль, хотя и совсем другую. В Рыбинском водохранилище они выступают как собиратели и передатчики

аллохтонной органики. В днепровских водохранилищах бактерии — связующее трофическое звено между первичными продуцентами и водными животными. Фотосинтез здесь осуществляется в основном некормовыми растениями (крупными колониальными синезелеными водорослями, нитчатыми зелеными водорослями и высшими растениями, мало доступными для фильтрующего зоопланктона). После отмирания растений бактерии перерабатывают их в доступную для фильтраторов форму и служат для них основным источником пищи. При этом бактерии рассеивают около 60% энергии, ассимилированной растениями, и выполняют основную роль в процессе самоочищения.

Подводя итоги анализа исследований бактериальных процессов в водохранилищах, следует обратить внимание на тот факт, что наиболее изученные водохранилища Волги и Днепра относятся к одному и тому же типу равнинных озероподобных водохранилищ, расположенных в близких климатических условиях. Микробиологические исследования водохранилищ тропических и субарктических зон, горных водохранилищ, сильно проточных и глубоководных водохранилищ, несомненно, расширят наши знания о роли бактериальных процессов в них.

ФИТОПЛАНКТОН

Поскольку данные об общем количестве зарегистрированных видов фитопланктона в тех или иных водохранилищах весьма разноречивы, сравнение их альгофлоры целесообразно проводить по комплексу доминирующих видов. В этом отношении достаточно изучены днепровские водохранилища. А. Д. Приймаченко (1967), исследовавшая их фитопланктон, указывает, что во всех днепровских водохранилищах фитопланктон представлен одними и теми же видами, среди которых доминируют синезеленые водоросли Microcystis aeruginosa, Aphanizomenon flos-aquae, виды рода Anabaena, диатомовые Melosira granulata, M. italica, M. distans, Asterionella formosa, Cyclotella meneghiniana, C. Kuetringiana, Stephanodiscus hantzschii, S. astaraca при малом участии представителей других отделов. Для Новосибирского водохранилища на р. Оби (в районе Академгородка) перечень доминантных видов отличается от вышеприведенных наличием вольвоксовых водорослей (Чайковская, 1970).

Предгорные водохранилища Средней Азии по составу фитопланктона близки с верхними участками равнинных водохранилищ. Альгофлорой они обогащаются за счет поступления донных и эпифитных водорослей, обитающих на мелководьях (Андриевская, 1963, 1969). В равнинном Чардаринском водохранилище на р. Сырдарья (с глубиной 20 м) в зимний период доминируют золотистые и диатомовые, весной — зеленые, а в летне-осенний период — зеленые, синезеленые, пиррофитовые водоросли (Халилов, 1972).

По большинству названных водорослей состав фитопланктона Братского водохранилища на Ангаре мало отличен. Здесь найдено 122 вида планктонных водорослей с 13 подчиненными таксономическими единицами. На первом месте по количеству видов (48) стоят зеленые водоросли, затем — синезеленые, диатомовые, золотистые и эвгленовые. Однако наибольшее значение в биомассе имеют синезеленые, пиррофитовые и диатомовые водоросли. Сходство состава основного комплекса фитопланктона различных водохранилищ не означает его полной идентичности. Состав фитопланктона дополняется в тех или иных водохранилищах некоторыми специфическими, иногда эндемичными видами. Например, в ангарских водохранилищах в число видов-доминантов входит байкальский эндемик Melosira baicalensis (Кожова, 1964). В хорошо прогреваемых водохранилищах Средней Азии в число доминантных видов входит тропический вид Aphanizomenon ovalisporum. В водохранилищах, куда поступают болотные воды, существенна примесь десмидиевых водорослей и т. д. Еще более разнообразен состав «примеси» донных, перифитонных и эпифитных форм, зависящий прежде всего от гидрологических особенностей водоема и соотношения в нем различных биотопов. Ясно, чем менее гетеротопны водохранилища, тем меньшим видовым разнообразием планктонных водорослей они характеризуются, а чем сглаженнее сезонные различия гидрологических и других факторов, тем меньший набор массовых видов может быть зарегистрирован.

Распределение фитопланктона по акватории и сезонная динамика состава биомассы. Гетеротопность экологических условий в водохранилищах влияет и на фитопланктон. При характеристике распределения фитопланктона по акватории обычно выделяют транзитные районы и заливы, характеризующиеся специфическими чертами в связи с их большей или меньшей изолированностью от открытых частей, влиянием речного потока и относительной мелководностью. В верхних частях водохранилищ доминируют комплексы потамопланктонных водорослей, прежде всего диатомовых и хлорококковых с большой примесью донных, перифитонных и эпифитных видов, в средних и нижних — лимнофильные группировки с преобладанием синезеленых при смене разных комплексов водорослей в разные сезоны.

Для днепровских водохранилищ об особенностях фитопланктона в разных их частях и в те или иные сезоны известно следующее (Приймаченко, 1967). Для Кременчугского водохранилища, относящегося к озерно-речному типу, характерны пониженные величины биомассы в верхней части и более обильный фитопланктон в нижней. При этом в верхней части водохранилища, где развиваются в основном диатомовые и хлорококковые, значительная масса фитопланктона обнаруживается во всей толще. В более глубоководных центральной (средней) и нижней частях преобладают синезеленые, концентрирующиеся в верхнем

3—5-метровом слое (со средними значениями биомассы 7—8 г/м³). В Днепродзержинском водохранилище при доминировании в летнем планктоне Aphanizomenon flos-aquae и Microcystis aeruginosa прослеживается тенденция увеличения биомассы также к предплотинной части (до 10 г/м³). В Днепровском водохранилище, характеризующемся значительной проточностью, в настоящий период его существования хлорококковые и диатомовые развиваются в большом количестве лишь весной и осенью, а в летнее время доминируют синезеленые, вызывающие «цветение» по всей акватории при средней биомассе 13,4 г/м³ с преобладанием Aphanizomenon flos-aquae и особенно Microcystis aeruginosa. Из диатомовых весной преобладают Stephanodiscus hantzchii, Melosira granulata, M. Varians, Asterionella formosa. При этом весной наибольшие показатели биомассы отмечаются в верхней части водохранилища (до 18,7 г/м³), а летом — в нижней (до 20 г/м³). В Каховском водохранилище, питающемся водами Днепровского водохранилища, доминируют с мая по октябрь синезеленые водоросли Aphanizomenon flos-aquae и Microcystis aeruginosa при преобладании последнего. Второе место занимают диатомовые, доминирующие в некоторых районах весной и осенью, а также хлорококковые и вольвоксовые водоросли.

Общий тип смены фитоценозов по акватории Дубоссарского водохранилища, по данным В. М. Шаларя (1972), такой же, как и в днепровских водохранилищах.

Доминирование в летнем планктоне синезеленых водорослей, таких, как Aphanizomenon flos-aquae, Microcystis aeruginosa и некоторых видов Anabaena, особенно заметно проявляется на малых реках. Например, в Комратском водохранилище, относящемся к малым водоемам Молдавии, биомасса планктона за счет вегетации Microcystis aeruginosa составляет 130 г/м³ (Шаларь, 1972), а в канзасских водохранилищах (США) при преобладании M. aeruginosa и Aphanizomenon flos-aquae — до 52 г/м³. Это происходит при слабом развитии диатомовых и хлорококковых и при значительной роли вольвоксовых (Chlamidomonas sp.) в холодное время года. Пик в величине биомассы для таких водоемов обычен один — летом, и он обусловлен развитием синезеленых.

Сезонная периодичность развития водорослей хорошо видна на примере Братского водохранилища (Кожова, 1970).

В подледный период при 1—1,5-метровом ледовом покрове водоросли развиваются крайне слабо (биомасса исчисляется в мг/1 м³ воды). Во время таяния льда начинают вегетировать весенние, преимущественно диатомовые и пиррофитовые водоросли, биомасса которых в период максимума исчисляется в граммах на кубический метр. Этот период длится до установления четкой температурной стратификации, когда состав фитопланктона обогащается весенне-летними видами диатомовых. По мере прогревания водоема их биомасса уменьшается, причем от-

мирающие водоросли оседают в более глубокие слои воды. Иногда их скопления обнаруживаются и у дна. После повышения температуры воды в поверхностных слоях до 15—18° начинается вегетация теплолюбивого комплекса водорослей, среди которых по биомассе доминируют синезеленые, преимущественно Aphanizomenon flos-aquae. Они концентрируются в верхней зоне эпилимниона (0—5, 0—10 м). В конце июля — середине августа при температуре воды 20—22° у поверхности отмечается годовой максимум биомассы фитопланктона, составляющий несколько десятков грамм в 1 м³. Вегетация синезеленых затягивается до поздней осени, несмотря на охлаждение вод. Поэтому особого осеннего максимума развития диатомовых, как правило, не отмечается. В период «открытой» воды в Братском водохранилище беднее представлен фитопланктон в середине — конце июля, когда водоросли комплекса весенне-летнего прекращают вегетацию, а летне-осеннего еще не достигают максимума. В целом период интенсивного развития фитопланктона длится 5—6 месяцев.

Сезонные особенности в развитии фитопланктона характерны для водохранилищ разных ландшафтных и климатических зон. Периодичность развития фитопланктона в африканских водохранилищах можно показать на примере водохранилища Вольта. В 1966 г. отмечено три пика роста численности водорослей: в марте, июле и октябре. При этом в марте и июле доминировал Peridinium africanum (73 и 50% общей численности), в октябре при наибольшей общей численности водорослей — Mitzschia acicularis (до 64%). В 1967 г. там отмечено два пика численности фитопланктона — в мае и ноябре, вызванные развитием Synedra acus. В этом водохранилище доминирование синезеленых водорослей характерно только для литоральной зоны; в открытой части водохранилища, которая олиготрофна по химическому составу вод, преобладают, как было показано, диатомовые (Biswas, 1969).

Как и в других водоемах, сезонная динамика фитопланктона наиболее выражена в водохранилищах, расположенных в зонах умеренного климата, особенно в водоемах, имеющих ледовый покров. Жизнь фитопланктона подо льдом, как правило, заторможена, кроме особых случаев, когда в водохранилищах регистрируется подледное «цветение» воды. Это, например, вызвано диатомовыми водорослями рода Melosira в Рыбинском водохранилище (Гусева, 1956; Кузьмин и Балонов, 1974), в Иркутском водохранилище (Кожова, 1964). Известны факты присутствия в зимнем планктоне таких специфических видов, как Phacotus lenticulatus в Новосибирском водохранилище (Чайковская, 1970). Для весеннего сезона характерно доминирование комплекса диатомовых водорослей, в который, как правило, входят виды рода Melosira, Stephanodiscus, Cyclotella, Synedra, Fragillaria, Asterionella formosa, а также золотистые Dinobrion. В наиболее теп-

лый период типичный фитопланктон водохранилищ характеризуется преобладанием в биомассе синезеленых водорослей, из которых доминируют Aphanizomenon flos-aquae в разной комбинации с Microcystis aeruginosa, реже — Anabaena spiroides и другие виды этого рода. Это сочетание различных видов синезеленых и других теплолюбивых водорослей в летнем планктоне зависит от гидрохимических особенностей водоема, в том числе величины pH и концентрации биогенных элементов. Длительность вегетации синезеленых определяется временем теплого периода, когда температура поверхностных слоев водоема имеет оптимальное для них значение, обычно более 20° С.

Таким образом, сезонная динамика развития фитопланктона проявляется как в смене видового состава (особенно комплекса доминантных форм), так и в изменении биомассы. В разные сезоны года различно распределение фитопланктона по вертикали, которое зависит не только от температурных и гидрологических особенностей водоема, но и от экологии самих водорослей.

Эффект каскадности. А. Д. Приймаченко (1967) считает, что аккумулятивная деятельность водохранилищ отрицательно влияет на продукционные возможности расположенных ниже участков реки и водохранилищ, отмечая при этом и роль поверхностного стока, и значение гидрографических особенностей водохранилищ. Для подтверждения приведены данные о последовательном снижении биомассы фитопланктона в каскаде днепровских водохранилищ. Г. В. Кузьмин (1974) подробно описал изменение фитопланктона в водохранилищах Волжского каскада.

Изучение фитопланктона в системе ангарских водохранилищ свидетельствует о том, что его особенности зависят в первую очередь от действия «внутриводоемных» процессов, а не от аккумуляции (или транзита) вещества в выше расположенных водоемах (Кожова, 1970).

«Эффект каскадности», очевидно, может по-разному проявляться в зависимости от типа водохранилищ и их местоположения. Поэтому оценка этого эффекта должна производиться для каждого водоема индивидуально. При этом роль «эффекта каскадности» будет тем меньше, чем меньше объем вод, поступающих из выше расположенного водохранилища, по сравнению с объемом водной чаши рассматриваемого водохранилища.

Межгодовые изменения фитопланктона. Необходимо иметь в виду однонаправленность изменений, связанных с перестройкой биома в целом при зарегулировании реки под действием таких мощных факторов, как замедление течения, и зависящее от этого прогревание вод, влияние затопленного ложа и, наконец, то, что фитопланктон изменяется под влиянием антропогенных факторов.

В формировании фитопланктона Дубоссарского водохранилища в течение ряда лет В. М. Шаларем (1972) выделено три

стадии: а) разрушение лотамопланктонных комплексов, когда фитопланктон имеет смешанный характер с одинаковым значением в его структуре экологически различных видов; б) вспышка, увеличение численности синезеленых видов Melosira, пирофитовых и вольвоксовых; в) уменьшение их численности при формировании озерного облика фитопланктона.

По мнению Г. В. Кузьмина (1974), фитопланктон волжских водохранилищ (включая и самое молодое, Саратовское) также прошел ряд сукцессионных фаз и в настоящее время в значительной степени стабилизировался. Относительное постоянство состава и биомассы фитопланктона и повторяемость сезонной динамики после периода сезонов интенсивного «цветения» воды синезелеными водорослями отмечено на Братском водохранилище (Кожова, 1970).

Переход водохранилища в третью фазу существования при стабильных фитоценозах не означает прекращения их «эволюции». Подчеркнем, что существование фитопланктона в этой третьей стадии тесно связано с другими биоценозами водохранилищ, как пелагическими, так и бентосными. Об этом речь будет идти дальше. Это и путь к установлению гомеостаза экосистемы водохранилища в целом.

Межгодовые колебания состава и биомассы фитопланктона можно наблюдать в водохранилищах с неустойчивым гидрологическим и гидрохимическим режимами. Примером может служить Веселовское водохранилище (Круглова, Бервальд, 1961). Воды в нем по мере опреснения из сульфатных превращаются в карбонатно-сульфатные, из натриевых — в натриево-кальциевые. В фитопланктоне до опреснения преобладали диатомовые и синезеленые водоросли с биомассой 230 мг/м³, а после опреснения (очевидно, благодаря увеличению проточности) стали преобладать хлорококковые.

Рассматривая межгодовые изменения фитопланктона, нужно учитывать и «эффект каскадности», т. е. возможную неравномерность поступления в ниже расположенное водохранилище водорослей при эксплуатационных попусках воды.

Срок «созревания» фитопланктона в водохранилище, т. е. время прохождения первых двух стадий и вступление в третью, зависит, в частности, от продолжительности периода заполнения водохранилища, т. е. установления гидрологического режима, свойственного тому или иному его типу.

Например, первая и вторая фазы формирования фитопланктона Иркутского водохранилища протекали в течение первого года после заполнения. Вследствие большой проточности водохранилища его фитопланктон и в настоящее время имеет более лотамофильный, чем лимнофильный характер.

На разных участках Братского водохранилища перестройка речных биоценозов в лимнопланктон происходила не одновременно и зависела от скорости наполнения водоема, которое продолжалось 7 лет (Кожова, 1970). В Дубоссарском водохранилище такая перестройка — т. е. прохождение первой и второй фаз — продолжалась 4—5 лет (Шаларь, 1972). При этом быстрее всего «озерный» облик приобрел фитопланктон приплотинной части водохранилища. В некоторых днепровских водохранилищах фитопланктон озерного типа сформировался в первые же месяцы их существования (Приймаченко, 1967).

Несмотря на некоторое различие данных о сроках стабилизации фитоценозов, следует отметить некоторые общие закономерности. Главный фактор, определяющий перестройку фитопланктона в начальный период,— это замедление течения, а продолжительность ее зависит от темпов наполнения водохранилища. Продолжительность второй стадии в значительной степени определяется скоростью разложения органического вещества и вымщелачивания веществ из затопленной почвы и растительности.

На стадии стабилизации образующийся «монотонный» лимнофильный комплекс остается весьма чувствительным к загрязнениям, особенно биогенными элементами и ядохимикатами, и вообще к изменениям, связанным с антропогенными воздействиями.

ВЫСШАЯ ВОДНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

Высшая растительность — неотъемлемый компонент экосистем мелководий равнинных водохранилищ. Она играет большую положительную роль в очистке воды от различных загрязнений, поглощая биогенные элементы. Кроме того, высшая растительность конкурирует с водорослями, вызывающими «цветение» воды. На заросших мелководьях концентрируется животное население, составляющее богатую кормовую базу, происходит нерест фитофильных рыб, а также нагул молоди и взрослых особей. Эти акватории служат местами выплода, нагула и концентрации многих водоплавающих и болотных птиц, а также местами обитания ценных пушных млекопитающих — бобра и ондатры.

В водохранилищах зоны тропического и субтропического климата свободноплавающая растительность часто играет отрицательную роль: например, водохранилище Кариба подвержено зарастанию сальвинией (Salvinia auriculata), масса сплавин занимала площадь около 10%, а в 1962 г. достигала даже 20% (1000 км²) всей поверхности. Однако на других водохранилищах и озерах Западной Африки подобных вспышек развития сальвинии и водного гиацинта (Eichhornia crassipes) не наблюдалось. После сооружения плотины и образования водохранилища на Белом Ниле водный гиацинт Eichhornia crassipes начал активно развиваться, а в водохранилищах южных штатов США вызывает значительные трудности при их эксплуатации. Только на борьбу с развитием водного гиацинта в водохранилище на Белом Ниле тратится ежегодно 500 000 фунтов стерлингов и заняты

этим 200 человек. В водохранилищах южных штатов США с помощью механических и химических мер борьбы удалось добиться освобождения значительных площадей от водного гиацинта и Alternanthera philoxeroides, называемого «аллигаторным сорняком». Однако в тех случаях, когда в условиях тропического климата ослабляется борьба с развитием высшей водной растительности, она начинает весьма интенсивно распространяться и создавать серьезные трудности, резко ухудшая качество воды, препятствуя насыщению кислородом эпилимниона. Водные сорняки не только наносят ущерб рыборазведению, но могут даже затруднять судоходство.

Видовой состав. Растительность водохранилищ характеризуется сравнительно небольшим набором ассоциаций, хотя в целом она, по-видимому, значительно разнообразнее, чем в озерах (Корелякова, 1977).

Для мелководных участков большинства водохранилищ, расположенных в средней полосе европейской части СССР, характерно наличие гидромезофильной и даже мезофильной луговой растительности. На водохранилищах с большими заболоченными территориями (Рыбинское, Иваньковское, Киевское, Кременчугское) значительные площади заняты осочниками (сообщества Carex acuta, C. aquatilis, C. rostrata, C. vesicaria и др.). В ряде случаев в условиях мелководий развились фитоценозы полевицы побегообразующей (Agrostis stolonifera), манника плавающего (Glyceria fluitans), ситняга болотного (Eleocharis palustris) и др.

Основную роль в растительном покрове мелководий всех водохранилищ играет *воздушно-водная растительность*, в составе которой первое место, безусловно, принадлежит сообществам тростника обыкновенного (Phragmites communis), широко распространенным практически повсюду, занимающим большие площади и продуцирующим высокую фитомассу. На всех днепровских и большинстве волжских водохранилищ широко распространены заросли рогоза узколистного (Typha angustifolia), который в ряде случаев является пионером при зарастании вновь затопленных территорий; исключение составляют Иваньковское, Угличское и Горьковское водохранилища, где эти заросли не играют существенной роли. Заросли рогоза широколистного (Typha latifolia) также встречаются во многих водохранилищах, но занимают значительно меньшие площади. В ряде волжских и днепровских водохранилищ широко распространены заросли манника большого (Glyceria maxima), реже встречаются сообщества стрелолиста обыкновенного (Sagittaria sagittifolia), ежеголовников прямого (Sparganium erectum) и простого (S. simplex). В некоторых днепровских водохранилищах (Киевское, Кременчугское) довольно значительны в растительном покрове заросли камыша озерного (Scirpus lacustris), которые значительно слабее представлены в водохранилищах Волги. В верхне-

волжских водохранилищах (Иваньковское, Угличское, Рыбинское, Горьковское) очень интенсивно развились хвощатники (acc. Equisetum fluviatile), которых в других водохранилищах фактически нет. Для ряда средне- и нижневолжских водохранилищ (Горьковское, Куйбышевское, Волгоградское) характерны заросли омежника водного (Oenanthe aquatica), которые на днепровских водохранилищах широко не распространены. В специфических условиях влияния подсола в водохранилищах иногда развиваются заросли клубнекамыша морского (Bolboschoenus maritimus) и камыша Табернемонтана (Scirpus tabernaemontanii). В первые годы существования на некоторых водохранилищах (Киевское, Рыбинское, Горьковское) наблюдалась вспышка в развитии временных группировок частухи подорожниковой (Alisma plantago-aquatica). Для днепровских водохранилищ в первые годы были очень характерны заросли сусака зонтичного (Butomus umbellatus), который на волжских водохранилищах почти отсутствует. Почти во всех водохранилищах Днепровского каскада (Киевское, Кременчугское, Днепродзержинское, Каховское) и в ряде волжских водохранилищ встречаются заросли интродуцированной в них цицании широколистной (Zizania latifolia).

Растительность с плавающими листьями представлена на водохранилищах сообществами формаций горца земноводного (Polygonum amphibium), кувшинок белой (Nimphaea alba) и чистобелой (N. candida), кубышки желтой (Nuphar lutea), рдеста плавающего (Potamogeton natans), рдеста разнолистного (P. heterophyllus), изредка водяного ореха (Trapa natans) и болотноцветника щитолистного (Nimphoides peltatum). Сообщества горца земноводного распространены в большинстве днепровских и волжских водохранилищ; фитоценозы нимфейных встречаются в верхних частях днепровских водохранилищ, расположенных главным образом в пределах лесостепной зоны, а также в Иваньковском, Угличском и Горьковском водохранилищах; заросли водяного ореха и болотноцветника щитолистного очень редки и приурочены главным образом только к южным районам (Каховское водохранилище).

Погруженная растительность распространена достаточно широко на всех равнинных водохранилищах, имеющих обширные мелководные участки. Наиболее благоприятен для ее развития уровенный режим, относительно постоянный в течение вегетационного периода. Летняя сработка оказывает неблагоприятное воздействие на развитие погруженной растительности, зимняя — в умеренных пределах существенного влияния не оказывает. Шире распространены на всех водохранилищах фитоценозы рдеста пронзеннолистного (Potamogeton perfoliatus), которые в отдельных случаях могут занимать довольно значительные площадки (Киевское, Кременчугское, Иваньковское и др.). Заросли рдеста блестящего (P. lucens) также встречаются во многих во-

дохранилищах; достаточно широко распространены фитоценозы роголистника темно-зеленого (Ceratophyllum demersum), в некоторых случаях — урути колосистой (Myriophyllum spicatum). В водохранилищах лесной зоны (Иваньковское, Угличское, Киевское, Горьковское) значительные, а иногда и очень большие площади занимают сообщества телореза алоэвидного (Stratiotes aloides). В южных водохранилищах, особенно при воздействии подогретых вод, иногда значительно развивается валлиснерия спиральная (Vallisneria spiralis) (Запорожское, Каховское и др.).

В первые годы после заполнения в некоторых водохранилищах (Киевское, Днепродзержинское, Запорожское, Горьковское) наблюдалось очень интенсивное развитие зарослей элодеи канадской (Elodea canadensis), которая просуществовав 2—3 года исчезла. Подобные «вспышки» иногда дают и другие растения — телорез, роголистник, сальвиния и др.— это наблюдалось, например, в большинстве днепровских водохранилищ. Кроме названных погруженных растений, в водохранилищах встречается около 15 видов рдестов, несколько видов водяных лютиков (Ranunculus), пузырчатки (Utricularia), турча болотная (Hottonia palustris), водяная сосенка (Hippuris vulgaris), уруть мутовчатая (Myriophyllum verticillatum) и другие виды, но все они играют меньшую роль в составе растительного покрова водохранилищ.

Сообщества свободноплавающей растительности в водохранилищах умеренной зоны встречаются редко. Иногда в укрытых местах мелководий или между пятнами воздушно-водной растительности на значительных площадях в несколько десятков и даже сотен квадратных метров могут образовываться ковры сальвинии плавающей (Salvinia natans), многокоренника обыкновенного (Spirodela polyrrhiza) и ряски маленькой (Lemna minor); на несколько меньших площадях развиваются заросли водокраса (Hydrocharis morsus-ranae). Гораздо чаще названные свободноплавающие растения, а также ряска трехдольная (Lemna trisulea) служат компонентами в фитоценозах воздушно-водной растительности, где они образуют второй ярус. Площади, занятые этой растительностью, в целом, как правило, сравнительно невелики, за исключением отдельных лет, главным образом в первые после заполнения годы, когда наблюдаются вспышки развития.

Динамика развития макрофитов. Основные факторы, влияющие на скорость и характер формирования растительного покрова водохранилищ — это глубина, степень защищенности мелководий от воздействия волнения, особенности морфометрии водоемов, их географическое положение, возраст, уровенный режим, характер затопленных территорий, скорость затухания абразионных процессов, физико-химические свойства воды и грунтов и др.

Большинство фитоценозов всех экологических групп растительности характеризуется сравнительно небольшим количеством видов, относительно простой структурой травостоев, довольно часто носящих характер зарослей. Однако с годами по мере развития растительности в ряде случаев структура, заметно усложняется, увеличивается число сопутствующих видов, формируются яруса. Отличительные особенности в распределении всех растительных сообществ в водохранилищах по сравнению, например, с озерами заключаются в следующем: нижняя граница распространения растительности лежит довольно высоко в пределах 2 –2,5-метровой изобаты в отличие от озер, где заросли могут существовать и при 5—6-метровых глубинах. Нижние границы распространения экологически разнородных групп растительности, таких, как воздушно-водная и погруженная, сильно сближены (у воздушно-водной эта граница проходит примерно по 2-метровой изобате, у погруженной — по 2,5-метровой), что объясняется, по-видимому, явлениями сработки уровней в водохранилищах, по-разному влияющей на экологически различные группы растений. На первых этапах существования водохранилищ очень характерна большая пятнистость в распределении фитоценозов разных ассоциаций в пределах участков с одинаковыми глубинами, с годами она уменьшается, уступая место более четко выраженному поясному распределению растительности в зависимости от глубины, что так характерно для озер.

Уровень развития и хозяйственная роль макрофитов. Площади, занятые растительностью, в водохранилищах измеряются в большинстве случаев тысячами гектар и составляют от 1 до 30% общей площади водоемов (табл. 26).

С. М. Ляхов и Ф. Д. Мордухай-Болтовской (1974) полагают, что современный уровень зарастаемости волжских водохранилищ существенно ниже рекомендуемого, который целесообразен для малых водоемов в размере 5—10% их площади, а для крупных (свыше 100 тыс. га) — 5—7%.

Фитомасса, ежегодно образуемая растительностью в водохранилищах, обычно измеряется величинами в несколько десятков тысяч тонн органического вещества (см. табл. 25).

Основную роль в продуцировании органического вещества макрофитами в водохранилищах играет воздушно-водная растительность, образующая от 50 до 90% всей массы; на долю погруженной растительности приходится от 10 до 30%, а растительность с плавающими листьями образует минимальную фитомассу в пределах 0,5—5%; в некоторых водохранилищах до 10—20% фитомассы может образовывать мокролуговая растительность.

В тех случаях, когда запасы растительности в водохранилищах достаточно велики, решение проблемы ее уборки могло бы дать двойной эффект: с одной стороны, получение вполне удовлетворительных добавочных кормов, а с другой — удаление из

Таблица 26

Площади зарастания и вес органического вещества растений некоторых днепровских и волжских водохранилищ*

Водохранилище	Площадь зеркала, тыс. га	Площадь зарослей			Органическое вещество растений, тыс. т
		тыс. га	% площади		
			Водохранилища	Мелководья	
Кременчугское	225,2	15,35	6,8	37,0	100,0
Киевское	92,2	29,55	32,0	94,7	40,0
Иваньковское	32,7	5,46	16,7	36,2	25,0
Угличское	24,9	1,34	5,3	15,0	7,0
Рыбинское	445,0	7,60	1,3	6,0	30,0
Горьковское	157,0	2,22	1,4	7,9	10,0
Куйбышевское	645,0	0,15	0,1	0,2	...
Волгоградское	311,7	3,26	0,9	5,3	20,0

* Таблица составлена по данным И. Л. Корелюковой (1976), В. А. Экзерцева, В. В. Экзерцевой, А. П. Белавской, Т. В. Кутовой (1966), Б. В. Дояркина (1966), Голубевой, Т. К. Небольсиной.

круговорота части биогенов, органики и некоторых вредных веществ, поступающих в водоем в результате антропогенного воздействия.

Формирование растительного покрова водохранилищ — процесс длительный, продолжающийся десятилетия. Наиболее интенсивно, однако, он протекает в течение первых 5—10 лет после создания водохранилища.

Признаками сформированного растительного покрова служит развитие на значительных площадях относительно устойчивых и продуктивных сообществ, которые заняли соответствующие экологические ниши и способны существовать в течение достаточно длительного периода. Признаки несформированности выражаются в наличии малозаросших и незаросших, но пригодных к зарастанию мелководных акваторий, в большой пестроте и пятнистости распределения сообществ в пределах одних и тех же горизонтов глубин, в наличии разреженных травостоев, не достигших оптимальных показателей продуцирования фитомассы, в наличии «переживающей» и кратковременной или пионерной растительности и др.

Этапы формирования и вопросы прогнозирования. В развитии растительного покрова равнинных водохранилищ можно, по-видимому, выделить следующие основные этапы.

I этап, охватывающий период наполнения водохранилища и первые 5—10 лет его существования, характеризуется интенсивным зарастанием вновь затопленных территорий, наличием формирующихся и «переживающих» сообществ, значительным участием кратковременных и пионерных группировок, часто с несомкнутыми травостоями.

II этап характеризуется формированием и распространением относительно устойчивых фитоценозов преимущественно зарослевого типа, образованных достаточно мощными в ценотическом отношении видами растений, но не достигших оптимальных показателей в продуцировании фитомассы; характерны интенсивно протекающие процессы смен, направленные в основном на вытеснение ценотически слабых сообществ, значительно меньшее участие «переживающей» растительности и гораздо более медленные темпы зарастания новых мелководий.

III этап характеризуется господством на больших площадях относительно устойчивых, ценотически мощных сообществ, достигших в продукционном отношении оптимальных показателей, ослаблением процессов смен, отсутствием группировок «переживающей» растительности и почти полным отсутствием зарастания новых мелководных акваторий.

Следует отметить, что на III, а в некоторых случаях и на II этапах формирования растительного покрова водохранилищ при наличии соответствующих условий (относительно постоянный режим уровней, значительная заболоченность водосборной площади, определенные физико-химические условия на мелководьях, образование большой растительной массы, наличие корневищной растительности и др.) начинаются процессы заболачивания, что проявляется в образовании сплавин. Наиболее интенсивно эти процессы протекают в водохранилищах, расположенных в пределах экваториального, субэкваториального и тропического поясов. Однако и в пределах умеренного климатического пояса, особенно в лесной зоне, интенсивное образование сплавин констатировано во многих случаях в нескольких типах растительных сообществ: манника большого — на Иваньковском водохранилище, тростника и рогоза узколистного — на Киевском и Каховском, телореза алоэвидного — на Киевском. Вновь сформированные за счет растительности сплавины не следует смешивать со старыми сплавинами, образующимися в водохранилищах на территориях затопленных болот в результате всплывания отдельных участков торфяников.

Естественно, что растительный покров водохранилищ, различных по возрасту, морфометрии, географическому положению, с разным характером ложа и уровенного режима и т. д. в настоящее время находится на разных этапах формирования и дальнейшие изменения, которые он будет претерпевать, будут различными. Поэтому прогнозирование дальнейшего зарастания должно быть конкретным для каждого водохранилища отдельно. Тем не менее в основу составления конкретных прогнозов могут быть положены некоторые общие принципы.

На наш взгляд, для составления прогноза дальнейшего зарастания существующих водохранилищ отправными положениями должны быть следующие.

I. При сохранении существующего режима эксплуатации водохранилищ сопоставление размеров площадей мелководий и имеющихся зарослей дает возможность определить, будут ли увеличиваться и на сколько площади зарастания; перечень основных имеющихся растительных ассоциаций и характеристика экологических условий служат предпосылкой для решения вопроса о возможных сменах в растительном покрове и их направлении, обусловленных естественным ходом развития растительности; характеристика фитомассы, существующей в данный момент в том или ином типе растительного сообщества, с учетом географического положения и возраста водохранилища даст возможность предвидеть возможные изменения фитомассы.

II. При изменении режима эксплуатации водохранилища, обусловленном теми или иными причинами, характер растительного покрова может претерпеть весьма существенные изменения, вызванные прежде всего мощным воздействием группы антропогенных факторов; при этом важно учесть изменения таких параметров, как размеры и места распределения мелководных акваторий, а также величины и сроки сработки уровней.

Для вновь создаваемых водохранилищ в зоне умеренного климата в основу прогнозирования зарастания должны быть положены следующие предпосылки: а) размещение и конфигурация мелководий дает возможность определить, где будут размещаться основные зарастающие акватории; б) особенности географического положения водохранилища и гидрологического режима, характер его ложа, грунтов, исходной растительности и хозяйственного использования угодий должны быть основой при решении вопроса о том, какие основные типы зарослей будут развиваться; в) размеры мелководных акваторий и степень их защищенности от воздействия волнения позволяют прогнозировать размеры зарастающих акваторий; г) возраст водохранилища в сочетании с другими факторами позволяет оценить величину возможной фитомассы в основных типах растительных сообществ.

Естественно, что любой прогноз может быть составлен только с учетом всех указанных позиций.

ЗООПЛАНКТОН

Видовой состав зоопланктона водохранилища, как правило, сходен с таковым близлежащих естественных водоемов и типичен для данной географической зоны. В проточных русловых водохранилищах фауна беспозвоночных толщи воды после зарегулирования изменяется мало. Так, видовой состав зоопланктона Волжского плеса Иваньковского водохранилища не изменился

за все 40 лет существования последнего. Аналогичная картина наблюдается в водохранилище Вольта, где фитопланктон и зоопланктон представлены теми же видами, которые были обычны в бассейне реки до ее зарегулирования (Ewer, 1966).

Более глубокие изменения претерпевает зоопланктон озерно-речных водохранилищ. Здесь полностью исчезают все реофильные виды. В водохранилищах такого типа южных районов СССР (например, Цимлянском) появляются и распространяются прудовые формы (Moina), в тропических (например, Брокопондо) широко расселяются виды, не встречавшиеся ранее в реке, а характерные для стоячих водоемов: Euryalona accidentalis Chydorus (Leentvaar, 1966).

Видовой состав зоопланктона и соотношение отдельных групп (коловратки, ветвистоусые и веслоногие) наиболее близок в водохранилищах, принадлежащих к одной водной системе (например, Волжский, Днепровский каскады). Близки эти соотношения и для водохранилищ Европы и Сибири. Значительно отличны по видовому составу и соотношению этих групп водохранилища Средней Азии. Специфический и бедный зоопланктон образуется в горных водохранилищах Кавказа, Алтая, Тянь-Шаня, в горных и предгорных районах Кубы (табл. 27).

Группа Rotatoria насчитывает наибольшее количество видов во многих водохранилищах, где фауна обследована подробнее, но основную биомассу зоопланктона (в %) создают планктонные ракообразные. Так, соотношение группы Rotatoria к сумме Cladocera+Copepoda составляет для Иваньковского водохранилища 14,4/85,6, для Рыбинского —26,6/73,4, Горьковского — 7/93, Иркутского — 5/95, Куюмазарского — 1,3/98,7, Санта-Барбара (Куба) — 7,0/93 и Ольгин (Куба) — 2,5/97,5.

Роль ракообразных увеличивается по мере уменьшения водообмена водохранилища, т. е. возрастает в направлении: речные водохранилища→озеровидные плесы→озерные водохранилища. Значение Cladocera в создании биомассы зоопланктона увеличивается также с севера на юг.

Доминируют в водохранилищах на крупнейших реках Евроазиатского континента (Дон, Днепр, Днестр, Волга, Обь, Енисей) Keratella quadrata, K. cochlearis, виды родов Asplanchna, Synchocta, Brachionus (B. angularis, B. calyciflorus, B. diversicornis), Daphnia cucullata, D. longispina, Bosmina coregoni, B. longirostris, Cyclops vicinus, Mesocyclops leuckarti, Eudiaptomus gracilis, Eu. graciloides, Leptodora. В водохранилищах Волжского каскада (Рыбинское, озеровидные плесы Горьковского и Куйбышевского) существует пелагический комплекс, присущий озерам северо-запада европейской части СССР, в состав которого входят: Conochilus hippocrepis, Polyarthra major, Euchlanis luciana, Daphnia cristata, Bosmina Coregoni, Limnosida frontosa, Leptodora, Bythotrephes, Eudiaptomus gracilis, E. graciloides, Heterocope appendiculata (Дзюбан, Ривьер, 1976). В американ-

Таблица 27

Относительное количество видов основных групп зоопланктона в некоторых водохранилищах, %

Водохранилище	Местоположение	Группы зоопланктона			Биомасса зоопланктона, г/м³	Источник
		Rotatoria	Cladocera	Copepoda		
Иваньковское	Центр	29	35	36	1,2	Елагина, 1975
Горьковское	»	38	40	22	1,0	Елагина, 1975
Куйбышевское	Плесо	48	32	20	0,73	Небольсина, 1976
Саратовское	»	47	28	25	Нет данных	»
Волгоградское	»	36	42	22	»	»
Каунасское	Прибалтика	42	40	18	»	Печхотене, 1970
Цимлянское	Северный Кавказ	51	31	18	»	Мирошниченко и др., 1970
Капчагайское	Казахстан	64	22	14	2,7	Мусина и др., 1978
Красноярское	Сибирь	44	34	22	0,6	Вершинин, Червинская, 1970
Катта-Курганское	Средняя Азия	57	36	7	Нет данных	Мухамедиев, 1960
Пачкамарское	То же	59	28	13	»	»
Тудакульское	»	63	26	11	»	Чуприна, 1972
Кукпазарское	»	68	19	13	0,31	»
Ольгин	Куба, предгорье	53	33	14	0,84	Перес Гарсиа и др., 1977
Эль Песадо	Куба, горное	56	22	22	0,01	»

ских водохранилищах (Beaver, Bull Shoals) на р. Белой (штат Арканзас) доминируют те же K. cochlearis, Bosmina longirostris, Chydoris sphaericus (Baker and Schmitz, 1971).

Равнинные водохранилища Средней Азии имеют своеобразный зоопланктон с чертами прудово-озерного, в его состав входят южные формы: Keratella tropica, Ceriodaphnia cornuta (rigaudi), представители рода Moina, Phyllodiaptomus blanci (Мельников, 1966; Чуприна, 1972).

Для предгорных и горных водохранилищ Тянь-Шаня и Памира специфичны Acantho — diaptomus denticornis, D. pamiseri — виды обычные в высокогорных озерах этой области (Мирошниченко, 1969).

Водохранилищам о-ва Куба свойственны тропические и субтропические виды Американского континента: Daphnia ambigua, Moinodaphnia maclayi, Diaptomus dorsalis, Thermocyclops hyalinus. И здесь встречаются виды — космополиты — общие для субтропиков Евроазиатского континента, такие, как Ceriodaphnia

rigaudi, Diaphanosoma brachyurum, Moina micrura (Biochino, 1976).

Распределение зоопланктона в водохранилищах. В верхних частях водохранилищ, сохраняющих черты речного режима, зоопланктон бедек и однородно распределен от поверхности до дна. По мере снижения скоростей течения и приближения к плотине количество зоопланктона увеличивается, вертикальное распределение становится гетерогенным. Такая картина наблюдается в самых различных водохранилищах (Вершинин, Червинская, 1970; Ривьер, 1970; Varley, Albert, 1971).

Колебания уровня и обсыхание больших площадей в водохранилищах оказывают на зоопланктон меньшее отрицательное воздействие, чем на бентос и рыбное хозяйство. В нижних бьефах регулирующих гидроузлов, например, в низовьях Волги после зарегулирования срок существования полоев сократился почти вдвое и большинство планктонных ракообразных не успевает пройти свой жизненный цикл и отложить покоящиеся яйца (Косова, 1968).

Значительная зимняя сработка уровня в некоторых горных водохранилищах достигает 80 м (Мон-Сени в Альпах). Скорости при сбросе настолько велики (≈ 1 м/с), что планктонные ракообразные пассивно уносятся потоком из водохранилища, не успев отложить покоящихся яиц. Происходит перестройка зоопланктонного сообщества, где начинают преобладать виды с более коротким жизненным циклом (Pechlaner, 1961). В проточных водохранилищах умеренного пояса создаются благоприятные условия для обитания зоопланктона во всей толще воды. Однако в глубоких затопленных пойменных озерах (оз. Видогощь на Иваньковском водохранилище), в слабо проточных, сильно сапрофицированных водохранилищах умеренного пояса (Цимлянское, Кременчугское) наблюдаются непродолжительные периоды, когда создается дефицит кислорода в гиполимнионе и анаэробные условия у дна с накоплением свободной CO_2 и H_2S (Киевское водохранилище, 1972; Ярошенко и др., 1976). Зоопланктон в таких условиях населяет лишь эпилимнион, в пределах которого он мигрирует вертикально. В тропических водохранилищах стратификация, как правило, хорошо выражена и бескислородная зона с большими накоплениями H_2S занимает бо́льшую часть толщи воды. Так, на водохранилище Карибе термоклин образовался сразу после зарегулирования и сероводородная зона, лишенная жизни, располагается от глубины 26—30 м и до дна (максимальная глубина 123 м) (Harding, 1966). Аналогичная картина наблюдается на водохранилищах Броколондо и Вольта, где кислород присутствует всего до глубины 3—4 м (Lentvaat, 1966; Ewer, 1966). Как уже указывалось, участки тропических водохранилищ зарастают водным гиацинтом (Eichhornia). В его зарослях фотосинтез угнетен, кислород отсутствует, зоопланктона практически нет.

В приплотинных частях водохранилищ умеренного пояса, где увеличивается прозрачность, численность бактерий в процессе самоочищения водоема снижается и складывается пелагический зоопланктонный комплекс с доминированием в его составе крупных озерных ракообразных.

При рассмотрении внутри каскада распределения планктона наблюдается быстрая трансформация пелагического зоопланктона в речной (с доминированием коловраток). Это связано с воздействием ГЭС, турбулентностью, высокими скоростями течения и присутствием большого количества минеральных частиц. Вследствие высокой мутности на этих участках резко увеличивается количество бактерий, фотосинтетическая деятельность фитопланктона подавляется, крупные пелагические фильтраторы — ракообразные — погибают, что снижает процессы самоочищения водоема (Богданов, 1968; Дзюбан, Ривьер, 1976; Marzolf, Osborne, 1972). Крайняя степень такого процесса наблюдается на участках водохранилищ, где проводятся большие гидростроительные работы или донные отложения интенсивно взмучиваются при прохождении судов и работе шлюзов. Так, в Вытегорском и Новинкинском водохранилищах (Волго-Балтийская водная система) прозрачность составляет 10—40 см, количество бактерий 6—7 млн. кл/мл, фильтраторы-зоопланктеры отсутствуют, а встречаются лишь отдельные особи хищных Cyclops и Acanthocyclops. Отсутствие фильтраторов и формирование зоопланктона из-за хищных форм происходит в некоторых мутных мелководных водохранилищах Кавказа (Кутубидзе и др., 1970).

В водохранилищах предприятий (Мингечаурском, Кайраккумском, Зеравшанском и др.), куда поступают богатые минеральными частицами воды горных рек, фитопланктон и зоопланктон бедны и по числу видов, и по биомассе (Лиходеева, 1963; Спешильникова, 1963).

Горные русловые водохранилища с большой мутностью и высокой проточностью практически лишены зоопланктона (Кутубидзе и др., 1970).

Сезонная динамика зоопланктона ярко выражена в водохранилищах умеренного пояса. Подробно изменения зоопланктона в течение года изучены во многих водохранилищах Волжского и Днепровского каскадов. С началом прогрева водоема приступают к массовому размножению коловратки и некоторые холодолюбивые Cyclops. Образуется первый весенний максимум количества зоопланктонных животных. С прогревом водоема до 10—15° появляются и начинают интенсивно размножаться Cladocera (сначала Bosmina, затем Daphnia) и Diaptomidae. Биомасса зоопланктона при этом продолжает нарастать от весны к лету благодаря размножению более крупных форм ракообразных по сравнению с Rotatoria. В середине лета, в период максимального прогрева водоема, наблюдается некоторое снижение количества зоопланктона, обусловленное истощением коловраток, снижением интенсивности размножения босмин. В зоопланктоне в это время доминируют крупные ракообразные: Daphnia, Diaphanosoma, Limnosida, Leptodora, Bythotrephes, Mesocyclops, Eudiaptomus, в массовом количестве размножается Chydorus sphaericus. Летняя депрессия в развитии зоопланктона происходит в период штилевой погоды, максимальных температур, увеличения прозрачности воды, некоторого спада численности бактерий, развития «цветения» синезеленых водорослей. В конце лета — начале осени, когда начинается более интенсивное ветровое перемешивание, улучшается кислородный режим, увеличивается количество бактерий, наблюдается второй период интенсивного размножения коловраток и босмин. Образуется осенний пик на кривой динамики численности зоопланктона, обычно более низкий, чем весенний (Каховское водохранилище, 1964; Киевское водохранилище, 1972; Рыбинское водохранилище..., 1972; Ривьер, 1976).

В водохранилищах Средней Азии в осенне-зимнее время количество зоопланктона несколько снижается, что связано не столько с понижением температуры, сколько с большим поступлением воды или ветровым воздействием (Чуприна, 1972).

В водоемах тропического пояса, где сезонная смена метеорологических условий незначительна, видовой состав, биомасса зоопланктона и структура популяций отдельных видов почти не изменяются в течение года (Grant, Viner, 1973). Изменения в гидробиологическом режиме тропических водохранилищ обусловлены колебаниями уровня и периодами тропических ливней, когда организмы, особенно в верховьях рек, просто вымываются (Leentvaar, 1966).

Начальный период формирования зоопланктона водохранилищ характеризуется расширением видового состава, нарушениями экологического соответствия отдельных групп, присутствием в пелагиали факультативно-планктонных видов и увеличением общего количества планктонных животных (Луферова, 1963; Дзюбан, 1965; Каховское водохранилище, 1964; Мельников, 1966; Mordukhai-Boltovskoi, et al., 1972).

Быстрее всего процесс формирования зоопланктона происходил в озеровидных водохранилищах (например, Рыбинском, Цимлянском) и озерных плесах слаботроточных, сложных по конфигурации водоемов (в нижнем плесе Горьковского, Угличском и Тетюшском плесах Куйбышевского, и т. д.). В озерных водохранилищах и озеровидных плесах экологическая обстановка менялась коренным образом, что способствовало более быстрому становлению пелагических комплексов по сравнению с русловыми, проточными водохранилищами, продолжающими сохранять речные черты.

В процессе существования водохранилищ изменения их гидрологического и гидробиологического режимов продолжаются. В период массового развития синезеленых водорослей угнетается

размножение планктонных ракообразных. Бактериальное разложение синезеленых и высшей водной растительности усиливает вторичное сапрофирование водохранилищ. Образование обширных песчаных мелководий, подверженных сильному ветровому перемешиванию, вызывает отмирание ракообразных под действием минеральной взвеси (Дэжбан, Ривьер, 1976).

Значительное влияние оказывает на зоопланктон сброс промышленных и бытовых загрязнений. Акватории, подвержепные многолетнему влиянию загрязнений (районы крупных городов, участки вблизи портов), имеют своеобразный зоопланктон, где нет олигосапробов, а среди α- и β-мезосапробных видов преобладают первые (Белова, Константинов, 1973).

Промышленные сточные воды вызывают сокращение общего количества видов; в первую очередь на загрязнение реагируют ветвистоусые и коловратки; вблизи сбросов сточных вод зоопланктон отсутствует (Лещева, 1970; Гольд и др., 1976).

Южные водохранилища, расположенные в районах интенсивного земледелия, особенно загрязняются ядохимикатами. Количество зоопланктона при этом снижается, многие виды исчезают вовсе. Такая картина наблюдается на водохранилищах Северного Кавказа, расположенных в рисоводческих районах: Усть-Манычском, Веселовском, Чограйском (Круглова, 1976), а также на Дубоссарском водохранилище, водосборный бассейн которого расположен в сельскохозяйственных районах интенсивного применения ядохимикатов и удобрений (Ярошенко и др., 1976).

Широкое использование водохранилищ как водоемов-охладителей ТЭС и АЭС внесло новые изменения в их экологию. Сброс подогретых вод повышает температуру на значительной акватории, прилегающей к станциям. Это вызывает изменения видового состава планктонных животных, их распределения по акватории и по глубине, сезонной динамики. При прохождении воды через агрегаты ТЭС, где организмы подвергаются температурному и механическому воздействию, ракообразные, особенно крупные планктонные Cladocera и Copepoda — ценные в кормовом отношении для рыб, травмируются и гибнут (Ривьер, 1975; Coutant, 1971). Гибель ракообразных вследствие механических воздействий при прохождении агрегатов станции наблюдается при любой температуре, но особенно велико количество погибшего зоопланктона при максимальных летних температурах 30—34° (Платина, 1975; Ривьер, 1975).

Количественные показатели зоопланктона и их связь с продукционными возможностями водохранилищ весьма различны. В Волжском каскаде наиболее высокие биомассы наблюдаются на Иваньковском водохранилище. Однако при сравнении общей продукции зоопланктона величины возрастают по направлению к югу. Так, общая продукция в Рыбинском водохранилище составляет 13,45 г/м², в Горьковском — 19,26 г/м² и Волгоградском — 23,8 г/м². В южных водохранилищах продукционные процессы

происходят гораздо интенсивнее (Небольсина и др., 1976). Водохранилища Днепровского каскада и внекаскадное — Цимлянское имеют более богатый зоопланктон, чем водохранилища Волжского каскада; здесь особенно велика роль ракообразных (см. табл. 27).

Водохранилища Средней Азии значительно различаются по биомассе зоопланктона, а также по своим продукционным возможностям. Особенно продуктивны небольшие водохранилища, расположенные среди сельскохозяйственных угодий и имеющие прудовый зоопланктон; его биомасса достигает 3—8 кг/м³. Бедны предгорные и горные водоемы, где количество зоопланктона всего 0,3—0,8 г/м³ (Мухамедиев, 1970).

Водохранилища тропического пояса могут характеризоваться невысокими биомассами фито- и зоопланктона, но очень высокой продуктивностью, так как при постоянных высоких температурах интенсивность размножения на всех трофических уровнях очень велика (Перес Ейрис и др., 1977). Продуктивность тропических водоемов определяется характером окружающего ландшафта и водосборного бассейна. Так, водохранилища, расположенные в саваннах, заболоченных тропических лесах, пустынях, полупустынях и горных районах, различаются как качественными, так и количественными показателями зоопланктона значительно более, чем водохранилища умеренного пояса.

После зарегулирования стока и создавшемся водоеме количество зоопланктона возрастает во много раз по сравнению с рекой, это способствует увеличению численности и широкому расселению рыб-планктофагов. Зоопланктон, и главным образом входящие в его состав фильтраторы осуществляют биологическое самоочищение водоемов и сохраняют экосистемы последних от все возрастающего антропогенного воздействия. Однако роль зоопланктеров-фильтраторов в этом процессе еще мало изучена.

ЗООБЕНТОС

Состав и уровень развития. Основные группы донных животных, составляющие зообентос водохранилищ — личинки хирономид, черви-олигохеты и моллюски, высшие ракообразные и моллюски (табл. 28). Кормом для рыб служит в основном мягкий зообентос.

Наибольшее кормовое значение имеют личинки хирономид. Они входят в состав биоценозов различных типов водоемов, но лишь немногие формы доминируют. За счет хирономид формируется основная биомасса кормового бентоса в первые годы существования водохранилищ (волжские, Новосибирское, Цимлянское, Вольта).

Вылет хирономид — гетеротопных организмов — вызывает на 2—3 месяца сукцессию биогеоценозов, и доминировать в них начинают олигохеты, которые рыбами потребляются в меньшей степени. Это приводит к переходу рыб на вынужденное питание и ухудшает их рост (Kruglova, 1971).

Таблица 28

Средняя биомасса бентоса в некоторых водохранилищах СССР (г/м²) *

Водохранилище	Общая биомасса	Основные группы организмов				Прочие
		Олигохеты	Тубифициды с рапсобразными	Хирономиды	Моллюски	
Рыбинское	5,5—12,9	1,2—1,4	—	3,7—5,0	0,2—0,4	0,5—3,2
Горьковское	24,5	12,3	—	4,9	3,9	3,5
Куйбышевское	24,8	1,7	0,08	1,3	21,7	0,04
Волгоградское	30,0	1,3	0,04	0,3	28,0	—
Каховское	98,4	0,33	0,01	1,3	96,8	—
Цимлянское	79,9	1,3	3,1	2,3	73	0,14
Дубоссарское	94,3	32	0,9	9,4	52	—
Новосибирское, 1959 г.	5,4	0,04	—	4,3	0,747	0,7
» 1971 г.	17,8	0,175	—	0,82	16,76	0,014
Камчатайское, 1976 г.	7,2	0,96	1,6	0,34	3,45	0,85

* По данным Пирожникова (1972), Константинова (1976), Весниной (1977).

Подвижные высшие ракообразные присутствуют в бентосе далеко не всех водохранилищ и представлены расселившимися естественным путем или вселенными формами каспийской реликтовой фауны, арктическими или сибирскими реликтами. Среди моллюсков пищей для рыб служат сферииды, отдельные брюхоногие, молодь дрейссены, монодакна. Крупные моллюски не имеют кормового значения для рыб, но играют важную роль в круговороте веществ в экосистеме водохранилищ.

Биомасса кормового бентоса без моллюсков (Пирожников, 1971; Константинов и др., 1976) в волжских водохранилищах колеблется в пределах 2—10 г/м² (Иваньковское — 9—10, центральный плес Рыбинского — 2—3, Горьковское — 3, Куйбышевское — 4, Саратовское — 2, Волгоградское — 3—4 г/м²), в Днепровском — 7, Днепродзержинском — 16, Кременчугском — 50, Каховском — от 1,5 до 15, Новосибирском — 1,8—11 г/м².

Трофическая структура и распределение зообентоса. С учетом существующих классификаций бентосных сообществ по способам питания основные формы, составляющие бентос водохранилищ, могут быть разбиты на следующие группировки.

1. Фильтраторы: а) потребители взвесей из придонной воды, чаще — малоподвижные формы (дрейссена, ряд видов хирономид), а также подвижные (унезиды), б) потребители взвесей из придонной воды и с поверхности осадка — зарывающиеся в грунт, чаще подвижные формы — кумовые, ряд гаммарид, а также ряд

хирономид, монодакна; ряд видов сочетает фильтрацию либо с собиранием с поверхности — моллюски сферииды, ряд хирономид, либо с потреблением растительной пищи грызущим, скоблящим способами — брюхоногие моллюски, ряд гаммарид.

2. Детритофаги (собиратели): а) потребители детрита с поверхности грунта — многие хирономиды, а также подвижные ракообразные ряд гаммарид, кумовых; б) потребители толщи грунта — олигохеты, полихеты, отдельные виды хирономид.

3. Хищники — некоторые хирономиды, ряд других насекомых, пиявки, креветки.

Фауну бентоса можно считать насыщенной, если в ней достаточно развиты все трофические группировки. Цимлянское водохранилище и Днепровский каскад, пожалуй, можно считать насыщенными, поскольку в них широко развиты отсутствующие в волжских водохранилищах (за исключением Волгоградского) фильтратор инфауны монодакна, собиратели инфауны полихеты, а также малочисленные в волжских водохранилищах подвижные фильтраторы — высшие ракообразные. Наименее насыщена фауна бентоса африканских водохранилищ; в первые годы их существования она состоит почти исключительно из хирономид (Petr, 1972; Мусатов, 1971).

Уровень биомассы организмов различных трофических группировок в водоеме в значительной степени определяется обеспеченностью их пищей. Развитие донных и придонных детритофагов в большей мере зависит от распределения органического углерода в грунтах. Потребление в пищу совсем бедных органикой и бактериями грунтов энергетически не оправдано, и детритофаги уступают место фильтраторам (Нейман, 1963). Изменение соотношений групп бентоса в водохранилищах на разных грунтах видно по рис. 31.

Вследствие низкого содержания органики в осадках волжских водохранилищ биомасса бентоса, которая могла бы служить пищей для рыб, остается ненасокой, несмотря не достаточно длительный срок их существования, и находится на более низком уровне по сравнению с озерами равной трофности (Мордухай-Болтовской, 1971).

Бентос в сажих водохранилищах распределяется неравномерно. Наиболее продуктивны русла рек, где оседает приносимая аллохтонная органика. Затопленная суша заселена намного слабее, в основном хирономидами и в меньшей степени олигохетами, роль которых постепенно растет с усилением заиления ложа.

По руслам почти всех водохранилищ доминируют олигохеты, так как здесь происходит основное осадкообразование за счет аллохтонной органики. Роль олигохет в пойме растет с заилением грунтов. Численность тубифицид прямо зависит от содержания органического вещества в илах. Олигохеты — потребители органики толщи грунта в большей мере, нежели другие группы бентоса, — развиваются за счет привоса аллохтонной органики.

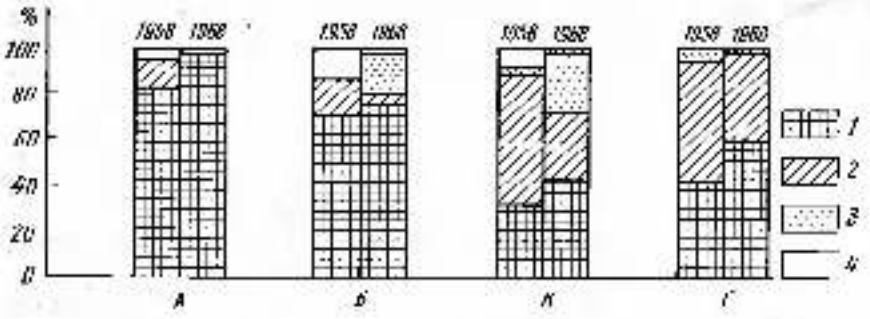


Рис. 31. Соотношение групп бентоса в % на разных грунтах в Рыбинском водохранилище (Буторин и др., 1975)

А — пески и пилистый песок; *Б* — глинистые пески; *В* — торфяные илы; *Г* — серые и сероватисто-серые илы; *1* — олигохеты; *2* — хирономиды; *3* — моллюски; *4* — прочие

Распределение детритофагов вдоль продольной оси водохранилища зависит от гидрологического режима и определяемого им характера осадконакопления. Это можно видеть на примере Кутулукского водохранилища, где приносимое аллохтонное вещество оседает в верховьях и убывает по направлению к плотине (Бородич и др., 1974). В Братском водохранилище (Кожова, 1974; Кожова, Томилов, 1973) при средней биомассе бентоса 16 г/м² олигохеты господствуют в профундали, причем в верхней части водохранилища их биомасса достигает 100 г/м², а без олигохет биомасса едва достигает 3—4 г/м². Распределение олигохет в водохранилище четко очерчивает зону осаждения приносимой органики. В транзитной части водохранилища биомасса олигохет достигает 10 г/м². В литорали Братского водохранилища, где создается основное органическое вещество, преобладают хирономиды (60—80%).

В Воткинском водохранилище особенно много олигохет в верхней загрязняемой части водохранилища — 29 г/м², или 99% массы бентоса (в зоне прямого органического загрязнения — до 600 г/м²), а средняя по водохранилищу биомасса их составляет 12,2 г/м², или до 80% общей биомассы (Дзюбан, 1975), т. е. превышает уровень развития олигохет в таком кормном водохранилище, как Цимлянское. С уменьшением попадания органических загрязнений при устройстве очистных сооружений биомасса олигохет снизилась до 4,2 г/м², в то время как биомасса других групп бентоса не изменилась. В последние годы доминирование олигохет (58—63% биомассы бентоса) характерно для сильно эвтрофируемого Ивановского водохранилища (Дзюбан, 1975). Зарастающий макрофитами Шошинский плес этого водоема имеет наименьшую долю олигохет, здесь преобладают хирономиды. В профундали водохранилища превалируют олигохеты, доля которых выше в

заиленном приплотинном участке и ниже в верховом проточном (Поддубная, 1974).

Характерно, что в Саратовском водохранилище, имеющем высокую проточность и слабую степень аккумуляции органического вещества, олигохеты играют подчиненную роль, возрастающую к плотине (Яковлева, 1975). Аналогичная картина характерна и для высокопроточного Новосибирского водохранилища (Благовидова, 1976).

Низкое содержание органики в грунтах, определяющее низкий уровень развития организмов — детритофагов, например, в волжских водохранилищах, не сказывается на сестонофаге (фильтраторе) дрейссене, условия обитания которой в этих водохранилищах благоприятные, в особенности в биотопах обрастаний (Ляхов, 1971).

Факторы, определяющие развитие зообентоса. Уровень развития зообентоса в водохранилищах зависит от многих факторов, в том числе и от развития гидрофитов. Для крупных озер умеренного пояса И. И. Николаев (1976) отмечает зависимость их лимнического типа (бентосный или планктонный тип продуцирования) от степени зарастаемости водоема макрофитами, указывая на их особую роль в формировании трофического типа водоемов.

По данным табл. 29 видно, что развитие бентоса в водохранилищах коррелирует не только с уровнем зарастаемости водоемов макрофитами, но и с показателями трофности водоемов. Количество аллохтонной органики, по-видимому, регулирующий фактор.

Таблица 29

Зарастаемость макрофитами и биомасса бентоса в волжских водохранилищах (по данным Экзерцева, Дзюбан, 1974; Константинова, 1976)

Водохранилище	Доля мягких грунтов, % площади	Зарослей макрофитов от общей площади	Годичная продукция макрофитов, г/м² с площади зарослей	Кормовой зообентос, биомасса, г/м²
Иваньковское	45	17—20	75	9
Рыбинское	25	1,3	7	2,5
Горьковское	57	1,4	5	3
Куйбышевское	60	1	—	4

Обнаружена зависимость общей биомассы бентоса от содержания органического вещества в наиболее продуктивных серых илах водохранилищ. В эвтрофном Иваньковском водохранилище процент органического вещества в сухом иле составляет 8,2, а биомасса бентоса — около 9 г/м², в мезотрофных Рыбинском и Куйбышевском эти величины составляют соответственно 3,9% и

2,5 т/м² и 3,2–5,6‰ и 3 г/м² (Гусева, Максимова, 1971; Константинов и др., 1976). В целом в волжских водохранилищах хорошо прослеживается корреляция уровня развития бентоса с биомассой и продукцией фитопланктона (Константинов и др., 1976).

Для развития бентоса важное значение имеет гидрологическая структура водных масс и их режим. В крупнейших африканских водохранилищах с обширной зоной бескислородного гиполимниона распространение бентоса ограничено глубиной эпилимниона, т. е. относительно мелководной зоной (Мусатов, 1974). При неустойчивом водном режиме развитие бентоса может ухудшиться в результате заноса илов песком или, наоборот, промыва илов и их выноса течением в нижний бьеф вместе с донными организмами (Благовидова, 1976).

В крупных мелководных водохранилищах озерного типа (Рыбинское, Куйбышевское) неблагоприятное воздействие на развитие бентоса оказывают ветер и волнение. Донные отложения часто взмучиваются на глубинах до 10 м. Это приводит к увеличению площадей дна, покрытых песчаными фракциями, и к сокращению площадей продуктивных илов. На Рыбинском водохранилище — наиболее типичном примере интенсивной переработки дна — под действием волнения на обширных площадях ухудшаются условия питания ценных бентосоядных рыб, в том числе леща, а продуктивные илы сохранились только на глубинах более 10 м, т. е. преимущественно в местах бывших русел рек.

Осушная зона. Зимняя сработка уровня и промерзание ложа обусловливают невысокий уровень развития бентоса осушной зоны. Сработка уровня и осушение мелководий в первой половине лета приводит к зарастанию этих участков наземными травами, дающими субстрат для нереста рыб и терригенный биогенный материал, который обусловливает богатое развитие бентоса зоны мелководий в защищенных от действия ветров заливах. В целом биоценоз бентоса литорали остается по составу и структуре «молодым и ненасыщенным», ежегодно «переживая», как отмечает Ф. Д. Мордухай-Болтовской (1971), в уменьшенном масштабе картину первого года жизни водохранилища, особенно когда после ряда лет с низким уровнем наступает год с высоким уровнем воды.

Обрастания. Наиболее значительна роль обрастаний в крупных африканских водохранилищах Кариба и Вольта, в которых затопленные леса и кустарники занимают большую часть площади. На затопленных деревьях в огромных количествах развиваются перифитонные водоросли и личинки водных насекомых, поедаемые рыбами.

В биотопе затопленного леса и кустарника в волжских и днепровских водохранилищах биомасса обрастаний (дрейссены) может достигать многих килограммов на 1 м².

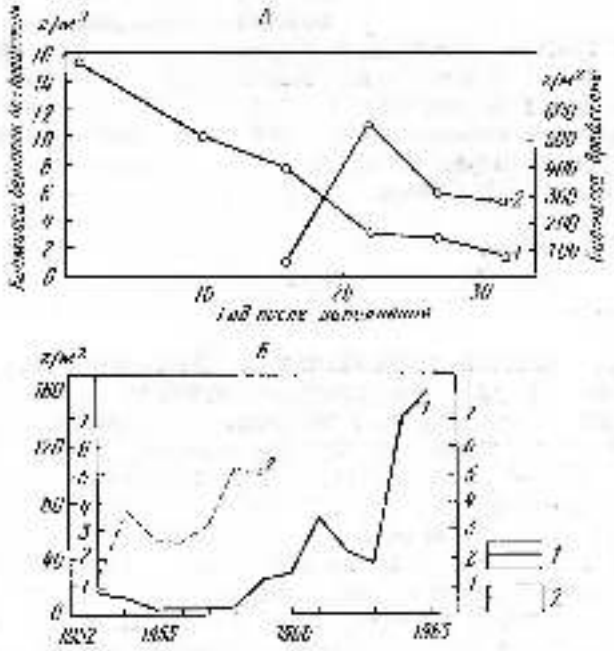


Рис. 32. Динамика среднегодовой биомассы бентоса, г/м²

А — Угличское водохранилище (по Соколовой, 1972): *1* — бентос без дрейссены, *2* — биомасса дрейссены; *Б* — Цимлянское водохранилище (по Дедюрову, 1969, Мордухай-Болтовской, 1971): *1* — общая биомасса бентоса, *2* — без хирономид

Стадии развития сообщества и сукцессии. На примере крупных равнинных водохранилищ умеренного пояса европейской части СССР — волжских и днепровских — прослеживаются следующие стадии формирования донной фауны (Мордухай-Болтовской, 1971).

1. Постепенное разрушение и отмирание терригенных и перестройка существовавших водных биоценозов в начале первого сезона.

2. Образование временных донных биоценозов в первое лето при массовом заселении нового ареала — затопленной суши — довольно однообразной фауной хирономид; в массовом количестве она развивается в условиях первоначальной высокой обеспеченности пищей — детритом терригенного происхождения — вне зависимости от исходного состава затопленного ложа и характера приносимого течением бентоса.

3. Стабилизация состава бентоса, сопровождающаяся снижением его биомассы по сравнению с предыдущей стадией (спустя 3–5 лет после создания водохранилища).

Указанные стадии формирования бентоса, по-видимому, характерны для водохранилищ всех типов, однако в высоких геог-

рафических широтах их продолжительность дольше, чем в низких. На третьей стадии может увеличиваться общая биомасса бентоса за счет появления новых форм (например, мизид (рис. 32, *Б*)) или стихийного расселения дрейссены и ее развития в водохранилищах (волжские, днепровские, Цимлянское, Дубоссарское), в результате чего наблюдается рост общей биомассы бентоса. В Новосибирском водохранилище произошло аналогичное расселение моллюска Anodonta (Благовидова, 1976). Доля дрейссены и анодонты (беззубки) может достигать 70—90% общей биомассы бентоса. В ряде водоемов на благоприятных грунтах биомасса дрейссены достигает сотен грамм на 1 м².

В Капчагайском водохранилище (Ветышева, 1977) постоянно возрастает роль акклиматизированных форм каспийской фауны: мизид, гаммарид, монодакны. Направленное заселение пищевых ниш с целью обогащения кормовой базы для рыб получило в СССР большой размах. В Цимлянском, Куйбышевском, Капчагайском водохранилищах акклиматизированные мизиды и другие формы вошли в рацион промысловых рыб.

В ряде водохранилищ, не испытавших евтрофирования, со временем наблюдается общее понижение биомассы бентоса (без вселенцев). Это хорошо подтверждается на примере существующего более 30 лет Учинского водохранилища (рис. 32, *А*). Численность и биомасса донного населения (без дрейссены) за период существования водохранилища упала во всех зонах, а прежде обитавшие виды хирономид заменены видами, характерными для водоемов с меньшей трофностью (Изекова, 1975). Н. Ю. Соколова (1971, 1973) полагает, что водохранилища умеренного пояса проходят путь от евтрофности к мезотрофности в противоположность озерам, которые проходят через фазу олиготрофности к мезо- и евтрофности. Для водохранилища Карпба также характерны изменения от евтрофности к мезотрофности. В водохранилище Вольта в первые годы бентос был не насыщен и представлен исключительно хирономидами; с истощением первоначальной вспышки обеспеченности биогенными элементами понизилась и биомасса бентоса: 1964—46,6 г/м², 1967—1968—5,7 г/м² (Pelt, 1972).

При евтрофировании растет биомасса детритофагов-олигохет (собирателей инфауны), несколько снижается доля хирономид, способы питания которых различны, и еще более заметно — моллюсков-фильтраторов (без дрейссены). В евтрофном Цимлянском водохранилище за 20 лет биомасса олигохет возросла более чем в 40 раз и к началу семидесятых годов удерживалась на уровне 5—10 г/м² и выше (Мирошниченко, 1972; 1976). Показательно, что в русле мезотрофного Куйбышевского водохранилища биомасса олигохет достигла еще более высоких величин (Любин, 1975) и за более короткий срок, что может быть оценено как один из индикаторов евтрофирования. За пре-

делами русла на ложе водохранилища евтрофирование, судя по олигохетам, выражено менее резко.

Чрезмерное евтрофирование (гиперевтрофирование) водохранилищ в описанных выше случаях резко отрицательно влияет на зообентос. В 1970—1971 гг. в Цимлянском водохранилище в результате выпадения оксифильных форм бентоса в 10—20 раз снизилась биомасса ракообразных и моллюсков, а общей продукции бентоса — в 5—10 раз. Данные А. В. Любина по олигохетам говорят о таком же угнетении биопродуцирования в предплотинной части Куйбышевского водохранилища.

КОНЕЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ (РЫБЫ)

Этапы формирования рыбопродуктивности. Процессы изменения рыбопродуктивности водохранилищ можно разделить на три фазы: I — рост; II — максимум; III — стабилизация. На третьей фазе в некоторых случаях наблюдается постепенное повышение уловов, а в других — их длительное снижение.

Период заполнения водохранилища наиболее благоприятен для воспроизводства лимнофильных рыб, так как он проходит в условиях общего оптимума воспроизводства гидробионтов. Поэтому поколения рыб первых лет существования водохранилищ обычно наиболее многочисленны. Последующие годы, когда начинают производить сработку уровня заполненных водохранилищ, менее благоприятны для воспроизводства, и численность рыб снижается. Например, в Куйбышевском водохранилище численность поколений колеблется в зависимости от условий воспроизводства, создаваемых уровенным режимом.

Величина родительского стада имеет особое значение для формирования поколения в первый год существования водохранилища при благоприятных условиях размножения, когда эта способность хорошо реализуется, но может, по некоторым данным, терять свое значение в последующий период с неблагоприятным для рыбного хозяйства уровенным режимом (Лукин, 1970, Танасийчук, 1970). В ряде крупных водохранилищ СССР фаза максимума падает на годы промысловой эксплуатации поколений первых лет существования водохранилища.

Фаза стабилизации рыбопродуктивности в водохранилищах, отличных по водному режиму, площади, глубине и конфигурации, протекает по-разному. Сохранение высокой рыбопродуктивности в течение длительного времени отмечено на равнинном Цимлянском водохранилище. Во многих водохранилищах уровень запасов ценных рыб в силу ряда неблагоприятных причин в фазе стабилизации снижается.

В водохранилищах США промысловый улов рыб, а также биомасса непромысловых пелагических сельдевых рода Dorosoma, составляющих основное население пелагиали, увеличиваются с возрастом этих водохранилищ (рис. 33), и величина их за-

висит от площади водосбора, протяженности береговой линии, общей минерализации (Men-Made..., 1973). Обратная зависимость улова от глубины водоема характерна как для водохранилищ Северной Америки, так и для крупных африканских (Мусатов, 1974).

Использование рыбами кормовой базы. В водоемах умеренных широт макрофиты и фитопланктон играют относительно небольшую роль в формировании рыбопродукции отдельных

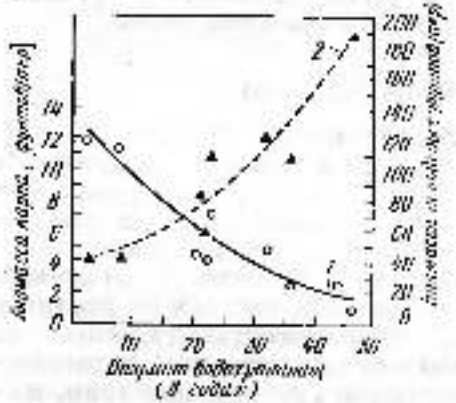


Рис. 38. Зависимость биомассы карпа и сельдевых в водохранилищах Южной Каролины (Jenkins, 1969)

1 — карп;
2 — сельдевые

видов. Детрит потребляется многими донными рыбами, но пищевая ценность его невелика. Значение рыб второго трофического звена возрастает в направлении более низких географических широт, для которых характерны растительноядные рыбы и детритофаги, имеющие важное промысловое значение (водоемы Африки и юго-восточной Азии).

В водохранилищах и озерах тропического и субэкваториального поясов первостепенное значение имеют различные растительноядные виды семейства Cichlidae, главным образом тиляпии, которые составляют 60—80% промыслового улова в водохранилище Вольта и 50—60% в водохранилищах Насер, Кариба и др. Столь же важное значение рыбы второго трофического звена имеют в мелких ирригационных водохранилищах, озерах и прудах стран Юго-Восточной Азии, Индии, Индонезии, Шри Ланка. К ним относятся тиляпии, рыбы индийского комплекса (циррина, эрибель, калбасу) и рыбы китайского комплекса: белый амур и толстолобик.

В большинстве водохранилищ США пелагиаль населена преимущественно мелкими непромысловыми пелагическими сельдевыми рыбами рода Dorosoma (40—70% общей биомассы рыб). Доросомы — рыбы преимущественно второго трофического звена. Они питаются в основном детритом, планктонными водорослями, меньше — зоопланктоном и макробентосом и являются посредниками, утилизирующими пелагический канал, так как служат пищей хищным рыбам. С увеличением возраста водохранилищ и численности планктона растет биомасса сельдевых рыб.

1708—2

В водохранилищах Африки (Кариба, Вольта, Кайнджи) пелагиаль заселена мелкими непромысловыми сайвыми сельдевыми — Limnothrissa, Cynothrissa, Pelonulla — потребителями фито- и зоопланктона, а также бентоса и молоди рыб. По весу доля сельдевых рыб в Вольте составляет 49—66% общей биомассы. Как и многочисленные прибрежные растительноядные рыбы, сельдевые способствуют достаточно эффективному освоению продукции фитопланктона. За счет мелких сельдевых формируется продукция ценных пелагических хищников африканских водохранилищ.

В большинстве водохранилищ средней полосы СССР зоопланктон используется в основном молодью рыб, а также взрослыми рыбами-планктофагами: сигом, уклеей, снетком, чехонью. Использование зоопланктона такими промысловыми рыбами, как лещ и плотва, более существенно в водоемах с невысокой биомассой бентоса, например в волжских водохранилищах, где он играет существенную роль в питании рыб. Массовое развитие рыбы-посредника — тюльки во многих водохранилищах Днепра и Волги сделало ее важным потребителем зоопланктона. Сырьевая база тюльки довольно устойчива, поскольку ее воспроизводство не зависит от уровенного режима. Однако в большинстве случаев численность судака, главного потребителя тюльки, невысока, и тюлька остается в основном «слепым звеном» в формировании хозяйственно-ценной продукции. Усиление «планктонного канала» формирования рыбопродукции за счет короткоцикловых пелагических рыб и пелагических хищников могло бы быть эффективным путем освоения биопродукции водохранилищ.

Преобладание рыб-бентофагов, таких, как плотва, лещ, густера, обусловливает формирование рыбопродукции преимущественно за счет бентоса. Так, например, формируется 70—90% рыбопродукции в Волгоградском водохранилище. Крупный частик также преимущественно бентофаги — составляет больше половины промысловой продукции водохранилищ Волги и Днепра. Основная промысловая рыба — лещ; в волжских и днепровских водохранилищах его доля в улове (по данным Л. А. Кудерского) колеблется от 8 до 61%.

Бентофаги формируют свою продукцию преимущественно за счет хирономид, а также за счет мелких моллюсков и высших ракообразных.

Олигохеты играют меньшую роль в формировании рыбопродукции, хотя в волжских водохранилищах их роль неизмеримо выше, чем в прочих[1]. Поэтому нам представляется, что расту-

[1] В питании леща в Волгоградском и Саратовском водохранилищах олигохеты составляют

щее евтрофирование водохранилищ и повышение биомассе бентоса большей частью за счет олигохет относительно хуже повышает кормовые возможности донных рыб, чем этого можно было бы ожидать. Особенно незначительна кормовая роль олигохет в зонах их максимальной численности, где пониженное содержание кислорода и прочие условия среды недостаточно благоприятны для нагула рыб.

Плохо утилизируются ценными рыбами организмы, населяющие биоценозы прибрежных зарослей, продукция которых тоже растет с евтрофированием водоема. В Иваньковском водохранилище (Дзюбан, 1975) при биомассе бентоса в зарослях 19—27 г/м² (на 50—95% состоящего из хирономид) в силу недоступности этой фитофильной фауны лещ старше двух лет вынужден переходить на питание зоопланктоном и детритом. Рыбам малодоступен и микробентос, который используется через промежуточное пищевое звено, в первую очередь через личинок хищных форм хирономид.

Численность ценных хищных рыб (щука, судак) в связи с неблагоприятными условиями их воспроизводства в большинстве водохранилищ СССР невелика и составляет в промысловых уловах от долей процента до нескольких процентов. Хищные рыбы в водохранилищах Африки родов латес, алестес, гидроцион и др. составляют до 15—20% улова. Велика численность хищников (форель, кумжа, окунь белый, черный узкий, щука, американский судак, сомик) в водохранилищах США; они обеспечивают уловы 23—28 кг/га и в основном служат объектами спортивного лова.

Величина рыбопродукции может определяться не столько количеством корма, сколько степенью его использования рыбами. Вследствие ряда неблагоприятных причин в водохранилищах редко достигается уровень численности рыб, соответствующий эффективному использованию кормовой базы. Такая ситуация сложилась, например, в первый год существования Куйбышевского водохранилища, когда появилось высокоурожайное поколение леща, обеспечившее эффективное использование кормовой базы. Рост леща при этом ухудшился. С выбытием по возрасту этого многочисленного поколения из промысловой эксплуатации запасы леща в водохранилище соответственно понизились, но обеспеченность рыб кормом улучшилась, что отразилось на повышении темпа роста леща.

Условия нагула рыб в водохранилищах в отличие от условий их воспроизводства остаются относительно благоприятными, что отражается на ускорении темпа роста рыб, их большей упитанности.

Применительно к мезотрофным волжским водохранилищам существуют две различные точки зрения на степень использования кормовой базы для рыб. По одним представлениям в этих водохранилищах имеется недоиспользование кормовой базы

Таблица 30

Промысловый улов, остаточная биомасса кормового бентоса, соотношение F/B как показатель использования кормовой базы в ряде водохранилищ

Водохранилище	Улов P*, г/м²	Бентос		Допустимый улов F_1**, г/м²	Во сколько раз P_1 больше улова	Общий улов P_0 (с учетом любительского лова), г/м² ***	Соотношение P_0/B
		B, г/м²	P/B				
Иваньковское	1,2	9	1:7,5	4,5	3	2,4	1:3,5
Угличское	0,7	9	1:13	4,5	6	1,4	1:6
Рыбинское	0,5	2,5	1:5	1,25	2	1,0	1:2,5
Горьковское	0,3	3	1:10	1,5	5	0,6	1:5
Куйбышевское	0,6	4	1:6,5	2	3	1,2	1:3
Саратовское	0,25	2	1:8	1	4	0,5	1:4
Волгоградское	0,7	2,5	1:35	1,25	2	1,4	1:2
Цимлянское	0	500—1000	1:100—200	250—500	50—300	10	1:50—100

* По данным А. С. Константинова и др. (1970); Н. И. Лапицкого (1970).

** Рассчитано по соотношению F/B=1:2, соответствующему наиболее интенсивному использованию корма.

*** Принята доля любительского вылова рыб от промыслового.

Примечание. P — улов, B — бентос, биомасса.

из-за недостатка рыб (Поддубный, Ильина, 1965), а по другим — кормовая база используется очень интенсивно и недостаток корма вызывает замедление роста рыб[1].

Оценивая степень использования кормовой базы бентосоядными рыбами по такому весьма несовершенному показателю, как коэффициент Алькя F/B (отношение промыслового улова к остаточной биомассе бентоса), на первый взгляд можно было бы сделать вывод о сильном недоиспользовании донных кормов (табл. 30). Однако с учетом любительского вылова на водохранилищах, сопоставимого по величине с промысловым, общий улов следует считать примерно вдвое выше. В связи с этим фактическое потребление кормов гораздо выше, что уже позволяет говорить об интенсивном использовании бентоса.

В то же время по данным табл. 30 следует, что в Цимлянском водохранилище (относящемся к очень «кормным» по сравнению с волжскими) бентос в значительной степени «недоиспользуется». Поэтому предлагается вселение в него рыб-моллюскоедов. В Цимлянском водохранилище даже с учетом

[1] Однако в том и другом случае необходимо дальнейшее повышение невысокой кормовой базы водохранилищ.

предшествующего к 1972—1974 гг. снижения продукции бентоса в 5—10 раз и при возрастании роли олигохет, полихет и хирономид выедается лишь 1/4—1/5 часть общей продукции бентоса: олигохеты и полихеты потребляются на 1—5%, хирономиды — на 50%, моллюски — на 35%, высшие ракообразные — на 50—88% (Небольсина, 1976).

Воспроизводство рыб. Различия в рыбопродуктивности водохранилищ в разные годы связаны в основном с эффективностью размножения рыб, что определяется уровенным режимом в условиях комплексного водопользования и использования водохранилищ. В крупных водохранилищах СССР численность рыб формируется за счет естественного воспроизводства; эффективность созданных на них нерестово-выростных хозяйств пока невысока. Поддержание оптимального водного режима для рыбного хозяйства в Куйбышевском и других водохранилищах осложняется необходимостью подачи в нижние бьефы попусков воды для нужд сельского и рыбного хозяйства в поймах и дельтах рек.

В случаях, когда сработка уровня водохранилища исключает возможность развития высшей растительности, пригодной для нереста фитофильных рыб, запасы рыб снижаются. Наблюдения на Куйбышевском водохранилище показали, что наибольший эффект в воспроизводстве дают мелководные участки, расположенные в верхней части водоема; по мере продвижения к плотине численность личинок рыб убывает, видовой состав беднеет, увеличивается доля малоценных рыб. Отмечено, что наибольшие уловы молоди приходятся на годы с заполнением водоема до НПУ к началу нереста и с превышением НПУ при незначительной сработке уровня до ледостава. Обращает на себя внимание тот факт, что в основном наибольшие уловы молоди приходятся на годы повышенной водности Волги, т. е. на 1963, 1966, 1970 гг. По данным Махотина (1977), урожайные поколения в Куйбышевском водохранилище появляются один раз в четыре года, причем урожайному году предшествует год маловодный с хорошей зарастаемостью мелководий. Численность поколений отдельных лет в зависимости от обеспеченности воспроизводства может колебаться десятки и сотни раз.

Уровенный режим в водохранилищах комплексного назначения в период нереста часто полностью лишен природной системности процессов и природной частоты появления урожайных и неурожайных лет, в результате которых многоводные годы приводили к появлению в водоеме высокоурожайных поколений рыб. В природе урожайное поколение рыб должно появляться с меньшей частотой, чем длительность промысловой жизни поколения, но не реже, чем через 3—4 года. Если оно появляется реже, то численность стада переходит уже на более низкий уровень. Это наблюдается в сформировавшихся волжских водохранилищах, в которых численность популяций рыб намного

ниже, чем в озерах соответствующей трофности, расположенных на той же широте. Эта разница увеличивается в каскаде от верхних водохранилищ к нижним. В Рыбинском водохранилище суммарная численность рыб составляет в среднем 1500 экз./га, в озерах тех же широт — от 6 до 10 тыс. экз./га.

В результате неблагоприятного уровенного режима во многих водохранилищах наблюдаются малая стабильность экосистем с резкими колебаниями численности рыб и меняющиеся межвидовые взаимоотношения рыб. Регуляторная роль рыб-хищников в экосистемах во многих водохранилищах ослаблена из-за их низкой численности.

В целях повышения рыбопродуктивности водохранилищ уже давно обсуждается вопрос о модификации уровенного режима для периодического обеспечения в водохранилищах благоприятных условий воспроизводства рыб, хотя бы один раз в 2—4 года. Это мероприятие внесет определенный элемент стабильности в воспроизводство рыбных стад. Рекомендуется также

Таблица 31

Показатели продуктивности некоторых водохранилищ

(по данным Пирожникова, 1972; Мусатова, 1974; Гик, 1975; Константинова и др., 1976; Кудерского, 1977; Jenkins, 1969)

Водохранилище	Фитопланктон, биомасса, г/м³	Первичная продукция, г/м³·сут.	Зоопланктон, биомасса, г/м³	Бентос без крупных моллюсков, биомасса, г/м²	Промысловая рыбопродукция (улов), г/м²
Иваньковское	7	0,7	2,3	9	1,2
Угличское	4	0,5	--	--	0,7
Рыбинское	3	0,3	1	2,5	0,5
Горьковское	2,5	0,45	1	3	0,3
Куйбышевское	2,5	0,5	1,5	4	0,65
Саратовское	1,3	0,45	1	2	0,25
Волгоградское	1,1	0,5	2,5	2,5	0,73
Днепровское	2,9	Нет данных	2,4—7,6	7,2	2,5—3
Днепродзержинское	5,0	»	4,7	16	2,5—3
Кременчугское	7,8	»	1,4—7,7	50	2,5—3
Каховское	21	»	2—9,9	1—15	3,5—4
Цимлянское	Нет данных	»	Нет данных	7	3,5—4
Новосибирское	»	»	»	1	0,4
Братское	»	»	»	Нет данных	0,08
Кариба (Замбия)	»	»	»	»	3 (60—90) *
Водохранилища США	»	»	»	»	1,1

* В круге со всей площади, в скобках — с площади мелководий.

форсирование уровня на 20—30 см для обеспечения условий нереста в многоводные годы и некоторое летне-осеннее понижение уровня воды для развития луговой растительности.

Промысловая рыбопродукция и общая рыбопродукция ихтиоцена. Промысловые уловы в водохранилищах мира в основном за счет растительноядных рыб различаются на 2 порядка — от 1 кг/га в холодноводном Братском до многих десятков и более сотни килограмм на 1 га в небольших водохранилищах Индии, юго-восточной Азии. За счет растительноядных рыб формируется основная рыбопродукция крупных африканских водохранилищ. В водохранилище Кариба промысловый улов в переходе на площадь мелководий составляет 60—90 кг/га. Для водохранилищ США промысловый вылов в среднем составляет 11 кг/га, спортивный — 23—28 кг/га. Об уловах в некоторых водохранилищах СССР можно судить по данным табл. 31.

В СССР наиболее высокая промысловая рыбопродукция (улов) в Цимлянских и днепровских водохранилищах (25—45 кг/га). Еще более высок улов в небольших южных водохранилищах — Хаузханском (Туркменская ССР) — 60 кг/га, Шенджийском (Краснодарский край) — 52—309 кг/га, где преобладают растительноядные рыбы (75—80%).

Отношение промыслового улова к общей продукции ихтиоцена, величина которой может быть рассчитана весьма приближенно, меняется в зависимости от интенсивности промысла. По имеющимся оценкам рыбопродукции (Сорокин, 1972, Небольсина..., 1976), можно предполагать, что промысловый улов составляет в Рыбинском водохранилище не более 3% от всей рыбопродукции, Волгоградском — 12—18%, Цимлянском — 55%. Во многих случаях имеются значительные резервы повышения уловов (освоение запасов сорных рыб, облов полагиали и т. д.).

В свою очередь, в конечной продукции естественных водных экосистем водохранилищ обычно утилизируются десятые доли процента суммарной продукции фитопланктона и бактерий. Рыбопродукция водохранилищ в отдельные годы мало связана с изменениями продукции предыдущих трофических звеньев и определяется условиями воспроизводства в водохранилищах. Тем не менее проблема формирования ценного в хозяйственном отношении продукта должна рассматриваться как проблема конечной продукции водных экосистем в тесной связи с круговоротом вещества в водоеме. Вышесказанное в первую очередь относится к водохранилищам, находящимся под мощным антропогенным воздействием.

Глава VI

КАЧЕСТВО ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ

ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ПОНЯТИЯ

Обеспечение чистоты воды водохранилищ — одна из узловых проблем их создания и эксплуатации. Проекты создания и практика эксплуатации водохранилищ, как правило, учитывают интересы обеспечения коммунального, промышленного, сельскохозяйственного водоснабжения, развития рыбного хозяйства и рекреационного использования прибрежных зон.

Не существует водопотребителей, не заинтересованных в определенном качестве воды. Кроме того, существование такого водохранилища положительно влияет на природные процессы лишь при условии достаточной чистоты его воды. Изучение особенностей формирования качества воды в водохранилищах позволяет утверждать, что правильный выбор их местоположения и режима эксплуатации в ряде случаев существенно влияет на характер внутриводоемных процессов, делает возможным активное управление качеством воды. В естественных водоемах это, как правило, невозможно. Однако качество воды водохранилищ также зависит от природных и хозяйственных условий формирования стока на водосборе, количества и состава сточных вод, сбрасываемых в водоем.

Следует подчеркнуть, что понятие «качество воды» сегодня рассматривается во всех странах, имеющих соответствующие нормативы применительно к конкретному виду водопользования. Так, для удовлетворения хозяйственно-питьевых нужд[1] нормативы, лимитирующие состав воды, определяют ее высокие органолептические свойства, эпидемическую безопасность и безвредность химического состава, в том числе и в санитарно-токсикологическом отношении. Наиболее строгие требования предъявляются сейчас к составу воды водоемов рыбохозяйственного назначения. Для промышленного использования воды играет роль уровень и характер ее минерализации, жесткость, наличие взвесей; однако имеются производства, предъявляющие весьма высокие требования к составу воды, используемой в технологических циклах, например, целлюлозно-бумажное производство. Менее жесткие требования предъявляют к составу воды сельско-

[1] Водным законодательством СССР определен характер этого вида водопользования.

хозяйственные потребители, однако степень ее минерализации играет здесь немалую роль для сохранения плодородия почв. Развитие учения о циркуляции токсических веществ в окружающей среде, очевидно, усилит требования к качеству вод, пригодных для использования в сельском хозяйстве.

Состав воды водоема во многом определяет жизнедеятельность водных экосистем, с функциональным состоянием которых связаны процессы самоочищения водоемов и их продуктивность. Поэтому рассмотрение качества воды как характеристики среды, обеспечивающей устойчивость водных экосистем, при оценке состава вод не менее важно, чем учет иных критериев. Влияние изменений, происходящих в экосистемах водоемов, на качество воды изучено недостаточно.

Рассмотрение проблемы нормирования состава воды, в частности открытых водоемов, выходит за пределы темы настоящей монографии. Однако следует подчеркнуть, что необходима разработка единых критериев нормирования состава воды водоемов с учетом интересов не только рационального использования и охраны водных ресурсов, но и охраны их экосистем. Последние играют решающую роль в формировании качества воды, определяя возможность и интенсивность процессов самоочищения.

Рассмотрим факторы и процессы, изменяющие состав воды. Формирование качества воды в водохранилищах во многом определяется особенностями развития гидрохимических и биохимических процессов, зависящих от специфических воздействий ряда внутри- и вневодоемных факторов. Рассмотрение роли ведущих факторов позволяет представить основные процессы формирования качества воды в водохранилищах. Гидрохимические и биологические процессы формирования состава воды зависят от соотношения масс поступающей и вытекающей воды, в том числе от стока основной реки и боковых притоков, состояния залитого ложа (в первые годы формирования водохранилища), промышленных и бытовых стоков, выноса с полей минеральных удобрений и ядохимикатов, рекреации, растворения продуктов эрозии берегов и донных отложений, атмосферных осадков. Отметим, что роль осадков, выпадающих непосредственно на зеркало водохранилищ, во многих случаях незначительна: они приносят всего 0,5–1,7% биогенных и органических веществ и 0,4–4,0% ионов тяжелых металлов от их общего поступления в водоем (Денисова и др., 1976). На качество воды водохранилищ влияют также климатические условия, ветровой режим, гидрологические условия и, как указывалось, режим эксплуатации водохранилищ.

Для вновь созданных водохранилищ характерны два периода формирования качества воды: период наименьшей стабильности состава воды в первые годы их существования, что связано с влиянием почв ложа, и период относительной стабильности состава воды, если антропогенный пресс на водохранилище не претерпевает существенных изменений и если не происходит резких колебаний водности. Это период становления, упорядочения внутриводоемных экосистем и стабилизации процессов самоочищения. Большое значение для сохранности состава воды в период относительной стабилизации имеют рациональные режимы эксплуатации водохранилища, не нарушающие установившееся равновесие экосистем, кислородный режим и т. п.

Качество воды, свойственное данному водохранилищу, формируется на фоне природного состава воды зарегулированного водоема, и в благоприятных условиях этот фон сохраняется. Качество воды глубоководных водохранилищ связано также с их температурной стратификацией, определяющей особенности распределения кислорода в различных слоях и самоочищения воды. В последние десятилетия все более существенным становится влияние антропогенных факторов на качество воды водохранилищ. Сбросы неочищенных или недостаточно очищенных промышленных и коммунальных сточных вод, поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий и животноводческих ферм и комплексов угнетают процессы самоочищения, приводят к эвтрофированию водохранилищ и в ряде случаев резко снижают качество воды. К основным видам таких загрязнений следует отнести также «тепловое», вызывающее существенные изменения температурных режимов водных масс и гидробиологических процессов. В проблеме антропогенного загрязнения водоемов все большую роль приобретает вторичное поступление вредных веществ стабильной природы, связанное с процессами их десорбции с донных отложений и за счет деструкции организмов, аккумулирующих загрязнения. Антропогенное загрязнение водохранилищ стало острой проблемой, требующей значительного усиления водоохранных мероприятий.

ПРИРОДНЫЙ СОСТАВ ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ

Качество воды водохранилищ в первую очередь определяется гидрохимическими особенностями вод речного стока. К компонентам природного состава вод, поступающих в водохранилище, относятся взвешенные вещества, природные органические соединения, макро- и микроэлементы.

По определению В. И. Вернадского, ведущим фактором, определяющим состав речных вод, являются геохимические процессы в географических (ландшафтных) зонах.

В зонах с избыточным увлажнением (тропическая, лесная, тундровая) происходит интенсивный вынос растворимых солей. Наиболее растворимые вещества — хлористый натрий, гипс — здесь в основном вымыты, а в тропической и тундровой зонах вымыт и углекислый кальций. Речные, озерные, почвенные и грунтовые воды оказываются в связи с этим слабоминерализованными. Речные воды тропической зоны в основном имеют

минерализация 30—50 мг/л, зоны тундр — 25—80, а в лесной зоне — 100—200 мг/л, в последней преобладают кальций и гидрокарбонаты (Максимович, 1955).

В недостаточно увлажненных зонах (лесостепь, степь и полупустыня) вынос солей незначителен, но минерализация вод здесь выше. Выщелачивается наиболее растворимый галит (NaCl), а все остальные соли — гипс, углекислый и сернокислый натрий — могут сохраняться в зависимости от местных условий. Более подвижные речные воды в общем минерализованы меньше, чем менее подвижные озерные, грунтовые и почвенные воды, минерализация которых может достигнуть даже 10—30 г/л и выше. В зонах с недостаточным увлажнением, кроме того, формируются гипсовые, содовые и сульфатно-натриевые воды. В аридной зоне, или зоне засоления почв, происходит не вынос солей, а их накопление.

Руководствуясь соотношением ионов в различных водах, гидрохимики выделяют классы, группы и типы вод, причем в СССР, пожалуй, наибольшую известность получила классификация природных вод О. А. Алекина (1955). Следует, однако, отметить, что она далеко не единственная. Высшими таксономическими единицами являются гидрохимические зоны. Они делятся на гидрохимические области, а последние — на районы, районы — на фации. В распределении гидрохимических фаций как для почвенных растворов, так и для речных вод проявляется широтная и высотная зональность, причем Г. А. Максимович (1955) выделяет для почвенных растворов девять широтных фаций.

Минерализация озерных вод меняется в миллионы раз — от $6 \cdot 10^{-4}$ до 37,15‰. В непроточных и малопроточных озерах из раствора могут выпадать и накапливаться наименее растворимые вещества, жизнедеятельность организмов вызывает выпадение веществ в органогенной форме: сапропели (диатомиты), известковые сапропели и озерные железные руды.

Гидрохимические фации объединены в группы. При этом выделяют: кремнеземную, гидрокарбонатную, сульфатную, натриевую, хлоридную группы.

Для зоны умеренного климата, исходя из условий питания реки и различий химических характеристик самих вод в годовом цикле, можно определить четыре периода.

I период — осенний предледоставный.

II период — река под ледяным покровом, когда прекращается сток поверхностных вод и основное питание реки происходит за счет глубоких подземных вод.

III период — половодье. Река питается талыми снеговыми водами.

IV период — лето до начала осеннего подъема уровня воды. Питается река за счет выпадения осадков и вод таяния поверхностного слоя многолетней мерзлоты, ледников и т. д.

Для зоны преобладания кремнеземных и гидрокарбонатно-кремнеземных гидрохимических фаций рек тропиков (субтропиков), богатых органическим веществом (тропические реки Южной Америки, Африки, Индии, Индокитая, Флориды в Северной Америке) характерны выпадение большого количества осадков и малая водопроницаемость почв. Отмечается малая минерализация воды с преобладанием слаборастворенного кремнезема или гидрокарбонатов, богатство органическим веществом и железом. Последние обусловливают бурую и даже черную окраску речной воды.

Для горных рек намечаются три вертикальные зоны гидрохимических фаций: 1) зона преобладания кремнеземных и гидрокарбонатно-кремнеземных гидрохимических фаций — зона альпийских лугов; 2) зона преобладания гидрокарбонатно-кальциевых и гидрокарбонатно-сульфатных гидрохимических фаций — зона горных лесов; 3) зона преобладания сульфатных гидрохимических фаций — зона предгорных степей.

Следует отметить, что, кроме вертикальной зональности, важный фактор, обусловливающий появление гидрокарбонатной гидрохимической формации, это литология. Реки, протекающие среди мощной толщи известняков, также относятся к гидрокарбонатным гидрохимическим фациям. Появление сульфатных гидрохимических фаций связано с гидрогеологическими особенностями, например впадением в реку серных источников с большим дебитом (р. Аргун на Кавказе). Минерализация рек горной зоны колеблется в широких пределах (от 12 до 1660 мг/л).

Зарегулирование речного стока также влечет за собой и определенные изменения состава воды и концентрации солей, однако при этом сохраняются особенности состава воды того водотока, на котором создано водохранилище. Так, например, для водохранилищ верхней Волги показательно сравнительно небольшое содержание солей в воде и наличие гуминовых веществ, свойственных незарегулированной Волге; для Камских — высокая минерализация и разнообразный солевой состав по отдельным участкам как результат воздействия многочисленных впадающих в Каму притоков; для водохранилищ на Ангаре — низкая минерализация, типичная для оз. Байкал, и т. п. По принадлежности к тому или иному гидрохимическому классу воды водохранилища и зарегулированной реки обычно идентичны.

О влиянии зарегулирования стока рек на химический состав их вод можно судить по материалам статистической обработки 4000 проб воды из рек и образованных на них водохранилищ за период 1950—1970 гг. (Зайцева и др., 1977). Установлено закономерное снижение органических веществ в воде водохранилищ по сравнению с питающими реками и обратная связь между содержанием органических веществ и величиной водообмена.

При малых значениях этой величины (менее 5) содержание органических веществ и минеральный состав зависят в большей степени от физико-географических особенностей района расположения водохранилища. Так, наибольшая зависимость содержания органических веществ от величины водообмена выражена в таежно-лесной, меньшая — в лесостепной и степной, наименьшая — в полупустынной и пустынной зонах. С увеличением водообмена различия в содержании органических веществ в воде водохранилищ и рек снижаются примерно в равной степени во всех природных условиях.

В первые годы существования водохранилища существенное значение в формировании качества его воды имеют состояние ложа и свойства затопленных почв. Санитарно-технические мероприятия, выполненные для подготовки ложа, играют при этом особую роль. Накопленный практический опыт в этой области показывает, что от качества очистки участков ложа, занимавшихся ранее населенными пунктами, обеззараживания нечистот, захоронений и других потенциальных источников загрязнений во многом зависит влияние ложа на качество воды в водохранилище. В первые годы сохраняет влияние и затопленная древесная растительность. Отмечено отрицательное влияние торфов на качество воды. В начале существования водохранилищ характерно повышение величин таких показателей качества воды, как БПК, окисляемость, цветность и снижение уровня содержания растворенного кислорода. Это влияние больших затопляемых территорий временно и постепенно теряет значение.

Процессы формирования качества воды во вновь созданном водохранилище зависят от степени сбалансированности во времени гидродинамических и биологических процессов. В первые годы после заполнения водохранилища достаточно сбалансированная экосистема, определяющая качество воды, образоваться не может: в новое взаимодействие вступают гидрологические, гидрохимические и другие факторы, активно протекают геоморфологические и иные процессы, формируются водные массы нового качества; оказываются в контакте озерные и речные биоценозы, происходит вымывание значительных количеств аллохтонного вещества. Но о какой сбалансированной экосистеме и формировании воды удовлетворительного качества как результате деятельности экосистемы в этот период не может быть и речи. К тому же едва сформировавшиеся водные массы находятся, как правило, под мощным антропогенным воздействием, поскольку с водосборной территории поступают минеральные соли, загрязнения и аллохтонные органические вещества.

Исследования, проведенные на верхневолжских водохранилищах, показали, что формирование устойчивого грунтового комплекса продолжается десятилетиями и заканчивается при достижении равновесия между гидродинамической активностью водных масс и ложем, а также при установлении относительно

постоянного состава извлеченных частиц, формирующих донные отложения.

На формирующийся и сформировавшийся состав воды может непосредственно влиять и состав почв ложа. При этом имеет значение контакт с водой растворимого материала, его удельный вес в составе грунта. Наличие соответствующих данных позволяет в ряде случаев прогнозировать изменения уровня минерализации воды в водохранилище после затопления ложа в зависимости от присутствия, например, выщелачиваемых почв. Так, для оз. Мид (США) показана возможность снижения с годами уровня минерализации (Frei, 1966). Аналогичная тенденция деминерализации воды отмечена этим же автором в водохранилище форт-Рэндол (табл. 32).

Таблица 32

Жесткость воды в водохранилище Форт-Рэндол
(среднегодовые концентрации, мг/л)

Форт Рэндел	1950	1951	1955	1956	1957
Жесткость					
Выше створа	271	247	248	242	245
Ниже »	250	240	230	234	275

Однако в первые годы существования водохранилища возможно и нарастание уровня минерализации воды. Имеются данные о начальном периоде формирования качества воды водохранилища Блюстрел (Канада), в котором сумма растворенных солей за 6 месяцев после заполнения чаши возросла с 220—250 до 500 мг/л, а за 1,5 года достигла почти 700 мг/л. Данные экспериментальных исследований и натурных наблюдений позволяют полагать, что при прогнозировании влияния затопленных почв на качество воды водохранилища можно исходить из данных об их электропроводности и содержании органических соединений. При величине электропроводности почвы до 1 миллисименса/см это влияние мало выражено; для органических веществ таким лимитирующим пределом служит их содержание в почве более 2,5%.

В числе мероприятий, ограничивающих неблагоприятное влияние почв ложа водохранилища на качество воды, некоторые авторы называют удаление активного грунта или перекрытие его водонепроницаемым либо неактивным материалом.

В настоящее время рассмотрение природного состава вод, в том числе и водохранилищ, без учета огромного влияния веществ антропогенного происхождения приобретает все большую условность. Их включение в состав воды способно вызывать столь

значительные сдвиги в ее качестве, что в ряде случаев приходится рассматривать природный состав воды водохранилища лишь как фоновый.

САМООЧИЩЕНИЕ ВОДЫ

Важнейший внутриводоемный процесс формирования качества воды в водохранилищах — ее самоочищение. Под «самоочищением» природных вод принято понимать совокупность внутриводоемных гидрофизических, гидрохимических и биохимических процессов в воде, направленных на восстановление свойств и качеств, удовлетворяющих требованиям различных водопользователей и условиям, в которых могут существовать гидробионты. При этом следует иметь в виду, что многие гидробионты, активно участвующие в процессах самоочищения, весьма чувствительны к незначительным нарушениям гидрохимического состава природных вод и наличию в воде токсичных веществ даже в самых ничтожных концентрациях.

Способность водоема к самоочищению от поступающих загрязнений определяется возможностью осуществления седиментационных процессов (взвешенные вещества), разбавления (растворенные вещества) и разложения сложных органических веществ.

Седиментация. Специфика гидрологического режима в водохранилищах обусловливает устойчивость седиментационных процессов и улучшение по мере продвижения воды по водохранилищу таких показателей ее качества, как прозрачность, цветность, минерализация, бактериальная загрязненность (табл. 33).

Таблица 33

Улучшение качества воды в водохранилище
(по Грехэму и Кибальчич, 1975)

Участок водохранилища	Куйбышевское		Каховское			Цимлянское	
	Прозрачность по Секки, см	Количество сапрофитов в 1 мл	Коли-индекс	Количество сапрофитов в 1 мл	Коли-индекс	Прозрачность по Секки, см	Коли-индекс
Верхний	70—90	1800—1723	16 150—53 200	4000	10 000	10—18	16 200—20 000
Центральный	150	700—835	100—300	300	750	23—28	8400—12 000
Приплотинный	150	29	40	507	40—100	25—30	6600—8400

* Коли-индекс — количество бактерий группы кишечной палочки в 1 л воды.

На ряде водохранилищ (Клязьминское, Учинское и др.) качество воды в приплотинной части водоемов приближается к качеству воды, очищенной на водопроводных сооружениях, а иногда даже не требует специальной очистки от взвесей. Осветление воды в водохранилищах значительно облегчает и удешевляет очистку на водопроводных сооружениях.

Отстой воды в водохранилищах в течение 2—3 недель приводит также к резкому уменьшению содержания сапрофитных бактерий и кишечной палочки (табл. 34).

Таблица 34

Коли-индекс (по средним данным; Драчев, 1961)

Водоем	Объем водохр. млн. м³	Число бактерий в 1 л воды
Пруды	До 1	10^3—10^6
Водохранилища:		
Шахтное	75	100—5000
Клязьминское	88,5	100—10 000
Иваньковское	1 120	130—1 000
Рыбинское	25 420	20—100

Водохранилища выступают в роли гигантских отстойников. Для оценки этой роли водохранилищ Хадсон (Hudson, 1971) употребил понятие «эффективность улавливания наносов», выражаемую в процентах от общего количества наносов, приносимых реками. Эта величина зависит от объема водохранилищ и их водообмена и в известной мере может быть охарактеризована таким показателем, как соотношение объема водохранилища и притока (C/I). С увеличением этого соотношения растет и процент задерживаемых водохранилищем наносов.

Расчет индекса C/I для волжских и днепровских водохранилищ показывает, что его величины могут находиться в пределах 0,05—0,15 (Саратовское, Иваньковское, Угличское, Горьковское, Волгоградское), повышаясь до 0,23 и 0,28 в Куйбышевском и Кременчугском и до 0,36 и 0,64 в Каховском и Рыбинском водохранилищах соответственно.

Процессы биологического очищения воды в специальных отстойных водохранилищах детально изучались Л. В. Францевым в Учинской лаборатории Московского водопровода и четко сформулированы в работе, посвященной очистному эффекту Учинского водохранилища и путям его повышения (Францев, 1961).

Отстой воды способствует также постепенному уменьшению запахов, вызванных процессами синтеза и распада органических веществ. Например, в Клязьминском водохранилище запахи уменьшаются в 2—3 раза по сравнению с водой р. Клязьмы; в

Учинском, получающемся в Пестовском водохранилище воду,— на 9—19%; значительно уменьшается сильный «землистый» запах воды после отстоя в Фархадском водохранилище. С процессами отстаивания воды в водохранилищах связывают и некоторое снижение ее цветности, обусловленной присутствием окрашенных органических соединений гуминового характера. Однако в тех случаях, когда цветность воды определяется главным образом развитием фитопланктона, естественно ее нарастание по сравнению с питающей водохранилище водой (Драчев, 1961).

Бактериальное загрязнение воды при протекании через Фархадское водохранилище уменьшилось приблизительно в 10 раз в межень и в 20—40 раз в паводок. В некоторых водохранилищах (не загрязняемых сточными водами) санитарно-бактериологические показатели качества воды в зимнее время приближаются к нормативным для питьевой воды.

Разбавление. Объем водохранилища, его форма, рельеф, глубины, площадь и расположение впадающих притоков также накладывают значительный отпечаток на ход и характер процессов разбавления и самоочищения в водохранилищах.

Образование застойных масс воды на отдельных участках водохранилищ приводит к дефициту кислорода на глубине свыше 3—5 м и ослаблению самоочищения в придонных слоях (Топачевский и др., 1974). Ряд исследователей справедливо считает, что водохранилища обладают ограниченными возможностями самоочищения, а в результате спуска в них сточных вод и накопления токсических веществ затрудняется использование воды для водоснабжения и орошения (Жадин, 1967; Мельников, 1970а, б; Федай, 1973).

Отрицательные последствия зарегулирования стока связаны с замедлением скоростей течения, резким ухудшением условий перемешивания водных масс во всей их толще и их обогащения кислородом из атмосферы, а также образованием застойных зон. При этом удаление сточных вод от места их выпуска и их разбавление замедляются вследствие уменьшения течения, причем сточные воды иногда нагоняются ветром вверх по течению и могут распространяться до середины водохранилища или до противоположного берега, как это наблюдается в нижнем участке Каховского водохранилища (Костовецкий, Рахов, 1975). Может даже возникнуть необходимость переноса водозаборов, которые в естественных условиях, располагаясь выше по течению места выпуска сточных вод, раньше находились в относительной безопасности.

Разложение органических веществ. Этот процесс в основном биохимического характера и связан с жизнедеятельностью сапрофитной микрофлоры, главным образом гетеротрофной. Покрытие энергетических затрат и синтез новых углеродистых соединений для построения клеточных структур осуществляются группой микроорганизмов за счет углерода готовых органических соединений. Химическая суть этого процесса заключается в окислении и минерализации органического вещества с образованием конечных продуктов распада: минеральных соединений, газов и воды. Первая фаза окисления завершается деструкцией до углекислоты и воды, а распад белков сопровождается выделением аммиака или образованием аммонийных солей. Последние окисляются нитрифицирующими бактериями до нитратов и затем усваиваются фитопланктоном и высшей водной растительностью. Поступающие в водоем органические загрязнения стимулируют развитие представителей фитопланктона и зоопланктона, уровень развития гидробионтов отражает интенсивность процессов самоочищения.

Для быстрого окисления важно сочетание таких факторов, как разбавление загрязнителей и перемешивание водных масс, повышенная температура и достаточное количество растворенного кислорода (что обеспечивает преобладание окислительных процессов и ускоряет минерализацию органического вещества).

Кислородный режим, определяющий уровень окислительно-восстановительных процессов в водоеме, и его самоочистительная способность в значительной степени зависят от структуры водных масс, определяемых особенностями проточности, климатическими факторами, глубиной и размерами водоема, рельефом, степенью проточности.

Условия самоочищения в реках и водохранилищах сильно разнятся. Если по ряду показателей (цветность, мутность) условия самоочищения водохранилищ имеют ряд преимуществ по сравнению с реками, то по легкости насыщения воды кислородом и по показателям ХПК и БПК самоочистительные возможности рек более предпочтительны.

Интенсивность самоочищения может оцениваться по функциональным показателям экосистемы водоема, например по потреблению кислорода, т. е. по энергетическим тратам экосистемы на деструкцию. Скорость деструкции может быть выражена в виде константы потребления кислорода K:

$$K = 1/t \lg x_1/(x_2 - x_1),$$

где x_1 и x_2 — потребление кислорода за время t и $2t$.

В последнее время предложено использовать в качестве индекса самоочищения водоема показатель $Ф/Д$ (соотношение первичной продукции фотосинтеза $Ф$ и деструкции $Д$). При величине $Ф/Д$ больше единицы качество воды предлагается оценивать как хорошее, индекс меньше единицы — как показатель ухудшения качества воды (Жукинский и др., 1976). Следует, однако, иметь в виду, что соотношение $Ф/Д$ в большой мере зависит от степени трофии водоема и доли привнесенного извне аллохтонного органического вещества.

Показателями самоочистительной способности признаны также отношение числа сапрофитных бактерий к общей численности

бактерий, ферментные тесты, оценивающие протеолитическую, каталазную и дегидрогеназную активность воды, а также процент легкоразложимого органического вещества, минерализуемого за сутки.

Однако для водохранилищ и их участков, испытывающих значительную нагрузку загрязнений минеральными веществами и особенно биогенными элементами, растворимыми органическими веществами и токсичными соединениями, большинство исследователей отмечает ограниченные возможности самоочищения, причем водохранилища с бо́льшими трудностями перерабатывают эти загрязнения, нежели реки, где, как правило, условия насыщения кислородом более благоприятны.

Для водохранилищ процесс евтрофирования, т. е. повышения уровня трофии, новообразования органического вещества, представляет опасность. Незарегулированные реки имеют обычно извилистые русла, участки с преобладанием относительно тихих плесов чередуются с перекатами; для вод рек характерными особенностями являются непрерывные контакты с песчаным или илистым дном и с воздухом. Все это способствует, с одной стороны, проявлению адсорбционной способности ложа реки, и с другой — непрерывному насыщению речной воды кислородом.

Водохранилища — особая категория водоемов замедленного водообмена, которым свойственны не только своеобразные гидродинамические и морфометрические характеристики, но и особенности происходящего в них круговорота вещества и энергии (Буторин, Фортунатов, 1976). Так, в расширенной части волжских водохранилищ деструкция (при более высокой скорости водотока) идет медленнее, чем в суженной. В водохранилищах руслового типа численность осуществляющих деструкцию бактерий выше, чем в водохранилищах озерного типа. Самоочищение волжской воды в озерных участках водохранилищ замедлено в 2—3 раза. Так, на большинстве незарегулированных участков р. Волги за сутки минерализуется 20—30% легкоразложимых веществ, а в районах замедленного стока — 5—10% в сутки (Каховське водоймище, 1964; Киевское водохранилище, 1972; Рыбинское водохранилище..., 1972).

Температурный режим и стратификация. Для водохранилищ зоны умеренного климата характерны резкие различия в температуре водных масс в зависимости от сезона года и резкие изменения интенсивности процессов деструкции в зависимости от температуры воды. Скорость самоочищения в холодных водах Братского водохранилища, Обской губы, Байкала намного ниже, чем в водохранилищах Дона, Днепра, Волги. В водохранилищах тропических и субтропических поясов отсутствие резких сезонных температурных различий сказывается на стратификации и перемешивании, которое бывает выражено глабее.

Наблюдения в бассейне Волги (Рыбинское водохранилище..., 1972) показали, что численность бактерий в воде возрастает по

направлению к югу: в Рыбинском — 1—1,5, а в Куйбышевском — 1,5—3 млн. кл/мл. Деструкция, как и продукция, в южных водохранилищах выше, чем в северных.

В мелких водоемах без термальной стратификации процессы продукции и деструкции совмещены. Кислородный режим в этих водоемах наиболее благоприятен.

В более глубоких водоемах разность температур может приводить к расслоению водных масс на эпилимнион, металимнион (термоклин), гиполимнион. Важно подчеркнуть, что первый из них трофогенный, а нижний — трофолитический, в котором происходят процессы деструкции органического вещества. Соотношение мощности этих слоев существенно влияет на процессы самоочищения водоемов.

Для оценки интенсивности биологических процессов в водоемах могут быть использованы такие показатели, как соотношение объемов эпи- и гиполимниона, соотношение количества кислорода в эпи- и гиполимнионе, дефицит кислорода, отнесенный к площади гиполимниона, процент площади ложа, занятого гиполимнионом. Отметим, что под воздействием весеннего и осеннего перемешиваний вертикальная и горизонтальная зональности исчезают; то же наблюдается в ряде водоемов летом при сильном ветровом перемешивании. Чем больший процент объема водоема занимает эпилимнион, тем его продуктивность в целом выше. Степень водообмена эпи- и гиполимниона и устойчивость вертикального расслоения водоема в большей мере зависят от степени термоградиента между слоями. Низкий градиент температур говорит о слабой устойчивости расслоения и высокой интенсивности обмена между слоями. Водоемы высокой термальной стабильности отличаются меньшим по глубине гиполимнионом, большим термоградиентом в слое скачка. Так, в табл. 35 приведены данные о северо-американских водохранилищах; судя по этим данным (по отношения глубины термоклина к средней и максимальной глубинах), водохранилища Мид, Буля-Шолс, Ф. Рузвельт характеризуются большей термальной устойчивостью, чем, например, Оахе и Норрис. В ряде случаев, как, например, в водохранилище Мадден-Лейк (зона Панамского канала), высокостабильный термоклин играет роль «второго дна». Градиент плотности воды замедляет погружение взвешенного вещества в гиполимнион и поддерживает высокую продукцию эпилимниона.

По гидрологической структуре, типу стратификации водных масс и положению слоя скачка В. П. Абросовым (1971) предложена следующая классификация озер СССР.

1. Тепловодные, однородные, перемешиваемые и прогреваемые до дна. Гиполимниона нет (Пьяозеро, Неро).

2. Тепловодные, разнородные со слоем скачка только в отдельных участках с наибольшей глубиной. Эпилимнион занимает большую часть профундали (озера Псковско-Чудское, Себеж).

Таблица 35

Некоторые показатели глубин ряда крупных водохранилищ США (Jenkins, 1969)

Водохранилище	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м	Глубина термоклина, м	Отношение глубины термоклина к средней глубине
Мид	160	60	21	0,35
Окс	60	18	21	1,18
Шаувал	53	17	*	—
Буэл-Шоле	60	20	9	0,45
Ф. Рузвельт	60	21	9	0,43
Техома	35	9	*	—
Кентукки	18	5	*	—
Тейбл Рок	56	18	9	0,47
Норрис	60	18	25	1,4
Уитни	13	7,5	*	—

* Стабильный термоклин не образуется

3. Умеренно холодноводные — зона температурного скачка ниже средней глубины. Большую часть профундали занимают мета- и гиполимнион (оз. Переславское).

4. Холодноводные озера — слой скачка выше средней глубины (озера Ладожское, Онежское, Валдай).

5. Очень холодноводные озера — самые глубокие. Придонные температуры постоянные (оз. Байкал).

Указанная классификация, по-видимому, может быть применена и к водохранилищам, занимающим по ряду показателей промежуточное положение между рекой и озером. Это позволит дифференцировать их по типу стратификации и уровню самоочищения.

Исходя из средней глубины и процента площадей с разными глубинами, большинство крупных равнинных водохранилищ бассейна Волги, Днепра по этой классификации могут быть отнесены к категории «тепловодных разнородных», в которых большую часть профундали занимает эпилимнион (табл. 36).

Процент глубин от 0 до 5 м в волжских водохранилищах примерно одинаков, за исключением наиболее мелководного Ивань-ковского. Однако даже в последнем на плесах и впадинах, а также по руслу наблюдается стратификация. Разность температур в слоях водохранилища достигает 8 °С (Литвинов, 1974). Стратификация наблюдается в мае-июне и постепенно ослабевает, исчезая со второй половины августа на осенне-зимний период. Сходная картина отмечена и для Горьковского водохранилища (Эдельштейн, 1968).

Летом вследствие ветрового перемешивания стратификация в волжских водохранилищах наблюдается редко. Зимой в связи

Таблица 36

Максимальная и средняя глубины и процент от площадей в пределах глубин до 5 м в некоторых равнинных водохранилищах европейской части СССР*

Водохранилище	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м	Процент площади с глубинами, 0—5 м
Ивань ковское	19	3,7	78
Рыбинское	30	5,6	46
Горьковское	17	5,5	45
Куйбышевское	41	8,2	36
Саратовское	30	6,9	47
Волгоградское	41	10,1	37
Камское	21	6,2	50
Воткинское	10	4	35
Днепродзержинское	17	4,3	60
Днепровское	44	8	64
Каховское	36	8,4	22
Цимлянское	30	8,6	30

со сработкой водохранилищ это явление менее выражено (Драчев и др., 1974). Стратификация наблюдается в Запорожском водохранилище и отсутствует в Днепродзержинском и Каховском (Федий, 1973). Для этой группы мелководных водохранилищ в целом стабильный термоклин не характерен и влияние стратификации на процессы самоочищения ограничено.

Ряд крупных глубоких водохранилищ азиатской части СССР с относительно небольшими хорошо перемешиваемыми мелководьями до 5 м может быть отнесен к категории «умеренно холодноводных», в которых мета- и гиполимнион занимает большую часть профундали, причем идущие в гиполимнионе процессы оказывают существенное влияние на качество воды.

В Братском водохранилище водные массы стратифицированы на три слоя, причем границы этих слоев по глубине варьируют в зависимости от времени года и участка акватории водохранилища. Меняется в различные месяцы также набор параметров, в изменении которых с глубиной выражается стратификация водоема. В Ангарском плесе водохранилища расчленение толщи вод в мае выражается в изменении с глубиной O_2, Fe^{2+}, pH; в июне — $t°$, NH_4^+, PO_4^{3-}; в июле — t, NH_4^+, PO_4^{3-}, Fe^{2+}, CO_2, pH; в сентябре — $t°$, NO_2^-, PO_4^{3-}. При этом наиболее характерны изменения температуры.

Снижение содержания кислорода наблюдается и в глубоких водохранилищах США. Этот процесс, связанный со стратификацией, расценивается в США как форма загрязнения водохранилищ, снижающая их самоочистительную способность по сравнению с рекой. Для оценки этой формы загрязнения применяется

так называемый популяционный эквивалент (Krenkel et al., 1965), т. е. величина дефицита кислорода, приравниваемая к такому, возникающему в результате загрязнения от сброса в водоем бытовых сточных вод города с населением соответствующей численности. Так, в водохранилище Катавба (Южная Каролина) «популяционный эквивалент» дефицита кислорода приравнивается к загрязнению водоема сточными водами города с населением в 1 млн. человек.

Для водохранилищ с термальной стратификацией отмечается накопление в гиполимнионе сероводорода, метана, аммиака, а также соединений железа и магния, переходящих в анаэробных условиях из нерастворимых форм в растворимые.

Для повышения самоочищающей способности водоемов, в том числе водохранилищ, в США, ФРГ и некоторых других странах применяют искусственную дестратификацию озер и водохранилищ с помощью сжатого воздуха (Топачевский и др., 1975) либо аэрацию гиполимниона без дестратификации водоема (Speece, 1971).

АНТРОПОГЕННЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

К вневодоемным факторам, имеющим ведущее значение для процессов формирования качества воды водохранилищ, относятся в первую очередь антропогенные загрязнения. При этом особенно выделяются загрязнения хозяйственно-бытовыми и промышленными стоками. Можно особо выделить некоторые отрасли промышленности, в частности органического синтеза, нефтехимии, пластмасс и др., сточные воды которых содержат трудноокисляемые вещества, не устраняемые даже на современных сооружениях биологической очистки.

Антропогенное загрязнение водохранилищ усугубляется спецификой гидродинамических условий, способствующих накоплению отложений вредных компонентов сточных вод с большим удельным весом (целлюлозно-бумажные, гидролизные и другие производства). При этом весьма неблагоприятный фактор — вторичное загрязнение воды этими веществами.

На качество воды с каждым годом более существенно влияют загрязнения, поступающие с поверхностным стоком с сельскохозяйственных угодий (биогенные элементы, ядохимикаты). Этот сток биогенных элементов, ядохимикатов и других приносимых с водосбора соединений в большей мере зависит от площади и особенностей водосбора, т. е. рельефа, растительности, наличия пахотных земель и т. д., и связи с чем для понимания процессов самоочищения водоема важно рассмотрение его вместе с водосбором.

Отношение водосборной площади к объему водоема I_1 в известной мере показатель, отражающий вклад водосбора в балансе приносимого и создаваемого в водоеме органического вещества,

а также процессов продукции и деструкции. Этот коэффициент назван Шиндлером (Schindler, 1971) индексом трофии. Расчет этого коэффициента I_1 для ряда водохранилищ СССР показывает, что здесь возможны широкие колебания величин. Так, для водохранилищ Волжско-Камского каскада I_1 достигает 100 (Саратовское), находясь в основном в пределах 25—50 (Угличское, Рыбинское, Волгоградское, Ивановское, Куйбышевское, Горьковское). Величины I_1 для водохранилищ Днепровского каскада несколько выше, а именно: для Днепродзержинского водохранилища — 180, Днепровского — 140, Киевского — 64, Кременчугского и Каховского — 27—28.

Обнаруженное снижение выноса минерального фосфора и взвешенного вещества в Северный Каспий и пониженное содержание фосфатов в море после зарегулирования Волги у г. Куйбышева и Волгограда объясняют их накоплением в водохранилищах волжского каскада и преобразованием растворенного органического вещества (Барсукова, 1971).

В качестве примера водоема, являющегося накопителем фосфатов, можно привести водохранилище Тоуокин во Флориде. В речных условиях месячное потребление фосфатов составляло 62 т, со стоком выносилось 106 т. После зарегулирования реки в условиях водохранилища соответственно потребление фосфатов составило 78 т, при стоке — 24 т в месяц.

Особенности гидрологических и биологических процессов в водохранилищах определяют перераспределение в них биогенных элементов. Показано, в частности, что в прибрежных зонах волжских и днепровских водохранилищ содержание фосфора в 2 раза выше, чем в глубоководных частях, а скорость обменных процессов в прибрежных зонах выше на 1—2 порядка. Роль растительности и сестона в этих процессах оказывается решающей: они потребляют соединения фосфора и поглощают их из водной среды, а при гибели и последующем разложении выделяют обратно. Поэтому считается, что удаление высшей водной растительности и сестона — важное средство извлечения избытка биогенов.

«Цветение» воды. Избыточное поступление с площади водосбора в водохранилище биогенных элементов, в первую очередь азота и фосфора, при определенном сочетании гидрологических и гидрохимических факторов вызывает чрезмерное развитие отдельных представителей фитопланктона. Наибольшую известность получило явление «цветения» воды, обусловленное массовым развитием отдельных представителей синезеленых водорослей. Избыток биогенных элементов в условиях повышенных температур в водных объектах и при значительном дефиците кислорода способствует их размножению.

Следует подчеркнуть, что процессы «цветения» водоемов происходили и в более ранние исторические периоды, когда об антропогенных факторах загрязнения водоемов не могло быть и речи; вероятно, в то время здесь сочетались чисто природные факторы.

Однако в настоящее время эти процессы в значительной мере вызываются именно антропогенным вмешательством в состояние внутриводоемных экосистем, определяя возможности преимущественного развития синезеленых водорослей.

В начальный период развития синезеленых водорослей, в частности когда биомасса меньше 100 мг/л сухого вещества, протекает фотосинтез с интенсивным поглощением углерода и других биогенных элементов из воды. Одновременно выделяется кислород. Однако при накоплении биомассы до 200—500 мг/л сухого вещества за счет поступления в воду продуктов жизнедеятельности и продуктов разложения водорослей качество воды начинает резко ухудшаться. Следует подчеркнуть, что «критическая» концентрация водорослей в водоеме легко нарушается из-за ветровых нагонов, течения и других факторов, приводящих к значительным скоплениям водорослей в ограниченных объемах; при этом процессы саморегулирования в экосистеме резко нарушаются. Этому способствует выделение в водоем большого количества метаболитов синезеленых водорослей.

В прижизненных выделениях водорослей обнаруживаются органические кислоты, аминокислоты, пептиды, полисахариды, эфирные масла, карбонильные соединения, эндотоксин и другие биологически активные вещества. При гибели и распаде водорослей выделяются фенолы, меркаптаны, алифатические кислоты, присутствие которых делает воду не пригодной для питьевых целей, а также для существования гидробионтов.

«Цветение» воды водохранилищ и других водных объектов в настоящее время, как уже указывалось, является формой евтрофирования, когда тонко и точно сбалансированные природные механизмы оказываются нарушенными, в частности когда водоемы уже не могут справиться с прессом нагрузки биогенных элементов, ядохимикатов и других веществ. «Цветение» воды наблюдается в последние десятилетия в реках, озерах и морях, где не происходило каких-либо изменений гидродинамических и гидрологических параметров. В качестве примеров можно привести малые реки Молдавии, американские озера (Эри, Верхнее, Мичиган, Гурон), озера Канады, Швеции, Швейцарии (например, Цюрихское, Женевское), Венгрии (Балатон), Балтийское, Азовское и Черное моря. Однако «цветение» воды в водохранилищах, создаваемых для многоотраслевого использования и особенно для питьевого и технического водоснабжения, часто особенно неприятно и весьма существенно препятствует запланированному их использованию. Поэтому борьба с этим явлением составляет важнейшую задачу.

«Цветение» воды оказалось в той или иной степени характерным для водохранилищ самых различных географических зон и климатических условий, причем может быть вызвано массовым развитием не только синезеленых, но и других типов водорослей. Например, для северных регионов с более низкими летними температурами характерно «цветение» воды, обусловленное массовым развитием некоторых диатомовых водорослей.

Наиболее интенсивное «цветение» воды, так называемая вспышка трофии, характерно для водохранилищ в первые 3—4 года их существования и становления, особенно при слабом водообмене, высокой прозрачности воды, наличии значительных площадей мелководий и «застойных» зон. В последующие годы интенсивность «цветения» обычно несколько снижается. «Цветение» воды наблюдалось в первые годы существования 80% всех созданных водохранилищ (Топачевский и др., 1974).

Условия, способствующие «цветению», следующие: 1) недостаточная «сбалансированность» экосистем или условия, нарушающие сбалансированность; 2) наличие повышенных концентраций биогенных элементов, в первую очередь азота и фосфора; 3) слабый водообмен и дефицит кислорода в толще воды и повышенный ее прогрев. Указанные условия взаимозависимы. Отсутствие одного из биогенных элементов в среде, чаще всего фосфора, препятствует «цветению», поэтому в одной из рекомендаций предлагается предотвращение попадания фосфора в водоемы. Для водохранилищ умеренной климатической зоны характерны вспышки «цветения» воды в жаркие месяцы, когда повышается температура выше средних норм. Наоборот, в те годы, когда летние месяцы оказываются более прохладными, явление «цветения» воды выражено слабо.

Для борьбы с «цветением» рекомендуют следующие меры: 1) продувание водной толщи кислородом; 2) вселение растительноядных рыб и выращивание тростника на мелководьях; 3) применение химических средств борьбы, например медного купороса; 4) ограничение поступления в водохранилища биогенных элементов или их удаление теми или иными способами.

Выбор метода борьбы с «цветением» требует индивидуального подхода к водным объектам.

Удаление 1 кг фосфора предотвращает образование 1000 кг водорослей, а 1 кг азота или углекислоты — 100 кг водорослей. Технически легче предотвратить попадание в водоем фосфора, чем азота или углерода, или перевести фосфор в нерастворимую форму. Фосфор поглощается взвесями или частицами глины. Например, евтрофирование в озере Монд (Австрия), происходившее в 1958—1961 гг., удалось прекратить после внесения в него глины, образовавшей слой на дне. Один из способов сохранения качества воды заключается в извлечении избыточных масс водорослей до того, как они начали загнивать. Институтом гидробиологии Украинской Академии наук было предложено использовать сестон в качестве сырья для получения хлорофилл-белковой пасты, концентрата аминокислот, эфирных масел и т. д., а также в качестве удобрения. Реализация этого предложения будет способствовать уменьшению затрат на борьбу с «цветением». Использование же биомассы сестона в качестве подкормки гель-

скохозяйственных животных пока встречает трудности, так как в водорослевой массе очень скоро образуются токсины.

В качестве средства борьбы с «цветением» воды обсуждается и в ряде мест применяется такой биологический метод, как вселение растительноядных рыб.

Донные отложения. Одна из характерных черт формирования химического состава вод водохранилищ заключается в весьма сложном взаимодействии между водной массой и донными отложениями; последние выступают в роли аккумуляторов минеральных элементов, в частности азота и фосфора, а также токсических антропогенных загрязнений.

Некоторые авторы справедливо отмечают, что результаты только физико-химического анализа воды недостаточны для суждения о самоочищении водоема, так как загрязнение накапливается в донных отложениях при замедленном водообмене. Так, осаждение взвесей в нижних слоях Ташкентского водохранилища (Узбекская ССР) привело к увеличению содержания ДДТ в 7—8 раз по сравнению с поверхностными слоями водохранилища и в 1,5 раза по сравнению с р. Ангрен (Якубова, 1967). В озеро-водохранилище Окичоби (Флорида) содержание ДДТ в грунтах составляет 2.9 мг на 1 кг грунта, в то время как в воде обнаружены лишь следы ДДТ (менее 0.0001 мг/л).

Высокая поглотительная способность грунтов проявляется также в отношении тяжелых металлов, что приводит к освобождению от них водных масс. В каскаде днепровских водохранилищ загрязнению промышленными стоками в наибольшей степени подвержены Запорожское и Каховское водохранилища, в наименьшей — Киевское и Кременчугское. Так, в 1970 г. в каскад днепровских водохранилищ с промышленными и бытовыми стоками наряду с 36 400 т азота и 3600 т фосфора (это примерно равно их поступлению с естественным стоком) поступило 3—6 т марганца и по 1 т цинка и меди (Денисова и др., 1976). А. И. Денисова, Е. П. Нахашина, А. К. Паламарчук считают, что благодаря большой поглотительной способности грунтов в настоящее время водохранилища днепровского каскада еще «справляются» с нагрузкой тяжелых металлов.

Наблюдающееся увеличение в последние десятилетия содержания в воде водохранилищ ряда металлов, в том числе тяжелых, непосредственно связано с возрастанием антропогенных загрязнений. Рассматривая эти загрязнения воды как «микроэлементные», приходится вместе с тем учитывать не только их важное биологическое значение, но и отрицательные последствия повышения их концентрации для внутриводоемных экосистем и водопотребителей. Содержание ряда металлов в воде в целях ограничения их токсического влияния на человека нормируется сегодня законодательными актами многих развитых стран. В Советском Союзе в перечень ПДК вредных веществ в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных

целей, входят 8 веществ этой группы (Cd^{2+}, Co^{2+}, Mg^{2+}, Cu^{2+}, As^{3+}, Ni^{2+}, Zn^{2+}, Pb^{2+}, а в перечень гигиенических ПДК — 23 (кроме перечисленных выше, Br, Ba^{2+}, V^{5+}, Bi^{3+}, Bi^{5+}, W^{6+}, Mo^{6+}, Hg^{2+}, Sc^{3+}, Sr^{2+}, Sb^{3+}, Te^{2+}, Fe^{3+}, Ti^{4+}, Cl^{5+}, Cr^{3+}.

Сопоставление данных исследований, проведенных на ряде водохранилищ и озер, позволяет в известной мере установить некоторые особенности поведения таких элементов, как Mn, Zn, Cu, Co, Fe, Mo, Ni. Эти особенности можно проследить, например, для столь распространенного вещества, как Mn. Итоги многолетних наблюдений за составом воды в днепровских водохранилищах (Нахашина, 1977) позволили установить значительную изменчивость уровней содержания в воде этого элемента, обнаруживаемого в максимальных значениях (0,5—0,8 мг/л) в зимний период, причем в наибольших количествах в придонных слоях. Перераспределение Mn в толще воды связывается с усилением циркуляции водных масс в период вскрытия и разрушения ледового покрова. Нарастание уровня содержания кислорода в весенний период способствует переходу Mn в труднорастворимые соединения и седиментации последних. Для Mn показана возможность вторичного загрязнения им воды и особая роль в этом процессе донных отложений. Обнаружено, что высокодисперсные, богатые органическим веществом грунты (черные и песчанистые илы) при определенных условиях служат источником вторичных загрязнений воды марганцем. Там, где процессы заиления менее выражены, а почвы ложа представлены песчаными грунтами, наблюдается вынос Mn из водной толщи в грунты. В ряде исследований связывается увеличение концентрации Mn в воде водоема с разложением фитопланктона (Нахашина, 1977). Участие последнего в круговороте марганца подтверждает и резкое снижение его растворимых форм в период наиболее интенсивного развития фитопланктона.

На характер направленности процессов адсорбции — десорбции влияют собственная концентрация ингредиента в водной среде, окислительно-восстановительные условия, pH и другие. Процессам сорбции способствует стратификация. Процессы десорбции приводят подчас к самозагрязнению, причем биогенные элементы по количеству их поступления из донных осадков в воду можно расположить в следующий ряд: $NH_4 > Fe > PO_4$, NO_3, NO_2. Роль обменных процессов такого рода возрастает в зонах небольших глубин (мелководий), влияет на развитие погруженной и донной растительности.

Известно, что евтрофикация за счет внутриводоемных процессов на мелководьях проявляется сильнее. Влияние мелководных участков на гидрохимический режим водохранилищ в наибольшей степени проявляется в период сработок уровня в связи с оттоком воды из мелководий, обогащенных биогенными элементами придонных слоев воды.

Например, система мелководий Киевского водохранилища, включающая погруженную растительность, перифитон, нитчатые водоросли и фитомикробентос, обеспечивает высокое качество самоочищения воды при биомассе водорослей до 2—5 кг/м². При биомассе выше 5—6 кг/м² преобладают факторы загрязнения.

При образовании мелководий развитие на них водной растительности (макрофиты) приводит к улучшению качества воды в том случае, если избыточная биомасса удаляется. В этом случае из водоема выводятся избыточные биогенные элементы, сама же биомасса может служить кормовым сырьем.

Уместно отметить, что мелководья крупных водохранилищ, к особенностям которых относятся более низкая прозрачность, образование застойных зон и слабый водообмен с основной водной массой, существенно влияют на состав воды и формирование биопродуктивности этих водоемов в целом.

Тепловое загрязнение. Новое и весьма специфичное для зарегулированных водоемов загрязнение — тепловое, связанное с поступлением теплообменных вод ТЭС, АЭС и т. д. Перспективность строительства ТЭС и АЭС заставляет обратить особое внимание на проблему их водообеспечения, вызванную необходимостью охлаждения агрегатов. Так, ТЭС мощностью 2 млн. квт требует для этой цели 80 м³/с воды, а АЭС мощностью 4 млн. квт — 240 м³/с. Потребности в большом количестве воды определяют размещение ТЭС и АЭС рядом с крупными источниками пресной воды, в частности на водохранилищах.

Температурный градиент сбрасываемых вод по отношению к забираемым достигает 10° С. Сброс подогретых вод оказывает прямое и косвенное влияние на качество воды. С одной стороны, подогрев способствует развитию процессов самоочищения и увеличению на треть первичной продукции, с другой стороны, сброс воды усиливает вторичное загрязнение, связанное с новообразующимися органическими веществами микроорганизмов, фитопланктона и высшей водной растительности (Пидгайко и др., 1970). Следует иметь в виду и многократное повышение токсичности вредных веществ в подогретой воде.

Влияние сброса подогретых вод на биоценозы показано на примере исследований, проведенных на Иваньковском водохранилище. В зоне сильного подогрева воды Конаковской ГРЭС превышение температуры над средней многолетней с декабря по март достигает 10°, а с апреля по ноябрь — 4°. При этом зафиксировано обеднение видового состава гидробионтов, исчезновение холодолюбивых видов беспозвоночных и рыб, снижение биомассы зоопланктона и угнетение развития донных организмов (при температуре выше 26° С), массовая гибель зоопланктона (при температуре выше 28°); неблагоприятные условия питания и роста средневозрастных групп рыб, прекращение роста и гибель сеголетков рыб (при температуре выше 27° С).

Кроме того, обнаружены патологические изменения в воспроизводительной системе ряда видов рыб и повышение зараженности рыб теплолюбивыми видами паразитов, вызывающих эпизоотии (Житенева, Никанорова, 1972).

Наряду с этим установлено наличие частичного обмена фауны между зонами подогретых и естественных вод в водоеме, что может существенно изменить видовой состав биоценозов водоема в целом и существенно снизить его способность к самоочищению. Необходимо иметь в виду и сопутствующее повышению температуры воды в водоеме проявление дефицита растворенного кислорода со всеми негативными последствиями этого явления — появление запахов и пр. (Трахтман, Кибальчич, 1975).

Сброс подогретых вод в зарегулированные водоемы способствует «цветению» воды. В последнее время получены сведения о проявлении весьма негативного отношения населения к питьевой воде, имеющей повышенную температуру за счет «утепления» зоны водозабора в водохранилище без каких-либо изменений физических и химических показателей доброкачественности (Шпильберг, Кибальчич, 1971).

Рекреационное использование водохранилищ и качество воды. К факторам, способным влиять на качество воды в водохранилищах, относится их рекреационное использование. Степень этого влияния зависит от характера и уровня рекреационных нагрузок. Ведущим здесь является бактериальное заражение, вызываемое загрязнениями береговой полосы и зоны купания, а также загрязнения нефтепродуктами и выбросами лодочных двигателей. Опасность распространения с водой инфекционных заболеваний заставляет принимать достаточно жесткие меры, ограничивающие рекреацию на водохранилищах, особенно имеющих хозяйственно-питьевое назначение.

В настоящее время вопрос о связи некоторых характерных загрязнений (бактерии группы кишечной палочки, нефтепродукты) с размещением по берегам водохранилищ зон отдыха достаточно исследован. В этом отношении характерны данные, полученные на водохранилищах США. Исследования, проведенные на 12 водохранилищах в штате Калифорния, на водохранилищах Форест-Лейк (штат Миссури), Лэндлоу и Кобл-Маунтин (штат Массачусетс), Компенсейтинд и Уэст-Бренч (штат Коннектикут), Гейст (штат Индиана), позволили сделать вывод о наличии определенной связи наблюдавшихся ухудшений бактериальных показателей качества воды с характером и уровнем рекреационных нагрузок (Carswel et al., 1969).

Однако наблюдавшееся повышение уровня содержания бактерий группы кишечной палочки было, как правило, локальным и отличалось периодичностью, совпадая с сезоном наибольшей рекреационной нагрузки. Отмечено незначительное увеличение абсолютных величин этого загрязнения. Аналогичные данные получены и в отношении фекального стрептококка. На исследо-

ванных водохранилищах было отмечено существенное загрязнение береговых территорий, отведенных для купания, рыболовства, отдыха и т. п.

Поскольку большинство водохранилищ используется, как правило, и для хозяйственно-питьевого водоснабжения, вопрос о порядке рекреационного использования того или другого из них должен решаться на основе анализа местной ситуации. Возможность надежной защиты зон расположения водозаборов централизованных хозяйственно-питьевых водопроводов — очевидно, недопустимый аргумент при принятии соответствующего решения.

Режим эксплуатации. Качество воды водохранилища зависит и от режима его эксплуатации, в том числе от колебаний уровня воды. Важное значение при этом имеет изменение концентрации сточных вод, влияние которых при сработке водохранилища увеличивается.

В еще большей степени качество воды зависит от гидрологического режима в нижнем бьефе. Здесь прослеживается прямая зависимость качества воды от величины и периодичности попусков, что также связано с изменением условий разведения и смешения сточных вод с водой из водохранилища.

Изменение качества воды в зависимости от гидрологических режимов приобретает особое значение при наличии каскада водохранилищ. Установлена возможность как положительного, так и отрицательного влияния вышележащего в каскаде водохранилища на качество воды в нижележащем. Положительное влияние в основном связано с количественным фактором — поддержанием необходимого объема воды, обеспечивающего должные условия самоочищения и разбавления нежелательных примесей, а отрицательное — с интенсивным загрязнением, распространяющимся вниз по каскаду. Так, для Волжского каскада показано существенное влияние на содержание в воде низовьев рек минерального и органического фосфора (снижение в два и полтора раза соответственно) и повышение в 2—2,5 раза нитратного азота (Васечкова, 1977).

Как отмечалось, в условиях каскада водохранилищ возможен вынос загрязнений и вверх по течению. Такие условия могут наблюдаться в нижнем бьефе при наличии подпора. Уменьшение величины попусков (или их прекращение) обусловливает скопление сточных вод, распространение загрязнений в обратном направлении.

При каскадном регулировании водного стока в распределении и сезонной динамике химических элементов большое значение имеют внутриводоемные процессы в водохранилищах.

Весьма подробно изучены последствия зарегулирования стока р. Днепр в связи с созданием каскада днепровских водохранилищ (Денисова и др., 1976). Отрицательное влияние вышележащих водохранилищ прослеживается на Днепровском каскаде, где с продвижением вниз по каскаду ощутимо снижение самоочистительной способности водохранилищ. По данным А. Д. Приймаченко (1967), соотношение Ф/Д в июле 1967 г. составляло в Кременчугском водохранилище 1,28, Днепродзержинском — 0,86, Днепровском — 0,32, Каховском — 0,29. Это приводит и к угнетению продукционных процессов (первичная, вторичная продукция) (Мельников, 1970а, б).

Исследования последних лет позволяют оценить суммарный эффект продукционно-деструкционного баланса как для отдельных водохранилищ волжского каскада, так и в целом для Волги.

В наиболее продуктивных участках Волги, в частности вдоль трассы будущего Чебоксарского водохранилища и в Иваньковском водохранилище, за навигационный период под 1 м² образуется 198—170 г углерода органического вещества водорослей, а разрушается 315—240 г; в наименее продуктивных Рыбинском водохранилище образуется 70 г, а разрушается 129 г. В целом для Волги баланс органического вещества отрицательный: образуется 2474 тыс. т углерода, а разрушается 4603 тыс. т. Данные о первичной продукции макрофитов сюда не входят, но они составляют относительно небольшую часть — 30 тыс. т. Не учитывается также деструкция органического вещества в донных отложениях.

Объем и характер настоящей книги не позволяют осветить все сложные и многогранные явления, связанные с влиянием режима эксплуатации водохранилищ на качество воды в них. Приведенные ранее данные иллюстрируют лишь некоторые процессы, наблюдающиеся здесь.

Глава VII

МЕРОПРИЯТИЯ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ СОЗДАНИЕМ И ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ВОДОХРАНИЛИЩ

ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА НАСЕЛЕНИЕ И ХОЗЯЙСТВО

Влияние водохранилищ на отрасли и объекты водного хозяйства, в интересах которых они создаются, рассмотрено в гл. II, поэтому здесь мы коснемся только прочих отраслей хозяйства и объектов, которые попадают в зоны воздействия вследствие размещения в речных долинах и озерных котловинах.

В СССР выделяют следующие зоны воздействия водохранилищ на население и хозяйство (Авакян, Шарапов, 1977).

1. Зоны прямого воздействия в верхнем бьефе:

а) зона постоянного затопления (принимается обычно в пределах уреза воды в водохранилище при НПУ с учетом кривой подпора в межень);

б) зона периодического временного затопления (между НПУ и линией уреза воды при прохождении паводков средней вероятностью повторения от 0,3% — для железных дорог до 20% — для сельскохозяйственных угодий);

в) зона эпизодического временного затопления с вероятностью повторения меньшей, чем указано в п. «б»; эта зона учитывается только в особых случаях, например при обосновании отметки форшпорованного уровня водохранилища;

г) зона повышения уровня грунтовых вод и подтопления; при ее установлении исходят из того, что предельно допустимой глубиной залегания уровня грунтовых вод считается глубина 1 м для сельскохозяйственных угодий, 2 м — для сельских населенных пунктов, 3 м — для городов и поселков городского типа;

д) зона переформирования берегов водохранилищ;

е) зона климатического влияния (учитывается в проектной практике пока лишь в особых случаях).

2. Зоны косвенного влияния в верхнем бьефе:

а) зона, выбывающая из прежнего хозяйственного использования по производственно-экономическим соображениям;

б) зоны отчуждения под объекты, строительство которых вызывается созданием или эксплуатацией водохранилища.

3. Зоны влияния в нижнем бьефе:

а) зона влияния многолетнего и сезонного регулирования стока;

1708 - 2

б) зона влияния недельного и суточного регулирования стока.

Все перечисленные зоны воздействия водохранилищ на природу и хозяйство прилегающих районов образуют сложные сочетания: на одну и ту же территорию могут влиять и временное затопление, и подтопление, и преобразование климата, и т. д. В зависимости от сочетания зон в верхнем бьефе можно выделять несколько крупных комплексных ареалов воздействия водохранилища:

1) ареал сильного влияния включает зоны временного затопления, переформирования берегов, часть зоны повышения уровня грунтовых вод (где в первые годы после заполнения водохранилища проявляется заболачивание и сильное подтопление), а также сильного систематического климатического влияния, ширина этой полосы, если считать от уреза воды при НПУ, на крупных водохранилищах составляет в среднем до 500—1000 м, на средних и небольших водохранилищах — десятки метров; 2) ареал умеренного и слабого влияния водохранилищ охватывает остальную часть зоны подтопления, зону слабого систематического климатического влияния; ширина этой зоны составляет на крупных водохранилищах в среднем от 2—3 км до 10—15 км, на средних — до 1—2 км; 3) ареал нижнего бьефа охватывает долину и дельту рек в пределах гидрологического влияния водохранилища.

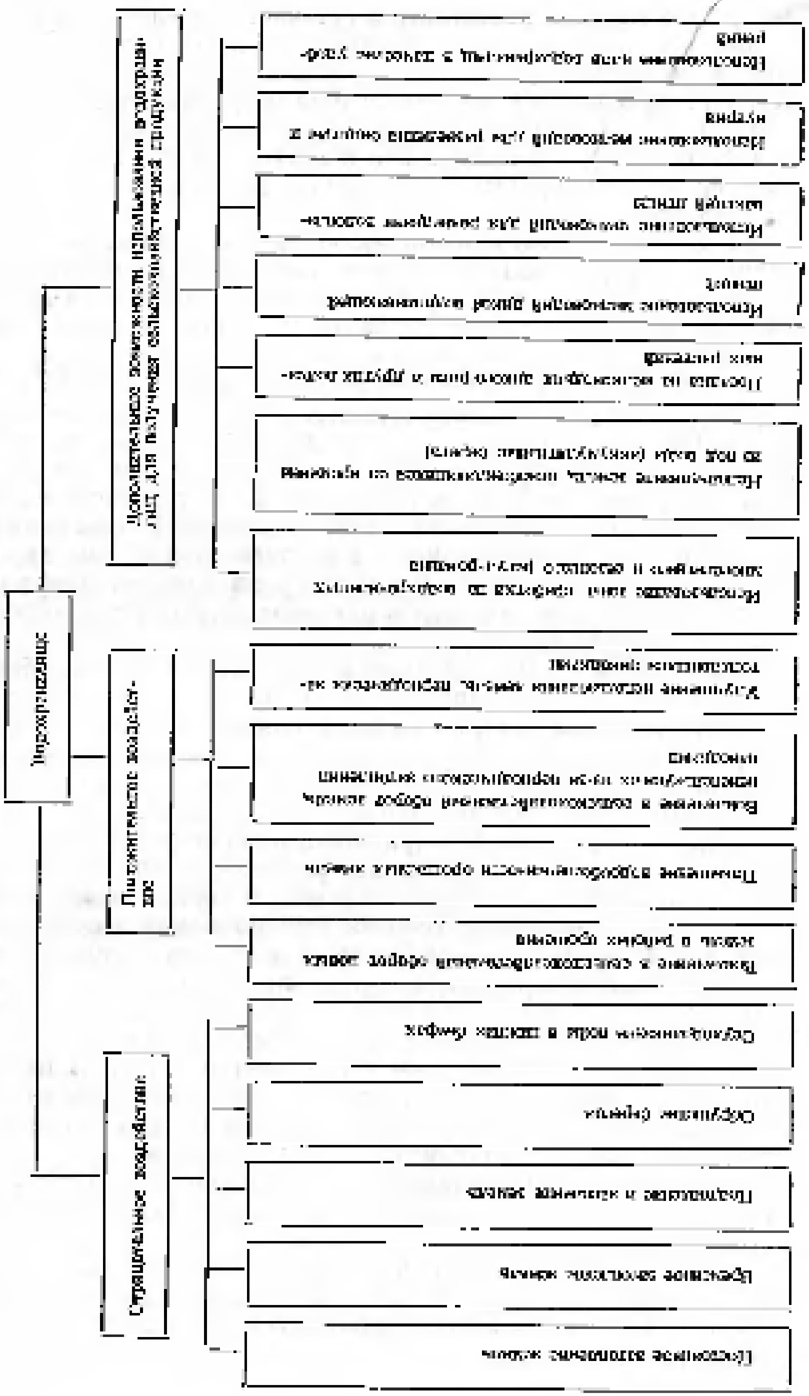
Имеющиеся в нашем распоряжении данные о зарубежных водохранилищах показывают, что за рубежом учитывают примерно те же зоны влияния водохранилищ в верхних и нижних бьефах гидроузлов, однако степень учета всех возможных видов влияния водохранилищ весьма неодинакова в проектах, осуществленных в разное время и в различных странах.

При создании ряда водохранилищ в некоторых случаях недостаточно тщательно определялись размеры затопления земель и населенных пунктов и не учитывались в полной мере местные социально-экономические условия использования земель в сельском хозяйстве. В развивающихся странах это обусловливалось разными причинами: пренебрежительным отношением монополий или колонизаторов к интересам местного населения, наличием свободных неосвоенных земель, недостатком средств на изыскательские работы и научные исследования и т. п. В развитых капиталистических странах такие примеры имеют место реже вследствие наличия сложившейся системы охраны частной собственности; за любые объекты, попадающие в зоны влияния водохранилищ, и другие причиняемые ущербы инициаторы строительства гидроузла и водохранилища вынуждены выплачивать компенсацию.

В социалистических странах тщательный учет всех возможных побочных последствий создания водохранилищ обеспечивается плановостью хозяйства, заботой о благе народа и сохранении окружающей среды.

Схема 3

Воздействие водохранилищ на использование земельных ресурсов (Авакян, 1968)



Сводные данные о масштабах нарушений, вызываемых созданием водохранилищ в хозяйстве, в целом по миру, континентам и по большинству стран, к сожалению, отсутствуют; такие данные имеются лишь по отдельным странам (СССР, отчасти Индия, Чехословакия), и некоторым каскадам (например, на реках Теннесси, Влтаве и др.) и водохранилищам (Влтавский каскад, 1969; Авакян, Шарапов, 1977; TVA. Annual Report..., 1950, 1969; и др.).

Воздействие водохранилищ на сельское хозяйство районов, прилегающих к реке в зоне подпора и в нижнем бьефе гидроузла, заключается в изъятии сельскохозяйственных угодий, в ухудшении их качества или условий использования, изменении возможностей и условий орошения, водоснабжения и др., в нарушении внутрихозяйственного землеустройства землепользований, в том числе севооборотов, и, наконец, в изменении межхозяйственных транспортных, экономических, культурно-бытовых и других связей в результате нарушения сети коммуникаций и переносе населенных пунктов, предприятий по переработке сельскохозяйственной продукции, баз снабжения (схема 3).

Изъятие земельных угодий под водохранилища и под связанные с его созданием и эксплуатацией объекты (плотины, дамбы, дороги, каналы, порты, насосные станции и т. д.) достигло весьма внушительных величин. Об общей площади изъятых земель с известной степенью приближенности можно судить по площади водного зеркала водохранилищ (без учета озер в подпоре), поскольку в среднем 85—95% этой площади приходится на затопленные земли; чем больше подпор и степень регулирования стока, тем этот показатель, как правило, выше. Площадь земель, изымаемых в связи с их подтоплением, переформированием берегов и т. п., в СССР составляет примерно 6—10% от площади затопления, а площадь, отчуждаемая под переносимые объекты, может достигать 10—15% от площади затопления. Поэтому в целом площадь изымаемых земель по СССР превышает площадь водного зеркала, взятую без учета больших озер. Это соотношение с известной условностью может быть принято и для всего мира.

Тогда можно сделать вывод о том, что в настоящее время в связи с созданием водохранилищ (учитывая подготавливаемые) в мире изъято не меньше, чем 30 млн. га земель, в том числе в Европе — ~4, в Азии — ~7, Африке — ~3,5, Австралии — ~0,3, Северной Америке — ~8,7, Южной Америке — ~5,3 млн. га. Эта величина, очевидно, не завышена, поскольку в ряде стран дополнительно к затопляемой площади изымается из прежнего использования весьма значительная площадь. Так, в системе водохранилищ долины Теннесси (США) площадь отчуждения земель под 17 водохранилищ составила около 470 тыс. га, т. е. в 2,3 раза больше площади затопления (203 тыс. га). Следует иметь в виду, что в США существует два вида отчуждения

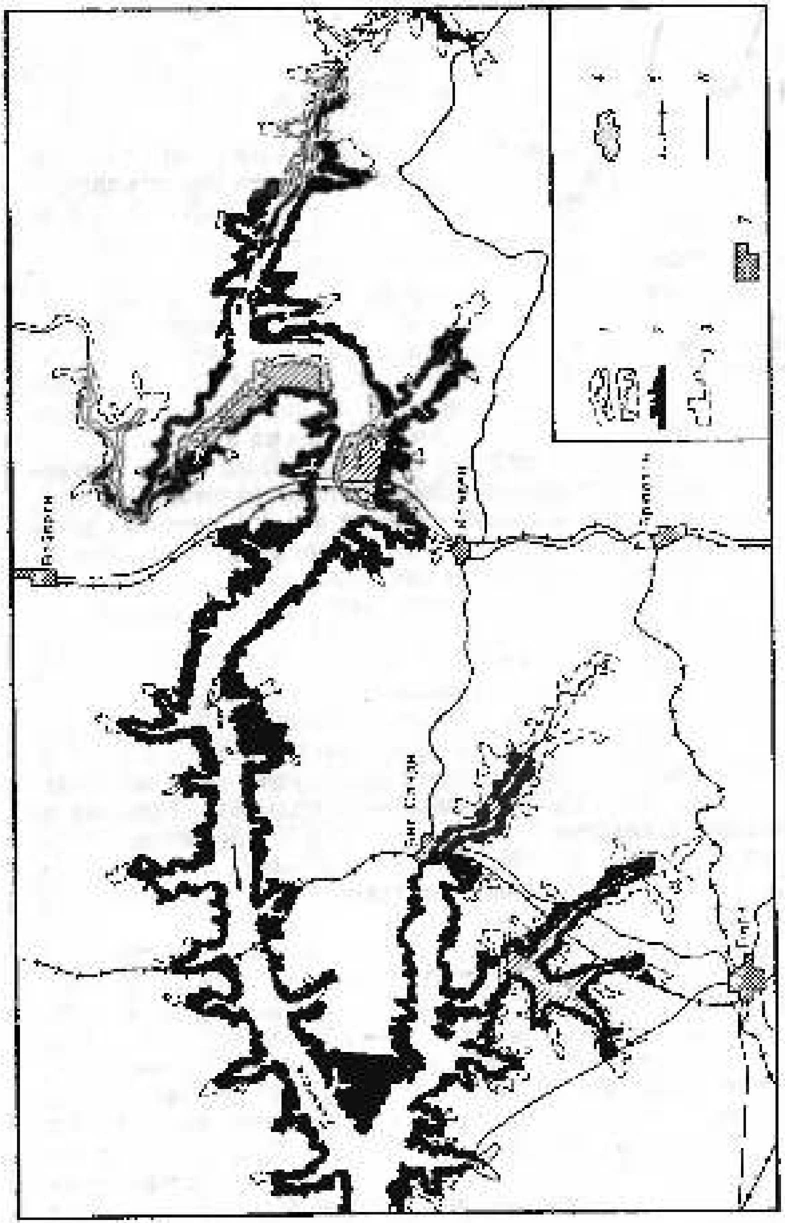


Рис. 34. Зона отчуждения водохранилища Кентукки (США) (TVA. Annual Report..., 1949)

1 — зона постоянного затопления; 2, 3 — зона частичного отчуждения; 2 — земли, затапливаемые в период паводков; 3 — земли нерегулярного затопления; 4 — осушаемые территории; 5 — железная дорога; 6 — автодорога; 7 — населенные пункты

земель — полное и частичное. Полное отчуждение распространяется на земли ниже отметки НПУ с учетом кривой подпора при меженных расходах и на некоторые расположенные выше участки (водоохранные лесонасаждения, защитные сооружения и т. д.). Частичное отчуждение охватывает земли, по которым необходима компенсация ущербов от временных затоплений (рис. 34). Подобные значительные по размерам частичные отчуждения, вероятно, производятся на водохранилищах многих других территорий США со значительными половодьями и летне-осенними паводками (TVA. Annual Report..., 1950, 1968, 1969). Структура изымаемых земель в зарубежной литературе практически не освещена, если не считать кратких и разрозненных данных по отдельным водохранилищам. По СССР имеются достоверные данные, показывающие изменения структуры затопляемых угодий в зависимости от природных и экономических условий, местоположения в той или иной части водохранилища и позволяющие установить следующие закономерности. Наибольший удельный вес среди изъятых сельскохозяйственных земель занимают естественные кормовые угодья, причем в районах с избыточным увлажнением (зоны лесов и лесостепи) преобладают сенокосы, а в аридных районах — пастбища. На различных участках водохранилища структура угодий также неодинакова — чем ближе к плотине, тем ниже удельный вес сенокосов и выше доля пашни, усадеб, пастбищ, садов.

Хотя создание крупных водохранилищ связано с затоплением значительно больших по абсолютной величине площадей земель, они выгоднее малых и средних водохранилищ по удельным затратам земельной площади на создание единицы запаса воды. Об этом свидетельствуют данные табл. 37 об отношении площади водохранилищ к их полному объему.

Влияние подтопления на сельское хозяйство в различных природных зонах оценивается неодинаково. Во влажных зонах

Таблица 37

Отношение площади водохранилищ к их полному объему (га/млн. м³)

Регионы	Группы водохранилищ по полному объему, млн. м³							
	До 10	10—50	50—100	100—1000	1 000—10 000	10 000—25 000	25 000—50 000	Более 50 000
СССР *	—	[illegible]	—	19,9	13,3	8,6	7,7	4,6
США *	—	—	—	16,2	10,4	3,4	3,4	—
Польша	54,8	27,5	19,1	12,8	—	—	[illegible]	—
Альпы **	11,8	3,7	6,7	3,7	2,5	[illegible]	—	—

* Только водохранилища объемом 100 млн. м³ и более.

** Ваше полезный объем.

оно усиливает естественное высокое увлажнение почв и имеет, как правило, отрицательные последствия для урожайности сельскохозяйственных культур. В зонах недостаточного увлажнения подтопление в ряде случаев может рассматриваться как положительное орошение, если оно не сопровождается засолением почв. Положительное в ряде случаев влияние подтопления земель отмечается, например, в долине р. Аркансас (Gillel, 1965), в долинах ряда рек Европы и т. д.

В нижних бьефах гидроузлов с водохранилищами многолетнего и сезонного регулирования на сельское хозяйство оказывают влияние изменение режима обводнения и удобрения илом пойменных угодий в период половодья, зимние затопления, нарушения транспортных связей с поймой в зоне передвижения края полыньи и др.; в СССР этим вопросам посвящено много работ (Щеренков, 1956, 1962; Вольфовский, 1962; Шарапов, 1968; Воробьев, 1973; Ахиров, 1974; Шапиро, 1974; и др.).

Из указанных последствий для сельского хозяйства наибольшее внимание за рубежом привлекает уменьшение удобрения илом пойменных земель, особенно в аридной зоне, где речные долины наиболее благоприятны для земледелия благодаря наличию почв с плодородных земель, ежегодно удобряемых илом. К таким плодородным оазисам, где возможно интенсивное использование земли, относятся долины Нила, Тигра, Евфрата, многих рек Индии, юго-восточной Азии, Китая и др. В долине Нила ниже водохранилища Насер прекращение затопления и удобрения полей илом привело к необходимости переустройства системы орошения земель (вместо бассейнового стали строить инженерные системы правильного орошения) и внесению больших количеств минеральных удобрений (часть необходимого количества удобрений производится в Египте на базе электроэнергии Асуанской ГЭС). Вместе с тем прекращение высоких паводков имело и позитивные стороны: возможность получения 2—3-х урожаев в год, усиление стабильности продукции сельского хозяйства в многолетнем разрезе и т. д. Сокращение площадей полей, удобряемых плодородным илом, наблюдается также в результате создания водохранилищ в Индии (Murthy et al., 1976), в нижнем бьефе водохранилищ Вольта, Кариба и др. Так, в долине р. Вольты ежегодно удобрявшиеся илом пойменные земли, которые прежде позволяли беззалежное земледелие с получением двух урожаев, стали быстро истощаться и деградировать под влиянием ежегодной эксплуатации; это привело к массовому уходу населения в другие районы (Hillor, Kown, 1970).

Влияние водохранилищ на населенные пункты, предприятия, пути сообщения и другие элементы инфраструктуры в СССР и за рубежом не имеет принципиальных отличий. На населенные пункты и коммуникации влияют затопление, подтопление, переформирование берегов и др.

Наибольшее влияние на население оказывают переселение жителей из зон воздействия водохранилища и изменение социально-экономических условий их жизни. В связи с плотным заселением большинства долин рек и озерных котловин создание в них водохранилищ, особенно крупных, приводит к необходимости переселения большого числа людей. В СССР из зон воздействия существующих водохранилищ переселено 1,25 млн. человек (Авакян, Шарапов, 1977). Весьма значительны масштабы эвакуации жителей при создании водохранилищ во многих других странах мира. Обобщающих данных по отдельным регионам и странам в нашем распоряжении нет, поэтому мы можем привести лишь данные для отдельных крупных водохранилищ, разбив их на группы по численности переселенных жителей:

Группа по числу переселенных, тыс. чел.	Водохранилища и численность переселенного населения (в скобках), тыс. чел.
Более 100	Сипимыльское (500), Куйбышевское (150), Кременчугское (130), Нагер (120), Рыбинское (116)
51—100	Гобиндсагар (86), Вольта (82), Мангла (81), Братское (68), Асуан (66), Кэсу (57), Кариба Гвина (55), Укаи (52), Кариба (57), Красноярское (51)
26—50	Киевское (45), Фуррис (44), Цимлянское (40), Киевское (40), Новосибирское (30), Бухтарминское (27), Горьковское (31), Шарвани (26), Келан (28)
11—25	Джордан (25), Саратовское (24), Мингель-Алекан (22), Токтогульское (20), Кебан (20), Усть-Илимское (16), Мангрул-Мунлеуд (16), Итайтуйское (15), Мараижори (15), Кристарадмасагэр (15), Перрис (12) и др.
5—10	Кентукки (10), Пилгасаутен (8), Саянское (8), Байкальское (8), Краснодарское (8), Аркавенское (7), Катунгайское (6), Фонтана (6), Лонг Сплт (6), Литовско-Мара (6), Брюкенридо (5), Бан Чао Пен (6), Бов-Эсперанса (5) и др.

Плотность населения в зонах затопления водохранилищ весьма различна — от многих сотен до нескольких человек на 1 км². Для большинства крупных водохранилищ мира характерна плотность населения в зоне затопления в пределах 10—40 чел./км²; исключение составляют водохранилища в слабоосвоенных районах (Зейское, Усть-Илимское, Хантайское, Даниэль-Джонсон, Гордон М, Хрум, Брюкенридо и др.) или, наоборот, в плотнозаселенных районах Китая, Индии, Пакистана, Европы и др., где на 1 км² проживает иногда до 500—1000 и более человек.

Воздействие водохранилищ на такие объекты народного хозяйства, как железные и автомобильные дороги (рис. 35), линии электропередачи, газопроводы и другие коммуникации весьма разнообразно и наблюдается при создании большинства водохранилищ мира, особенно в плотно населенных районах.

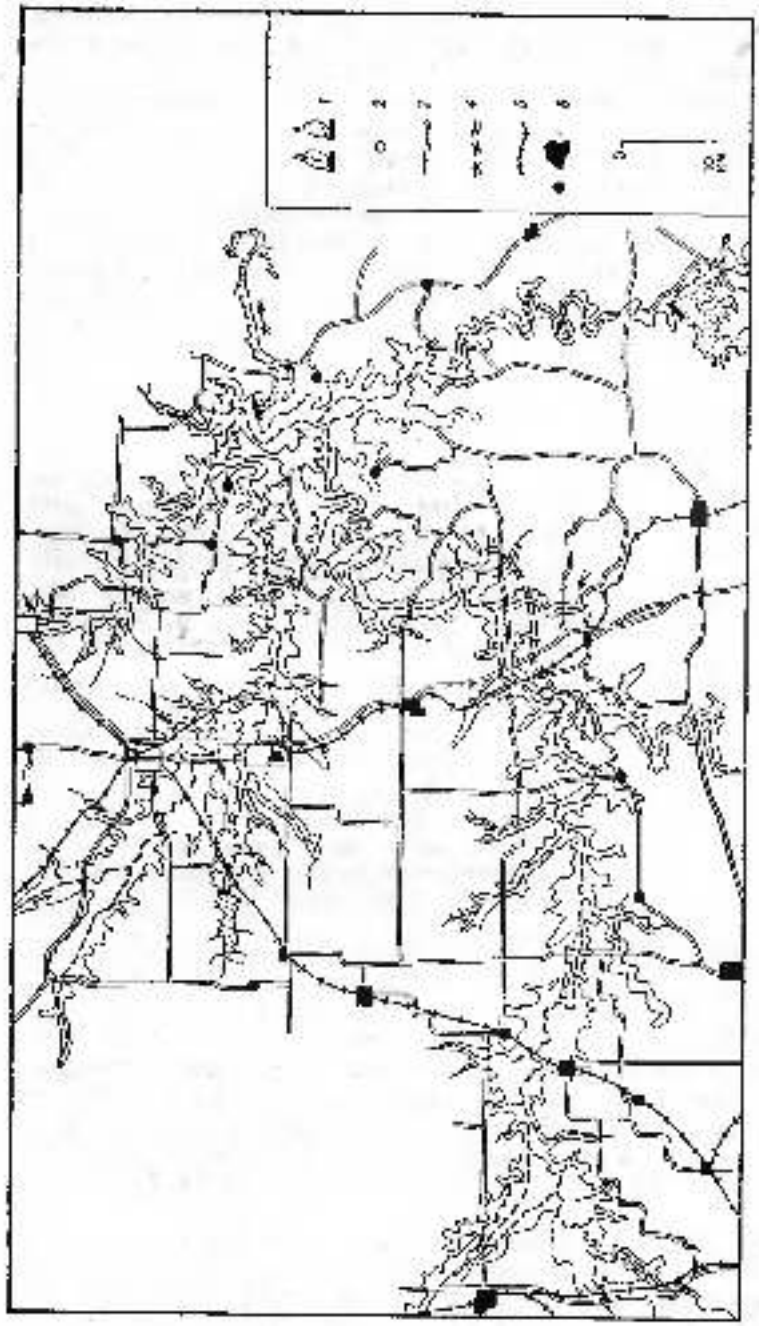


Рис. 35. Затопление автомобильных и железных дорог при создании водохранилища Кайентербай (США) (Corbett, 1972, т. 86, № 4)

1 — границы водохранилища; 2 — ГЭС; 3 — существующие автодороги; 4 — проектируемые автодороги; 5 — существующие железные дороги; 6 — населенные пункты

В зоны воздействия водохранилищ попадают обычно также различные объекты материальной культуры (археологические и исторические памятники, различные мемориальные объекты), а также ценные природные объекты (заповедные территории, реликтовые насаждения, уникальные геологические обнажения и т. п.).

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОЗДАНИЮ ВОДОХРАНИЛИЩ

При создании водохранилищ, помимо строительства плотины и связанных с ней сооружений, необходимы переселение населения, переустройство и перенос затрагиваемых объектов хозяйства, охрана природы и подготовка водохранилища к использованию (рис. 36).

Мероприятия, проводимые в зоне водохранилища и в нижнем бьефе гидроузла, могут быть подразделены на три группы: 1) направленные на предотвращение нарушений, вносимых водохранилищем в хозяйство и природные условия; 2) связанные с подготовкой к рациональному использованию водохранилища и зарегулированной реки ниже гидроузла; 3) сопутствующие мероприятия.

Опыт проектирования и осуществления мероприятий, вызываемых созданием водохранилищ, достаточно подробно изучен и обобщен в СССР (Вольф, Клутт, 1934; Лифанов, 1946; Денисов, Исаев, 1957; Богатырев, 1958; Борисов, Чистяков, 1960; Голубович, Дурнев, 1960; Авакян, Шарапов, 1962, 1968, 1977; Кибальчич, 1965; Сметанич, 1974; Макаров, Воробьев, 1976; и др.). Для зарубежных стран обобщающих комплексных работ практически нет. Некоторые издания все же дают представление о методике проектирования, организации и производстве работ по подготовке водохранилищ за рубежом. Одним из таких источников являются отчеты Управления долины Теннесси (TVA) в США, свидетельствующие о достаточно высоком уровне решения этих вопросов в США еще в 30–40-х годах нашего столетия. При этом наряду с выкупом земель, переустройством дорог, лесоочисткой и т. п. производились такие специальные работы, как опытная посадка деревьев, дренаж заболоченных участков перед лесоочисткой и др. (TVA. Annual Report..., 1956).

Усиление комплексного подхода к проектированию и созданию водохранилищ за последние десятилетия наблюдается во многих странах. Этому в немалой степени способствовало все расширяющееся обсуждение проблем создания водохранилищ на различных международных форумах, активная помощь отдельным странам в этих вопросах со стороны международных организаций (ФАО, ВОЗ, ЮНЕСКО и др.) и со стороны стран, накопивших наибольший опыт в области проектирования и строительства плотин и водохранилищ (СССР, США, Испания и др.).

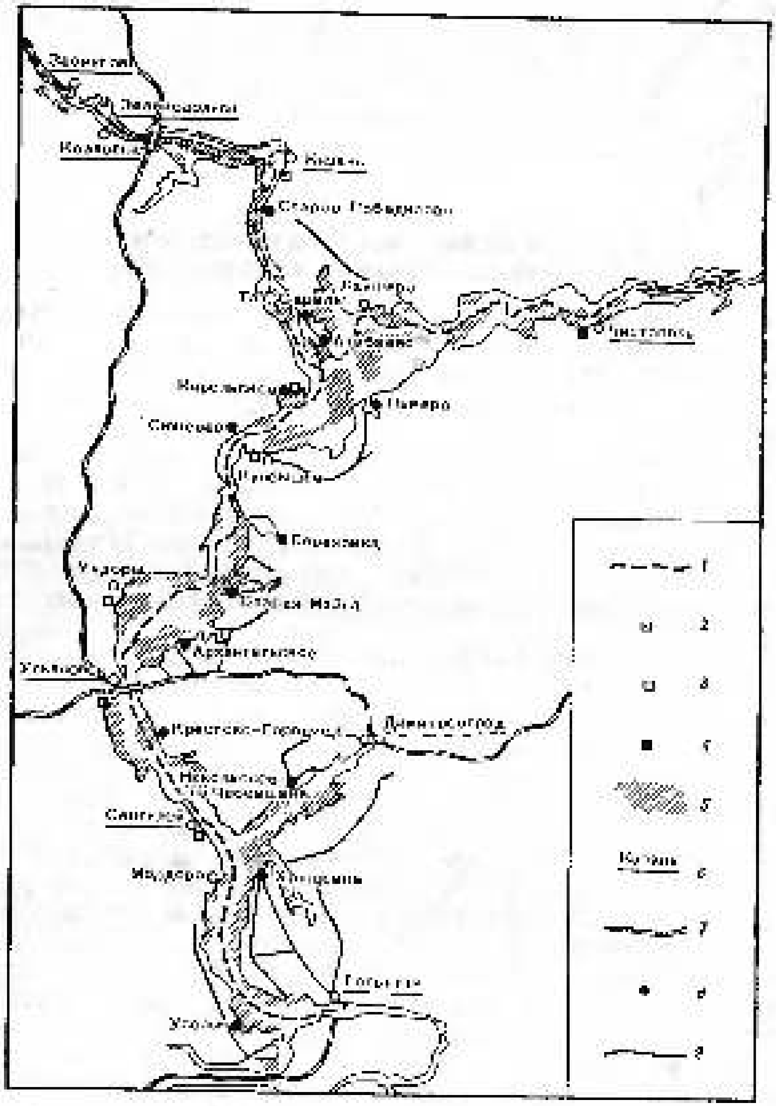


Рис. 35. Схема мероприятий по подготовке Куйбышевского водохранилища (Авакян, Шарапов, 1977)

1 — основной судовой ход; *2* — порт; *3* — пристань; *4* — судоремонтный завод; *5* — лесосечные участки; *6* — защищаемый город; *7* — переустроенные железнодорожные линии; *8* — новые населенные пункты; *9* — новые автомобильные дороги

Организация и осуществление проектно-изыскательских и строительных работ в разных странах неодинаковы.

В капиталистических странах Европы проектно-изыскательские работы по гидроузлам и водохранилищам проводят в основном акционерные общества и компании, намечающие строительство того или иного гидроузла, и привлекаемые ими частные строительные фирмы, научно-исследовательские и проектные организации. Лишь в некоторых капиталистических странах большинство проектов разрабатывается государственными организациями (например, во Франции — Electricité de France, Companie Nationale du Rhône, в США — Корпус военных инженеров, Бюро мелиорации и Федеральная энергетическая комиссия, а также бассейновые управления типа TVA). Весьма многообразна организация проектно-изыскательских работ в развивающихся странах, но в основном эти работы выполняют иностранные, в том числе советские, проектные институты.

Строительные и другие работы, связанные с созданием водохранилищ, производятся в капиталистических странах (за исключением таких стран, как Франция, Австрия, США и некоторые другие) также преимущественно частными строительно-монтажными фирмами.

В социалистических странах существуют государственные проектные организации, например Гидропроект, Союзгипроводхоз, Гидрорыбпроект, Росгипрозем и др. в СССР; Гидропроект, Водпроект и др. в Болгарии; Гидропроект и др. в Польше; Энергопроект в Югославии; Институт водохозяйственного планирования и др. в Венгрии; Народное предприятие «Проектирование водного хозяйства» и др. в ГДР. В каждой из социалистических стран существуют также государственные строительные организации: Водстрой и др. в Болгарии, «Водни ставбы», «Гидростав» и «Инстав» в Чехословакии и т. д.

Анализ разрозненных данных о проектировании и создании водохранилищ, особенно в развивающихся странах, свидетельствует о прогрессе в этой области за последние десятилетия и вместе с тем о наличии ряда недостатков. Характерным примером недостаточного внимания к вопросам подготовки водохранилища может служить гидроузел Кариба. Иностранные компании, строившие гидроузел, стремились всемерно удешевить проект за счет сокращения расходов на возмещение ущерба местному хозяйству и населению, а только что ставшая независимой Замбия имела тогда очень ограниченные финансовые и материальные возможности. В Замбии компенсация для переселенцев из зоны затопления была незначительной (но им все же были предоставлены небольшие земельные участки и продовольственная помощь), а в Южной Родезии переселенцам из племени тонга не было оказано никакой помощи (кроме освобождения на два года от налогов), что привело к гибели многих из них от голода и болезней (Dams in Africa, 1968). Практически никаких

мероприятий не проводилось при строительстве гидроузла Оуэн-Фолс в связи с намечавшимся подъемом уровня оз. Виктория.

При проектировании других водохранилищ в Африке (Вольта, Насер, Кандзи, Кэсу) были проведены более широкие исследования природных условий, экономических, социальных, демографических, этнографических, санитарно-гигиенических проблем и осуществлен более широкий комплекс мероприятий (Dams in Africa, 1968). Например, при подготовке водохранилища Насер были разработаны и осуществлены проекты орошения земель, переселения и устройства жителей, строительства дорог и т. д. Однако до сих пор намечаются недостаточно обоснованные мероприятия, а некоторые проблемы совсем не решаются. Так, при проектировании водохранилища Кандзи были недостаточно исследованы перспективы рыбного хозяйства, выделены недостаточные средства на лесосводку и лесоочистку, в результате чего возникли затруднения в развитии рыболовства (Cheret, 1973).

Затраты на создание водохранилищ составляют весьма существенную часть общих затрат на строительство гидроузлов, особенно водохранилищ многолетнего и сезонного регулирования на равнинных реках в обжитых районах. На равнинных реках СССР удельный вес затрат на мероприятия, вызываемые созданием водохранилищ, составляет в среднем 20—40% от стоимости гидроузла, на водохранилищах в бассейне р. Теннесси — 40%[1]. В горных и предгорных районах, а также в малообжитых равнинных районах удельный вес затрат на мероприятия по подготовке водохранилищ значительно ниже (если на участке подпора не сконцентрированы какие-либо ценные объекты: ирригационно освоенные земли, транспортные коммуникации, города и т. п.). Примером могут служить водохранилища на севере Канады, Скандинавии, Сибири и Дальнего Востока, в пустынных районах Африки, Ближнего Востока, в лесных районах, некоторых тропических стран, а также большинство водохранилищ в Альпах, Пиренеях, Кордильерах и других горных районах. В Швеции, где многие водохранилища создаются в результате подпора озер, затраты на подготовку водохранилищ 11 гидроузлов (Стурулфорс, Чилфорсен, Харспринтет, Порси и др.) составили в среднем 11% капиталовложений; по каскаду ГЭС на р. Оулуйоки в Финляндии на отчуждения и административные расходы приходится 12% общих затрат (Эристов, 1961).

Относительно низкий удельный вес затрат на водохранилища

[1] При сопоставлении приводимых показателей следует учитывать годы создания водохранилищ. Если бы водохранилища на Волге, Теннесси, Влтаве, Миссури, Луаньхе и др. строились в настоящее время, удельный вес затрат на мероприятия, связанные с созданием водохранилища, был бы значительно выше приведенных в результате роста стоимости компенсации земель, переселения жителей, их обеспечения жильем, а также большого ужесточения требований к составу и объему мероприятий по охране природной среды, в том числе качества воды.

в общей стоимости гидроузлов характерен для большинства западно-европейских государств. Это обусловливается тем, что от строительства плотин, вызывающих большие затопления, здесь, как правило, отказываются. Поэтому в целом на мероприятия, связанные с подготовкой водохранилищ, в зарубежной Европе расходуется меньшая доля капиталовложений в гидроузлы, чем в СССР, США и других странах с крупными водохранилищами. Например, при строительстве Влтавского каскада затраты на мероприятия по подготовке водохранилищ составили в среднем 8% от стоимости гидроузлов (Влтавский каскад, 1969). Вместе с тем можно назвать ряд гидроузлов в Европе, где затраты, связанные с подготовкой водохранилищ, составили весьма значительную часть общей стоимости гидроузла. Таковы прежде всего крупные водохранилища Кишкёре (Венгрия), Марна (Франция), Изворул — Мунтелуй, Джердап (Румыния) и другие. Так, по гидроузлу Джердап доля этих затрат составила около 30% общей стоимости (Djordjevic, Putic, 1970), по проектируемому водохранилищу Кастенрейт на р. Энс (Австрия) и по ряду водохранилищ в Рурском бассейне — до 65% (Koenig, 1971), по ГЭС Бергенфорсен в Швеции — почти 40% общей стоимости. Аналогичные примеры можно привести и для других стран.

Структура затрат на создание водохранилищ зависит от природных и экономических условий района (в первую очередь степени и специализации сельскохозяйственного освоения речной долины, ее застроенности, системы путей сообщения и т. д.), параметров водохранилища, характера будущего его использования (числа и состава компонентов водохозяйственного комплекса, их требований к подготовке ложа и т. д.), а также от политико-социальных условий в данном государстве (методов и степени компенсации затопляемых объектов, учета интересов местного населения и др.). Так, в плотно заселенных сельскохозяйственных районах большой удельный вес составляют затраты на компенсацию сельскохозяйственных угодий и на переустройство населенных пунктов или их защиту, в промышленно освоенных районах — затраты на защиту и переустройство жилищно-коммунальных объектов, промышленных предприятий, транспортных сооружений и т. п. Для примера можно привести водохранилище Джердап, по которому затраты на инженерную защиту составляют $^2/_3$ от затрат на подготовку водохранилища (Djordjevic, Putic, 1970).

В большинстве развитых капиталистических стран большой удельный вес в стоимости водохранилищ составляют затраты на компенсацию земель, что связано с постоянным возрастанием стоимости земли. Так, по водохранилищам Кентукки и Пиквик-Ландинг на р. Теннесси эти затраты составили около 30% от стоимости их подготовки. В лесных районах умеренного, тропического и экваториального поясов значительных затрат требует лесосводка и лесоочистка, при подготовке водохранилищ на су-

доходных реках — расходы на строительство портов, пристаней, подготовку судового хода. По некоторым водохранилищам преобладающую часть капиталовложений составляют затраты на переустройство путей сообщения; особенно характерно это для водохранилищ, расположенных в среднегорных долинах, где подпор, как правило, обязательно вызывает затопление дорог, идущих вдоль реки.

Из общих особенностей проектирования водохранилищ следует отметить все большее влияние размеров вызываемых нарушений и их денежной оценки на выбор варианта решения поставленных задач (гидроэлектростанция, тепловая или атомная станция, обвалование поймы или создание противопаводкового водохранилища и т. д.) и на выбор схемы водохозяйственных сооружений (одно большое или несколько меньших водохранилищ, установление отметки НПУ и т. п.). Предпочтение, как правило, отдается вариантам, обеспечивающим существенное снижение размеров затоплений и других нарушений, иногда с ущербом для оптимального решения водохозяйственных задач.

В ряде районов земного шара крупные и средние водохранилища предпочитают не создавать вообще, хотя они и позволили бы кардинально решить проблемы развития водного хозяйства. Нередко тщательно учитывают современную и перспективную ценность буквально каждого гектара земельных угодий, подлежащих возможному затоплению. В Швеции некоторые речные бассейны объявлены резервными для расселения жителей или для сохранения природы, и поэтому их гидроэнергетическое использование не предусматривается.

В то же время большое внимание уделяется и вопросам резервирования территорий под будущие водохранилища. Так, в Чехословакии приняты меры к тому, чтобы в зоне будущего канала Дунай—Одра—Лаба (на трассе которого будет несколько водохранилищ) не велось капитальное строительство с тем, чтобы на отчуждения не требовалось в будущем значительных средств (Чуров, 1970). В США Бюро земельных фондов каждые 2 года проводит проверку резервированных земель с целью исключения неперспективных для гидростроительства участков. К 1965 г. для нужд гидростроительства было зарезервировано более 6,4 млн. га; почти все крупные водохранилища построены на резервированных ранее землях (Sax, 1966).

В большинстве стран стремятся создать регулирующие водохранилища в горах, где затопления сельскохозяйственных земель, населенных пунктов и коммуникаций менее значительны или совсем отсутствуют. В Альпах на высоте более 1000 м находятся 65% водохранилищ, полезный объем которых составляет 60% (Link, 1970). В США, Австралии, Югославии и др. значительная часть водохранилищ также построена в горных районах.

Однако и в высокогорных условиях, где размеры затопления хозяйственных объектов минимальны, предпочтение нередко отдается вариантам с меньшими затоплениями, даже если это связано со значительными дополнительными затратами. Так, первоначальная схема использования гидроэнергии р. Изель и ее притоков (Австрия) была изменена, чтобы отказаться от создания в горных долинах нескольких водохранилищ, вызывающих затопление небольшого числа горных селений и малой площади пастбищ. В последнем варианте схемы предусмотрено создание только одного водохранилища Дорферталь на р. Кальзер-бах (Jatzko, 1971).

Метод увеличения водосборной площади водохранилищ путем подвода стока из других бассейнов характерен для всех гидроэнергетических каскадов в Альпах, высокогорных районах Испании, Норвегии, Японии, Австралии, Южной Америки; иногда применяется он также и в средне- и низкогорных районах (Центральный массив во Франции, Рейнские сланцевые горы, Балканы и др.). В результате подвода воды из соседних бассейнов такие водохранилища регулируют больший сток. Так, например, к упомянутому водохранилищу Дорферталь, имеющему естественную водосборную площадь 42 км², будет подведен сток с водосбора в 260 км² (Jatzko, 1971).

ИНЖЕНЕРНЫЕ ЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

К основным видам инженерной защиты относятся: обвалование территорий, укрепление берегов и откосов существующих земляных сооружений, устройство волноломных и волноотбойных сооружений, подсыпка (намыв) берегов и защитных пляжей, дренаж обвалованных и подтопляемых территорий, планировка дна и берегов водохранилища, гидропосыпальные и другие работы по локальной защите и приспособлению объектов к новым гидрогеологическим условиям.

Чаще инженерные мероприятия проводятся для защиты городов, поселков и отдельно расположенных промышленных предприятий. В СССР защищены обвалованием и другими способами более 50 городов и поселков городского типа, в том числе Казань, Саратов, Ульяновск, Черкассы, Киев, Краснодар и др. В зарубежной практике инженерная защита населенных пунктов также широко применяется.

На многих водохранилищах мира защищены сельскохозяйственные массивы. В СССР обваловано 200 тыс. га при создании Днепровских, Волжских, Каунасского, Плявиньского, Кайракумского, Краснодарского и других водохранилищ.

Ряд водохранилищ практически представляют собой водоемы с искусственными берегами на всем или большей части периметра. Таковы небольшие водохранилища на реках Изар, Илл, Везер, Лех и др. в ФРГ, водохранилища Вальзе-Миттеркирхен и Джердап на Дунае, ряд водохранилищ на реках Рейн, Рона, Ваг, Эмс и др. Водохранилище Малунице на р. Ваг в Чехословакии полностью обваловано, чтобы защитить сельскохозяйствен-

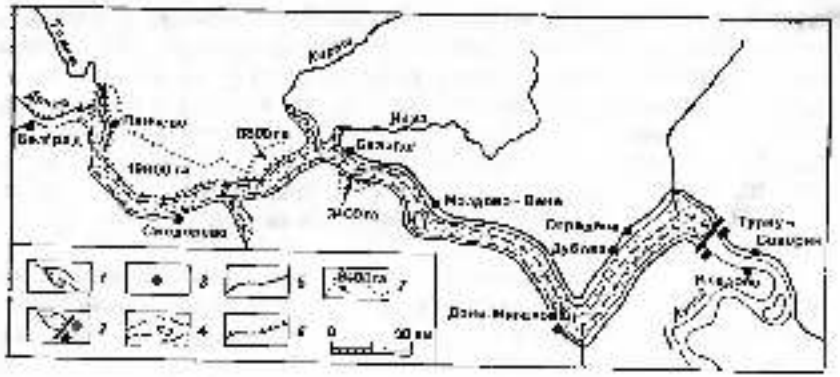


Рис. 37. Водохранилище Джердап на р. Дунай (Румыния, Югославия) (Cattachal, 1970, v. 20, N 4)

1 — водохранилище; *2* — плотины и ГЭС; *3* — населенные пункты; *4* — затопленное русло реки; *5* — автомобильные дороги; *6* — дамбы обвалования; *7* — границы и районы территорий защищенных от наводнений

ные угодья и курорт Пьештяни от затопления (Важский каскад, 1969). Нередко наращиваются и укрепляются существовавшие ранее противопаводковые дамбы; особенно характерно такое решение для водохранилищ в бассейне р. Дунай (рис. 37), где создание в течение многих десятилетий сплошных систем защитных дамб было вызвано частыми, нередко опустошительными наводнениями.

В зарубежной Европе обвалование пойменных земель часто производится для их защиты лишь от низких и иногда средних по высоте паводков; при средних и высоких паводках такие земли затопляются, что способствует их обводнению и удобрению плодородным илом, а также повышению уровня грунтовых вод, что на некоторых реках (Лех, Изар и др.) имеет очень большое значение, поскольку в их поймах ранее резко снизился уровень грунтовых вод. На некоторых водохранилищах применяются системы двойных дамб: ближние к реке дамбы обеспечивают защиту лугов и лесов от низких (иногда и средних) паводков, а более отдаленные от реки дамбы рассчитаны на защиту от высоких паводков пахотных земель, садов, населенных пунктов, путей сообщения и т. п. Системы двойных дамб созданы при подготовке водохранилищ Эльгау, Оберрейхинг, Рейн, Фельдкирхен на р. Лех (Fuchs, 1955).

Инженерная защита земель и населенных пунктов сравнительно широко применяется в США. Так, в бассейне р. Теннесси защищены обвалованием многие сельскохозяйственные участки и ряд населенных пунктов. Применялась инженерная защита при создании водохранилищ на реках Миссури, Арканзас, Св. Лаврентия и др. Характерно, что в некоторых случаях от

экономически оправдываемой инженерной защиты отдельных участков (например, в районе г. Флорене) отказывались, поскольку владелец земли не хотел такой защиты. По-видимому, инженерная защита отдельных участков осуществлена и на ряде водохранилищ Китая, Индии и других стран Азии с многовековыми традициями строительства защитных противопаводковых дамб, однако соответствующих данных в нашем распоряжении не имеется. Известны примеры обвалования берегов водохранилищ и в Африке; при подготовке водохранилища Сансандинг на р. Нигер (Мали) вдоль его левого берега построена защитная дамба длиной 70 км и высотой до 19 м (Радченко, 1969).

Широко используется инженерная защита (в основном крепление берегов) для сохранения транспортных объектов: железных, автомобильных дорог, мостов, путепроводов, газо- и нефтепроводов. Железные и шоссейные дороги и мосты защищены на многих волжских, днепровских и других водохранилищах в СССР, при создании водохранилищ на реках Влтаве, Ваге, Кеми-Иоки, Майне, Рейне, Роне и других в зарубежной Европе и Северной Америке.

Нередко при создании водохранилищ защищаются месторождения полезных ископаемых, ценные геологические, ландшафтные и другие природные объекты, а также историко-архитектурные, мемориальные памятники. В СССР защищены Угличский Кремль, Макарьевский монастырь и др., в Чехословакии — древний замок Орлик на р. Влтаве, в Австрии, ФРГ, Швейцарии, Франции — некоторые участки живописных береговых ландшафтов на реках Энс, Дунай, Драва, Инн, Рейн, Рона и др.

Инженерная защита осуществлена и в нижних бьефах многих гидроузлов (например, в СССР — Горьковского, Рыбинского, Угличского, Киевского, Кременчугского, Камского и др.); здесь укреплены берега на отдельных участках и усилены коммунальные сооружения (водозаборы, выпуски канализации, опоры мостов, причалы и др.), осуществлена подсыпка территории с укреплением откосов в городах Балахне, Правдинске, Рыбинске и др. Аналогичные инженерные мероприятия проведены также в нижних бьефах ряда крупных гидроузлов в зарубежных странах.

Затраты на защитные мероприятия составляют значительную долю общих капиталовложений на переустройство городов, поселков и предприятий, а нередко и гидроузла в целом. По Кременчугскому водохранилищу удельный вес капиталовложений в инженерную защиту составил около 15% стоимости гидроузла, по Горьковскому — 25%, по Чебоксарскому — 40% и т. д.; по водохранилищу Джердап стоимость инженерной защиты составила 40% общих затрат (Djordjević, Purić, 1970). Кроме того, 40 млн. долл. предусмотрено на борьбу с наносами в устье р. Моравы (Krehle, Fuesa, 1973). Большой удельный вес составили затраты на инженерную защиту при подготовке водохра-

нилищ Кинкёре на р. Тисе (Венгрия), Марна (Франция), ряда водохранилищ на Рейне, Вате и др.

Из приведенных данных можно сделать вывод о том, что в плотно заселенных и экономически освоенных странах, особенно в зарубежной Европе и в европейской части СССР, инженерная защита применяется широко (Секторов, 1968; Шарапов, 1973; Авакян, Шарапов, 1977). Она наряду с тщательным выбором полезных отметок и местоположения плотин позволяет значительно уменьшать потери от затопления, подтопления и переработки берегов.

В перспективе инженерная защита будет применяться еще шире ввиду увеличения ценности земли и сокращения фонда земель, пригодных для расширения сельскохозяйственных площадей, повышения плотности застройки и уровня благоустройства городов и поселков (в связи с чем перенос их основных фондов будет становиться все более дорогим), необходимости обвалования мелководий и т. д.

ПЕРЕСЕЛЕНИЕ ЖИТЕЛЕЙ И ПЕРЕУСТРОЙСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА, НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И КОММУНИКАЦИЙ

Восстановление сельскохозяйственного производства, нарушаемого в результате создания водохранилищ, и переселение жителей в зарубежной литературе, по сравнению с СССР, освещены весьма скудно. Объясняется это, вероятно, прежде всего тем, что отчуждение земель и другого недвижимого имущества в большинстве капиталистических и части развивающихся стран рассматривается как акт их купли-продажи.

Порядок отчуждения земель и другой недвижимой собственности под водохранилища из-за многообразия политико-экономических, социо- и земельноправовых условий в разных странах весьма неодинаков. В большинстве капиталистических и развивающихся государств разрешение на отчуждение земель под водохранилища выдаются государственными органами; в некоторых странах такими правами обладают административные органы провинций, штатов, кантонов. В Великобритании концессии на создание водохранилищ выдают бассейновые управления водных ресурсов. В некоторых странах получение разрешений на изъятие земель связано с трудностями, обусловленными особенностями государственного устройства и законодательства. Так, в Швейцарии отсутствие единого федерального земельного и водного законодательства и многообразие кантональных законов вызывают затруднения в отчуждении земель под системы водохранилищ, расположенные в нескольких кантонах; известны также случаи отказа коммун и кантонов предоставить концессии на строительство некоторых из них (Töndury, 1969). Большие сложности при приобретении земель под гидротехнические объекты наблюдаются в Финляндии, что привело к отказу от

создания ряда эффективных водохранилищ (Ветлифеев, 1962). В США наряду с добровольной продажей земель применяется в необходимых случаях принудительное отчуждение, а иногда и конфискация. Так, под водохранилище Пиквик-Лэндинг добровольно продано 91,1%, принудительно отчуждено 7,8% и конфисковано 1,1% земельной площади, под водохранилище Кентукки добровольно продано 95,3% и отчуждено принудительно 4,7% (TVA, Annual Report..., 1950).

В социалистических странах преобладает государственная собственность на землю, поэтому вопросы отчуждения земель под водохранилище и их компенсации решаются, как правило, передачей земель из одного вида использования в другой. Однако в некоторых социалистических странах существует и частная собственность на землю, и вопросы ее отчуждения решаются иначе, чем в отношении государственных земель. Так, в Чехословакии участки государственной земли передаются одним правительственным ведомством другому, а земли, находящиеся в частной собственности, отчуждаются областными и районными органами с выдачей компенсации в денежной форме или, по желанию собственника, в виде другого участка (Права и обязанности, 1961; Фюхна, 1975). Такой же примерно порядок отчуждения частных земель существует в Польше; у крестьян, имевших документы на владение землей, необходимые участки покупались, а по участкам, владение которыми из-за последствий военного времени не было юридически оформлено, применялось отчуждение земель и домов с выплатой соответствующей компенсации (Jagiello, 1970).

В СССР, как известно, земля — общенародное достояние и ее использование в тех или иных целях определяется и осуществляется на основе тщательного анализа народнохозяйственной эффективности рассматриваемых вариантов использования. Разрешение на изъятие земель под водохранилища выдается советами министров союзных республик с предварительным согласованием этого вопроса с колхозами и местными Советами депутатов трудящихся.

Экономическая оценка потерь от изъятия земель и стоимость их компенсации в капиталистических и развивающихся странах производится, как правило, на базе рыночных цен, по договоренности заинтересованных сторон. В некоторых развивающихся, а прежде — в колониальных странах земли отчуждались и без всякой компенсации; пример с племенем тонга при подготовке водохранилища Кариба уже приводился (Dams in Africa, 1968).

В некоторых социалистических странах в отношении частных земель также применяется оценка не по рыночным ценам. Так, в Польше при подготовке водохранилищ земля покупалась у владельца по цене, достаточной для покупки новых участков той же ценности. Аналогичная практика применяется в Югославии и Венгрии.

Экономическая оценка государственных земель и ее компенсации в социалистических странах весьма многообразна. В Болгарии согласно закону о защите земли ущерб в связи с использованием ценных сельскохозяйственных угодий под застройку и для других целей компенсируется оплатой земель по специальному тарифу (40—400 тыс. левов за гектар). В ГДР ущерб от изъятия земель определяется также исходя из их качества и местоположения; намечаются мероприятия, направленные на полное возмещение ущерба. В Чехословакии в соответствии с законом об охране фонда сельскохозяйственных пахотных земель учитывается потеря сельскохозяйственной продукции за весь период окупаемости гидротехнического объекта; плата за изъятие сельскохозяйственных земель в омегах учитывается из расчета стократной или двухсоткратной стоимости годовой валовой продукции, а если строительство ведется сельскохозяйственным кооперативом, то за срок в 20 лет (Фожина, 1975).

В СССР в последние годы узаконена практика оплаты изымаемых земель по специальным районным нормативам стоимости освоения различных сельскохозяйственных угодий; стоимость этой компенсации включается в смету на строительство гидроузла.

Обеспечение конкретных землевладельцев новыми участками земель как базы для получения средств существования, а также их переселение и обеспечение жильем при создании водохранилищ в странах с разными социально экономическими условиями производится по разному. В капиталистических странах, как уже указывалось, в большинстве случаев такая задача перед проектной организацией не ставится. Переселенцы из зоны затопления, получившие компенсацию за недвижимую стоимость, обычно устраиваются самостоятельно, покупают новые земельные участки или меняют род занятий. В отдельных случаях им оказывается помощь в подыскании таких земель; так, например, во Франции, Испании, Греции переселенцам из зон затопления предоставляется возможность покупки земель на вновь орошаемых массивах. В США при подготовке водохранилищ в долине Теннесси переселенцам оказывалось содействие в подыскании и приобретении новых ферм; при подготовке водохранилища Никвик-Ландинг такую помощь по договору с TVA взяли на себя Алабамский политехнический институт и сельскохозяйственные отделы штатов Алабама, Теннесси и Миссисипи. Несмотря на истощенные почвы, фермеры (на 75% арендаторы) стремились остаться в пределах тех же общин и округов (TVA. Annual Report.., 1950).

Обеспечение переселяемого населения землей предусматривалось лишь в отдельных случаях, как, например, при подготовке водохранилища Обер в ФРГ (Haase, 1956), некоторых водохранилищ в Австрии, Франции, Испании, Японии и т. п.

Переселение жителей при создании водохранилищ в капиталистических странах большей частью сводится к выплате компенсации за отчуждаемые дома. Но известны примеры и запланированного при составлении проекта организованного переселения и создания новых населенных пунктов взамен затопляемых. Перенос или новое строительство домовладений с соответствующим комплексом коммунальных мероприятий производился при подготовке некоторых водохранилищ в Швейцарии, Франции, ФРГ и т. д.

В развивающихся странах практика компенсации изымаемых земель, переселения жителей и их социального устройства весьма многообразна. При подготовке водохранилища Асад в Сирии для всего переселяемого населения обеспечены благоприятные социальные условия. Каждая семья получила участок орошаемой земли площадью 3,3 га, переселенцам оказывалась помощь в организации кооперативов для приобретения сельхозмашин, удобрений, семян, саженцев и т. п., а также в овладении современными методами ведения сельского хозяйства (новые культуры, агроприемы и т. д.). Переселенцы из г. Табка живут в новом городе Ас-Суар, где их обеспечили жильем, медицинской помощью и школами (Bontkey, 1974).

При подготовке водохранилища Гобиндсагар в Индии специальная комиссия приобрела для переселенцев (36 тыс. чел.) новые земли в районе водохранилища, выплачивала им компенсацию (в основном за дома и сады) и оплачивала перевозку их имущества; на эти цели израсходовано 40 млн. рупий. Переселенцам и рабочим, пожелавшим переселиться из переносимых городов (Биласпур и др.) в села, выделялись бесплатно орошаемые участки в 3,2 га на семью. Кроме того, за счет строительства плотины построены дороги, школы, больницы, системы водоснабжения. Правительство предоставляет переселенцам бесплатно грузовики для переезда, перевозки стройматериалов и т. п. Все население г. Биласпура (около 1 тыс. семей) переселено в новый город, построенный в 3 км от прежнего (Gupta, 1964). Аналогичная практика наблюдалась при подготовке водохранилищ Вир, Гирна, Укаи, Нагарджунасагар; в некоторых новых селениях строятся храмы. Отчужденные земли сдаются до момента затопления в аренду их бывшим владельцам; чтобы обеспечить крестьян землей, иногда сводили заповедные леса.

При подготовке водохранилища Кебан в Турции 34,4 тыс. га частных земель было выкуплено за наличные деньги (110 млн. долл.); из-за роста в последние годы цен на землю стоимость компенсации весьма велика и превышает стоимость строительства ГЭС.

При создании водохранилища Мангла в Пакистане крестьянам было выделено значительно больше земель в целях колонизации вновь осваиваемых районов. Крестьяне, имевшие земли менее 0,5 акра поливной или 4 акра неполивной, получили

денежную компенсацию и были переселены в район гидроузла (Tarbela..., 1971).

В Бразилии при подготовке водохранилищ земли покупаются или (при нежелании владельца продать их) экспроприируются, население обеспечивается домами, социально-культурным обслуживанием (школы, больницы, церкви, общественные здания) и коммунальными объектами (водоснабжение, канализация, электрификация). В практике создания водохранилищ в Бразилии бывали случаи, когда население не желало переселяться из-за неудовлетворения выбранными местами нового расселения, а иногда из-за неверия в то, что уровень реки может подняться до их жилищ. При подготовке водохранилища Фурнас потребовалась четкая организация принудительного переселения с созданием специальных наземных и водных отрядов и использованием авиации, чтобы своевременно эвакуировать жителей, их скот и имущество.

Многообразна практика устройства переселяемого населения в странах Африки. Как уже указывалось, при подготовке водохранилища Кариба в Замбии были отведены для каждой семьи участки земли как на прилегающих к водохранилищу склонах, так и в долине р. Луситы, причем степень компенсации затопленных земель была очень незначительной вследствие ограниченности земельных фондов (все пригодные для использования земли очень сильно эродированы, что объясняется особенностями местного сельского хозяйства). Поэтому с момента переселения было ясно, что около $^1/_3$ переселенных жителей окажутся в ближайшие 10 лет в бедственном положении. Министерство сельского хозяйства Замбии пыталось повысить продуктивность выделенных для переселенцев земель путем борьбы с эрозией почв и интенсификации сельского хозяйства, однако эти мероприятия не могли дать большого эффекта в течение такого короткого срока (Scudder, 1969). Кроме того, на самих переселенцев здесь была переложена забота о расчистке участков под селения и строительство домов. В Южной Родезии в схеме гидроузла Кариба на компенсацию земель и переселение не было никаких затрат, а в Замбии на 30 тыс. человек, переселенных из зоны затопления водохранилища Кариба, была выделена сумма компенсаций размером всего 1 млн фунтов стерлингов.

При первоначальном наполнении первого Асуанского водохранилища (1902 г.) население Нубии было переселено на незатопляемые склоны практически без мероприятий по его устройству. При подготовке же водохранилища Насер население Судана переселено в район ниже ущелья Хасм-Эль-Гирба на р. Атбаре, где построены специальное водохранилище емкостью 1,3 км³; город Новая Хальфа и 26 деревень, каждая на 180—250 семей; в соответствии с данными обследования каждой семье была выплачена компенсация в размере от 40 до 1500 египетских фунтов и предоставлялись новые дома. В целом в компенсацию за ущерб

Египет должен был выплатить Судану 15 млн. египетских фунтов (43 млн. долл., Дмитревский, 1967).

В зоне водохранилища Вольта новые земли полностью подготавливались за счет правительства. Взамен старых домов предоставлялись новые (стоимостью 250 фунтов) или выплачивалась соответствующая компенсация. Предварительно проводились различные обследования, переговоры и консультации с населением по поводу выбора мест вселения. Такого рода контакты с местным населением особенно важны при местообразных этнического состава и исповедуемых религий. В ряде развивающихся стран на установление необходимых контактов с населением влияют такие факторы, как авторитет местных властей. Например, при подготовке водохранилища Каинджи важна была поддержка эмиров, влияние которых на жителей, несмотря на ограничение их власти, во многом сохранилось. В районе же водохранилища Вольта влияние местных вождей было невелико, и поэтому контакты проектировщиков и строителей с населением налаживались легче, население активно участвовало в мероприятиях (Dams in Africa, 1968).

При создании водохранилища Нам Понг в Таиланде выделенные правительством для переселенцев земли были значительно хуже затопленных, причем на одну семью (в среднем 6 человек) выделялось только 2,6 га земель; из-за плохого плодородия почв численность населения в районе этого водохранилища затем резко уменьшилась (Man-Made Lakes..., 1973; Chamlong Harinasuta, 1975). В Мексике переселенцам из зон затопления предоставляются участки в 10—11 га, но они должны оплатить их стоимость (часто весьма высокую — до 1000 песо/га) в рассрочку: 10% сразу же, а остальные 90% — в течение 10 последующих лет; кроме того, государство не обеспечило всех крестьян кредитами, в результате чего многие переселенцы оказались, по существу, разоренными. Так, при создании водохранилища Алеман в тяжелом положении оказалось 22 тыс. индейцев. Здесь сыграло роль такое переселение их из горных районов в непривычные для них условия равнинного орошаемого земледелия. Часть индейцев, не пожелавших переселиться на равнину, не получила никакой помощи и оказалась в особо бедственном положении.

В социалистических странах при подготовке водохранилищ, как правило, проводятся специальные мелиоративные и строительные мероприятия в целях устройства жителей, выселяемых из зоны затопления.

В СССР в проектах водохранилищ предусматриваются конкретные мероприятия по земельнохозяйственному устройству колхозов, совхозов и других землепользователей, а также восстановлению сельскохозяйственной продукции на основе экономического анализа хозяйственной деятельности каждого сельскохозяйственного предприятия с учетом изменений, которые вносятся созданием водохранилища. Мероприятия намечаются таким

образом, чтобы они полностью обеспечивали нормальное хозяйственное развитие колхозов и совхозов.

В разных природных зонах, а также на разных участках водохранилищ устройство землепользователей осуществляется по-разному в зависимости от местных природных и хозяйственных условий. В нижней части Братского водохранилища, например, колхозы потеряли практически все сельскохозяйственные угодья и перебазировались в другие районы на значительные расстояния, а в остальных районах большинство колхозов осталось на прежнем месте с прирезкой и освоением земель из Гослесфонда (рис. 38). При создании многих водохранилищ в лесостепных и степных районах СССР основными мероприятиями ввиду ограниченности свободных земель были мелиорация сельскохозяйственных угодий и внедрение более интенсивных форм ведения сельского хозяйства. В районах орошаемого земледелия затопляемые земли компенсируются преимущественно орошением новых участков. Степень компенсации потерь сельского хозяйства в СССР была неодинаковой в различные периоды развития страны в зависимости от материальных и финансовых возможностей государства, различной законодательной регламентации земельных вопросов и др. (Авакян, Шарапов, 1977).

В нижних бьефах гидроузлов восстановление потерь сельского хозяйства в СССР осуществляется обычно освоением новых земель; в отдельных случаях (в низовьях Волги, в пойме Иртыша) из вышележащих водохранилищ производятся специальные попуски для обводнения поймы. В зарубежных странах примеры такого рода попусков известны лишь для небольших водохранилищ.

Переселение населения при создании водохранилищ в СССР осуществлялось планомерно за счет средств на строительство гидроузла и других ассигнований (с обязательным обеспечением переселяемого населения работой). Все затрагиваемые жилые и подсобные строения восстанавливаются или строятся вновь в благоустроенных населенных пунктах; в последние годы для значительной части переселяемого населения, особенно в городах, возводятся благоустроенные многоквартирные дома.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что переселение населения – одно из важнейших последствий создания водохранилищ и очень сложный социальный аспект их подготовки.

Больших затрат труда и средств требует обычно восстановление транспортных связей, нарушаемых вследствие создания водохранилищ. Как в СССР, так и в большинстве зарубежных стран восстановление коммуникаций производится с учетом ряда факторов: нового размещения населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, пристаней, изменения характера и объема грузоперевозок, появления новых грузообразующих объектов, перспектив создания новых промышленных центров и городов в соответствии со схемами районной

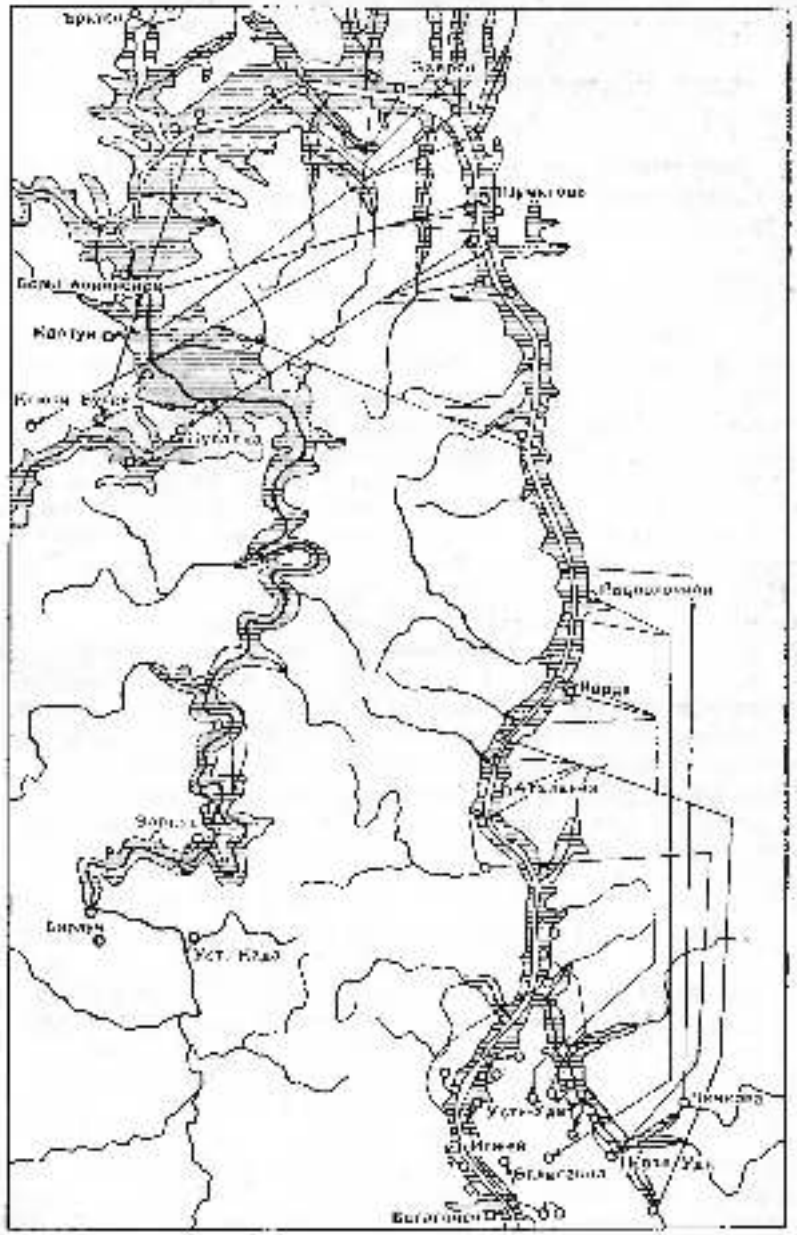


Рис. 38. Схема перемещения сельскохозяйственных предприятий из зоны Братского водохранилища. (Кибальчич, 1965)

планировки и другими проектами развития районов. Необходимо отметить, что, чем крупнее и сложнее по форме водохранилище и чем плотнее заселена и в хозяйственном отношении освоена долина реки, тем, как правило, более значительной реконструкции подвергается сеть путей сообщения, линий связи и электропередачи.

К основным видам мероприятий, направленных на восстановление железных и автомобильных дорог, относится строительство обходных участков и сохранение этих сооружений на прежних трассах с проведением специальных работ (повышение насыпей, инженерная защита от размыва откосов насыпей и берегов, подъем опор и пролетных строений мостов и т. д.). В США, например, только при создании водохранилищ в бассейне реки Теннесси построено более 200 км железных дорог и десятки мостов, сотни километров автодорог; в СССР при подготовке Каховского, Кременчугского, Иваньковского, Куйбышевского, Саратовского, Камского, Братского, Байкальского, Капчагайского и других водохранилищ построены сотни километров новых железнодорожных путей. Значительные по масштабу работы были выполнены и в ряде других стран при создании отдельных водохранилищ (например, Вольта, Кабора Басса, Кебан и др.).

При подготовке водохранилищ попадающие в их зоны эксплуатируемые месторождения полезных ископаемых иногда разрабатываются ускоренными темпами в целях максимального использования запасов. В отдельных случаях применяется их инженерная защита, как, например, в СССР защита марганцевых месторождений в р-не Каховского водохранилища, бурого угольного месторождения в р-не Днепродзержинского, нефтепромыслов в р-не Камского и Нижнекамского водохранилищ и т. д. При затоплении минеральных источников принимаются меры по восстановлению минеральной базы курортов путем вывода источника на более высокие отметки или их каптажа в другом месте, как это сделано, например, на курорте Бирштонас (Каунасское водохранилище), в Усолье-Сибирском (Братское водохранилище) и т. д.

Осуществляется ряд мероприятий в случае попадания археологических, историко-революционных, архитектурных и других памятников в зоны воздействия водохранилищ. Могильники, селища, остатки древних городов, курганы и другие археологические памятники обследуются, а наиболее ценные из них раскапываются с составлением подробных планов и разрезов. Мемориальные исторические здания и сооружения, монументы, братские могилы, памятники архитектуры в СССР в большинстве случаев или защищаются, или переносятся на новые места с сохранением их прежнего вида. В Египте при подготовке водохранилища Насер распилен, перевезен и вновь тщательно собран на новом месте всемирно известный храм Абу Симбел, в Индии в зоне затопления водохранилища Нагарджунасагар разобраны

и восстановлены древние храмы Шива и Вишну и жилище древнего ученого Acharia Nagarjuna, две старинные мечети вынесены из зоны водохранилища Кебан, ценные старинные постройки из зон затопления ряда европейских водохранилищ также восстановлены на новых местах.

ПОДГОТОВКА ЛОЖА ВОДОХРАНИЛИЩ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Подготовка ложа и берегов водохранилищ и охрана природы заключается в лесосводке, лесоочистке (общей и специальной), санитарной очистке загрязненных территорий и зон водозаборов, противоэпидемических мероприятиях, ландшафтном благоустройстве, спасении животных, а также в подготовке водохранилищ к использованию. Их назначение — обеспечение благоприятных санитарно-гигиенических условий для населения, сохранение и улучшение экосистем и качества воды в водохранилищах и в нижних бьефах гидроузлов и обеспечение возможности использования водохранилищ в различных целях.

Важная часть общей и санитарной подготовки заключается в очистке территории от древесной и кустарниковой растительности. Вся древесина в зоне затопления, реализация которой целесообразна, как правило, вырубается и доставляется потребителям. На остальных, непригодных, площадях зоны затопления лесная и кустарниковая растительность или вырубается, или затапливается.

Требования отраслей хозяйства, здравоохранения и охраны природы к лесоочистке весьма различны; в СССР они специально разрабатываются при проектировании и излагаются в «Технических условиях на подготовку ложа водохранилища», которые согласовываются со всеми заинтересованными министерствами и ведомствами. На их основе в последующем разрабатываются и осуществляются проекты лесосводки, лесоочистки, санитарных, противомалярийных и других мероприятий. Считается целесообразной сплошная лесоочистка ложа всех водохранилищ, предназначенных для водоснабжения, отдыха, рыбного хозяйства, а также водохранилищ комплексного назначения, расположенных в плотнонаселенных районах. В последние годы высказываются пожелания о сплошной лесоочистке ложа и крупных сибирских водохранилищ с природоохранных и рекреационных позиций.

В большинстве зарубежных стран производится сплошная лесоочистка ложа водохранилищ и некоторых участков берегов, так как установлено, что осложнения, вызываемые невырубленным лесом, обходятся впоследствии дороже экономии от сокращения площади лесоочистки. Вместе с тем наблюдалась и неполная лесоочистка ряда водохранилищ в слаболесных районах

Канады, США и некоторых стран в тропическом и экваториальном поясах (Суринам, Нигерия, Таиланд, Бразилия и др.), а прежде также и в более освоенных районах, например при подготовке водохранилищ в бассейне р. Теннесси.

При подготовке водохранилищ важное значение имеют мероприятия, направленные на ликвидацию возможных источников загрязнения воды и засорения водохранилища и его берегов. В СССР в состав этих мероприятий, кроме лесосводки и лесоочистки, входит: общая санитарная очистка территорий населенных пунктов, предприятий, животноводческих ферм и специальная санитарная очистка мест специфического загрязнения и зон централизованного питьевого водоснабжения; перенос или инженерная защита кладбищ и скотомогильников, охрана грунтовых вод от истощения и загрязнения, борьба с всплывающими торфяниками, борьба с загрязнением водохранилищ сточными водами, с избыточным «цветением» воды и др.

В целях санитарной охраны водохранилищ в период их подготовки и эксплуатации осуществляется также и ряд других мероприятий. Запрещается сброс неочищенных сточных вод и твердых отбросов в водохранилища. Плавающие по водохранилищу суда оборудуются специальными устройствами для сбора сточных вод и твердых отбросов, а на пристанях строятся сливные станции. На берегах водохранилищ, имеющих питьевое назначение, производится облесение, устанавливаются зоны санитарной охраны и др.

Некоторые санитарные мероприятия проводятся и в нижних бьефах гидроэлектростанций: специальные санитарные попуски воды для разбавления загрязненных вод в периоды малых расходов, попуски для обеспечения работы водозаборных сооружений. Так, исследованиями Московского НИИгигиены им. Ф. Ф. Эрисмана доказана необходимость постоянных санитарных попусков в подпертые нижние бьефы ГЭС, чтобы создать постоянное течение и обеспечить тем самым удаление вниз и разбавление сточных вод (Кибальчич, 1965). В естественных условиях ежегодные паводки промывали поймы и улучшали их санитарное состояние. Поэтому ставится вопрос также о санитарных паводковых промывках поймы рек в нижнем бьефе ряда гидроузлов (Вендров, 1970; Кефели, 1973; и др.).

Практика эксплуатации водохранилищ показала большое влияние избыточного «цветения» на качество воды и на санитарно-гигиенические условия в водохранилищах и на прилегающих территориях. Борьба с сапрофикацией водохранилищ, в том числе с избыточным «цветением» воды, должна быть составной частью общей системы мер, направленных на регулирование качества воды и биологического режима водохранилищ. В их состав должны входить, помимо выбора параметров водохранилищ, (с санитарно-гигиенических позиций) защита водоемов от сброса сточных вод, физико-химические методы (аэрация, перемешивание и т. д.), изъятие водорослей (с их использованием) и биологические методы. Следует указать, что большинство из этих методов применялось лишь в опытном порядке.

В СССР осуществляются также лечебно-профилактические и энтомологические мероприятия в целях предупреждения заболевания малярией. Проводятся также некоторые меры борьбы с кровососущими насекомыми, клещом и др.

Описанный состав санитарных мероприятий применяется и при подготовке большинства зарубежных водохранилищ. В условиях плотнозаселенных стран этих мероприятиям придается особо важное значение. Например, при подготовке водохранилища Желивка на одноименной реке, предназначенного для водоснабжения Праги, из зоны затопления переселено свыше 2 тыс. жителей, перенесено или разобрано 73 хозяйственных и 486 жилых строений, 3 небольших завода и 4 мельницы, удалены и обезврежены загрязнения и нечистоты; загрязненные места подвергнуты специальной очистке, старая канализационная сеть промыта дезинфицирующим раствором. Все лесонасаждения вырублены, гумусовый слой почвы в объеме 250 тыс. м³ вывезен за пределы зоны затопления. За 2 года до затопления сельскохозяйственные земли не удобрялись. Поскольку после заполнения водохранилища всплыло значительное количество древесного мусора, организована его уборка с помощью специального понтона. По периметру водохранилища организованы три зоны санитарной охраны.

Большое санитарно-гигиеническое значение имеют широко распространенные в зарубежной Европе буферные водохранилища (Vorsperre, Vorbecken) с постоянным уровнем воды, создаваемые в зонах выклинивания подпора по главной реке, а нередко и по ее притокам. В таких водохранилищах отстаиваются и очищаются загрязненные воды, задерживается твердый сток; эти водохранилища позволяют значительнее срабатывать основное водохранилище, поскольку благодаря постоянному уровню предотвращают такие неблагоприятные последствия сработки, как гибель растительных и животных остатков на обсыхающей площади дна, возникновение из-за этого неприятных запахов, размножение комаров и т. п. Эти мероприятия также способствуют сохранению прежнего ландшафтного облика местности в верховьях водохранилищ (Weissbach, 1956; Kienig, 1971 и др.). Буферные водохранилища имеются на водохранилищах Окер, Шваммекауэль, Хеппе, Дюнн, Бигге в ФРГ, Рапбоде в ГДР и многих других.

При подготовке и эксплуатации водохранилищ возникает необходимость в борьбе с эпидемическими и инфекционными заболеваниями, что особенно необходимо для стран с жарким климатом. Наиболее радикальным методом борьбы с этими болезнями могло бы быть создание условий, препятствующих выживанию и развитию промежуточных хозяев или переносчиков этих болез-

ней: моллюсков, улиток, жешек и т. д.; однако пока таких методов практически не найдено.

Поэтому к основным мероприятиям в настоящее время относятся выявление и лечение больных, профилактика заболеваний, улучшение бытовых и санитарно-гигиенических условий жизни местного населения и строителей гидроузла, улучшение питания, пропаганда знаний об источниках болезней и т. д. В этом отношении развивающимся странам большую помощь оказывают такие международные организации, как ВОЗ, ФАО и др., а также специалисты отдельных государств, в том числе СССР.

Во всех странах, как правило, осуществляется подготовка ложа водохранилищ к использованию в интересах водного транспорта, водоснабжения, гидроэнергетики, рыбного хозяйства, рекреации. Во многих странах в последние годы уделяется большое внимание мероприятиям, осуществляемым в интересах рекреации. На ряде водохранилищ устраиваются пляжи, купальни, стоянки для автомашин, площадки для палаточных городков с коммунальными устройствами (электросеть, водопровод, канализация), строятся причалы для спортивных судов и т. д. На некоторых гидроузлах (Рейнфельден в Швейцарии, Вране в Чехословакии и др.) построены специальные шлюзы для прохода спортивных и туристских судов из одного бьефа в другой; в обход нескольких плотин на Влтаве построены специальные дороги, по которым суда перевозятся или на катках (гидроузлы Камык, Слапы), или на тележках по рельсам (Орлик; Влтавский каскад, 1969).

Глава VIII

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

АКВАТОРИАЛЬНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ. ПЛАНИРОВКА И ОБУСТРОЙСТВО ВОДОХРАНИЛИЩ

Повышение эффективности использования внутренних водоемов, в том числе и водохранилищ,— важная часть более общей проблемы рационального использования водных ресурсов.

Реализация различных (в основном отраслевых) подходов к повышению эффективности использования водохранилищ осуществляется в СССР и большинстве индустриальных стран мира по ряду направлений. Среди них можно выделить мероприятия, осуществляемые в самом водохранилище, в его береговой зоне и поиск оптимальных режимов эксплуатации, в частности режима уровней. К мероприятиям, способствующим повышению эффективности использования водохранилищ, следует относить и различные природоохранные мероприятия, проводимые на водосборах: создание оборотных систем водоснабжения, развитие безводной и безотходной технологии ряда производств, внедрение прогрессивных методов очистки сточных вод, строительство очистных сооружений, рациональное природопользование в районах водохранилищ.

В СССР особенно развиты исследования научно обоснованных режимов эксплуатации отдельных водохранилищ и их каскадов. Однако следует признать, что эта задача чрезвычайно сложна и далека от разрешения в связи со сложностью состава участников водохозяйственных комплексов и необходимостью учета внеэкономических факторов.

Следует подчеркнуть, что эффективное использование водохранилищ не должно замыкаться в рамках только эксплуатационной задачи, сводящейся к выполнению совокупности правил наполнения и сработки водохранилищ. Существенное условие успешного решения этой задачи заключается в комплексности использования ресурсов района водохранилищ (водных, земельных, биологических и рекреационных) к направленном, регулируемом воздействии человека на режим и динамику становления водохранилищ, т. е. управление этими сложными природно-хозяйственными объектами (Авакян, Шарапов, 1977).

В настоящее время под комплексным использованием понимается такое использование водных ресурсов водохранилищ, которое дает максимальный эффект в народном хозяйстве, определяемый с учетом их положительного и отрицательного влияния как на все отрасли водного хозяйства, так и на природу и хозяйство территорий, прилегающих к водохранилищу и к реке в нижнем бьефе гидроузла (Авакян, 1972).

С природоведческих позиций, водохранилище следует рассматривать как сложный природно-хозяйственный комплекс (геотехническую систему), взаимодействующий с окружающей средой. Поэтому актуален вопрос об оптимальном управлении этими сложными объектами. Очевидно, для управления природными объектами необходимы: высокий уровень их изученности; представления о рациональной организации, функционировании и желательной тенденции динамики развития объекта и, наконец, научно обоснованные принципы и методы достижения рациональной организации (структуры) объекта.

Принципы единого методического подхода к повышению эффективности комплексного использования ресурсов водохранилищ (водных, земельных, биологических и рекреационных) разработаны недостаточно.

Практическое осуществление соответствующих мероприятий производится пока только в рамках отдельных отраслей и зачастую несогласованно.

Перспективным направлением в этой связи представляется подход, заключающийся в акваториальном районировании, планировке, обустройстве внутренних водоемов, на основе которого может быть осуществлено целенаправленное и интенсивное использование отдельных участков водоемов в соответствии с их природными особенностями, характером хозяйственной освоенности и антропогенных воздействий (Авакян, 1972). Особый интерес для акваториального районирования и планировки представляют крупные водохранилища комплексного назначения, являющиеся важнейшими элементами существующих и проектируемых водохозяйственных систем, в том числе и для переброски стока.

Акваториальное районирование, планировка и обустройство водохранилищ — последовательно осуществляемые этапы. Они соответствуют трем основным принципам стратегии использования природных объектов человеком: познанию природы объекта (районирование), представлению о его наиболее «выгодной» оптимальной для человека структуре (планировка) и, наконец, направленному воздействию на объект (обустройство).

Акваториальное районирование. Районирование как метод отображения пространственной неоднородности используется практически во многих науках о Земле и особенно успешно применяется в экономико- и физико-географических (ландшафтных) исследованиях пространств суши.

1579—2

Степень неоднородности режима отдельных участков, а также различий их гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик в пределах одного водоема (водохранилища) сравнительно небольшой площади (по сравнению с морями и крупными озерами) не столь очевидна. Это обусловлено естественным свойством подвижности водной массы, которое способствует выравниванию (нивелированию) различий между отдельными участками одного водохранилища. Вместе с тем результаты комплексных исследований водохранилищ показывают, что отдельные участки одного и того же водохранилища существенно различаются по гидрологическому режиму, составу донных отложений, качеству воды и биопродукционным процессам, в различной степени подвержены антропогенным воздействиям. Проиллюстрируем это на примере ряда водохранилищ. Основные данные приводятся для Рыбинского и Киевского водохранилищ. Первое из них детально изучено Институтом биологии внутренних вод АН СССР, второе — Институтом гидробиологии АН УССР.

Неоднородность гидрологического режима отдельных участков водохранилищ обусловлена сложным взаимодействием целого комплекса факторов и условий: морфометрией чаши, строением берегов и дна, степенью проточности, объемом и свойствами притекающей воды, метеорологическими факторами, режимом заполнения и сработки и другими.

Результаты исследований температурного режима водохранилищ показывают, что в них наблюдается пространственная дифференциация воды по температуре. На температурный режим влияет проточность водохранилищ. Одно и то же водохранилище, ширина которого изменяется по длине, обладает различной проточностью на разных участках. С удельным расходом (на единицу ширины водоема) связан теплообмен в водной среде. Этим часто обусловливается разница в температуре воды на отдельных участках одного и того же водоема (Россинский, 1975).

Различия в поверхностных температурах разных участков наибольшие весной и достигают 6—8°, летом эта разница, как правило, уменьшается, но остается для крупных водохранилищ достаточно заметной, составляя 2—4°. На Куйбышевском водохранилище в связи с его меридиональным расположением разница поверхностных температур воды может достигать 10°. При определенных метеорологических условиях в водохранилищах наблюдается также явление термического расслоения водной толщи. Градиенты температур воды по глубине в ряде случаев составляют около 1° на 1 м, а в слое температурного скачка достигают нередко нескольких градусов. Максимальная разница температуры поверхностных и придонных слоев может достигать десяти и более градусов.

Структура течений на водохранилищах очень сложна и, по существу, определяется взаимодействием различных видов тече-

ний, существующих в водоеме одновременно. На акватории водоемов выделяются зоны стоковых, стоково-нагонных, водооборотных и застойных типов циркуляций. На различных участках одного и того же водохранилища изменяется очень значительно и высота волны. По-разному проявляются последствия сработки водохранилищ.

Степень неоднородности гидрологического режима отдельных районов и положена в основу деления русловых водохранилищ на три известных зоны: верхнюю, среднюю и нижнюю (Вендров, 1955, 1959). Существенная неоднородность гидрологического режима отдельных участков крупных водохранилищ выявляется при изучении их водных масс.

На основании многолетних исследований водохранилищ волжского каскада Н. В. Буторин показал, что в водохранилищах наблюдается дифференциация водной толщи на различные водные массы, обладающие в течение каждой фазы гидрологического режима специфическим комплексом физических, химических и биологических характеристик. В процессе взаимодействия водных масс водохранилищ происходит сложная трансформация речных водных масс и формирование собственной водохранилищной водной массы (Буторин, 1969).

Существенно различен и гидрохимический режим отдельных участков водохранилищ. На основании статистической обработки 28,6 тыс. определений химического состава шести верхневолжских водохранилищ (до Горьковского включительно) выявлена существенная пространственная и временная изменчивость гидрохимических параметров (Кожара, 1969). Коэффициенты вариации 14 из 18 исследованных параметров достигают значительных величин и колеблются в зависимости от сезонов года от 0,25 до 1,48. Степень изменчивости особенно высока у тех компонентов, чьи концентрации в воде относительно невелики, это нитраты, нитриты, железо, фосфор, ионы хлора, магния и калия.

Таким образом, и поля концентраций многих химических компонентов, особенно биогенных элементов, обнаруживают значительную неоднородность.

Весьма различна и биопродуктивность отдельных участков акватории в пределах одного водохранилища. Величины биомасс фито- и зоопланктона, бентоса в отдельные периоды могут отличаться в десятки раз. Это связано с тем, что интенсивность процессов продуцирования живого вещества, помимо чисто биологических факторов, в значительной степени определяется и абиотическими факторами, составляющими комплекс гидрологических, гидрофизических и гидрохимических параметров. В водохранилищах имеются как бы «пятна жизни», мозаично распределенные в плане, в первую очередь это умеренно заросшие участки мелководной зоны продуктивных плесов, устьевые участки притоков, заливы, районы смешения водных масс. Неодинакова интенсивность гидробиологических процессов и по крупным районам (плесам) водохранилищ в целом. Например, средние за вегетационный период величины биомассы фитопланктона (в граммах на 1 м³) в шести различных районах Киевского водохранилища изменялись в 1965 г. в диапазоне от 3,9 до 24,9 г/м³, в 1966 г. от 17,2 до 67,3, а в 1967 г. от 13,4 до 74,0 г/м³ (Киевское водохранилище, 1972). Известно также, что так называемое цветение воды, как правило, локализовано на определенных участках водоема.

Расчеты валовой первичной продукции и деструкции в слое воды под 1 м² для Киевского водохранилища, показывают, что размеры продукции фотосинтеза и деструкции органического вещества значительно колеблются по отдельным районам водохранилища (до 8 раз).

Годовая продукция фотосинтеза планктона над 1 м² в глубоководной зоне превышает таковую в мелководной в два раза, а деструкция в четыре раза.

Выявлены также значительные колебания биомасс (до 10 раз) продукции сообществ водных организмов разных трофических уровней (бактерии, фито- и зоопланктон, зообентос) в различных районах акватории Киевского водохранилища.

Значительная неоднородность по ряду показателей характерна и для Рыбинского водохранилища (Рыбинское водохранилище..., 1972). Коэффициенты вариации, характеризующие изменчивость ряда гидрохимических параметров по акватории (ионы натрия, биогенные элементы), достигают значительных величин (от 0,28 до 0,92), что указывает на существенную неоднородность распределения концентраций перечисленных параметров. Величины биомасс фитопланктона для разных участков мелководий различны (от 0,5 до 5 г/м³). Концентрации зоопланктона в поверхностном слое в июне 1963 г. изменялись по акватории водохранилища от 0,01 до 0,3 г/м³. Пестрый характер распределения донных отложений различного типа определяет и значительные колебания биомассы бентоса на различных участках. Биомасса 5—10 г/м² и выше встречается на серых илах, на торфянистых илах она не больше 1—5 г/м², а на большей части Главного плеса Рыбинского водохранилища не превышает 1 г/м². Весной в связи с замедленным прогревом вод Главного плеса продукция фотосинтеза в центре водохранилища была в 5—10 раз ниже, чем на периферии. В наиболее продуктивных участках, приуроченных, как правило, к зонам смешения масс различного происхождения, биомасса фитопланктона за вегетацию может достигать 20—30 г/м³ при средней величине для водохранилища 3—5 г/м³.

Участки с повышенной и относительно стабильной плотностью рыбного населения чередуются с резко обедненными районами. На основании многолетних исследований волжских водохранилищ получены многочисленные подтверждения территориально-обособленных внутрипопуляционных группировок рыб, приуроченных к разным районам водохранилищ. Явление экологической

топографии, показанное для волжских водохранилищ, связано с различием их отдельных участков по проточности, химизму, температуре, колебаниям уровня (Поддубный, 1971). В результате каждое водохранилище характеризуется набором экологических участков, называемых станциями. А. Г. Поддубным выделено 11 станций (участки, районы), характеризующих условия существования гидробионтов в волжских водохранилищах.

Многочисленными исследованиями установлена совершенно особая роль заливов и мелководий в обогащении водоемов биогенами. На мелководьях, составляющих обычно 15—30%, общей площади водохранилищ, воспроизводится 80—90% их рыбных ресурсов. Отмечается повышенная рыбопродуктивность верхних и средних участков водохранилищ по сравнению с приплотинными. В водохранилищах наблюдается четкая приуроченность нерестовых и промысловых скоплений рыбы к отдельным участкам, общая площадь которых не превышает нескольких процентов от площади всей акватории.

По природным особенностям некоторые участки водохранилища представляют как бы водоем в водоеме. Это можно сказать о Шошинском плесе Иваньковского, о Волжском, Молого-ском и Шекснинском плесах Рыбинского, Черемшанском и Усинском заливах Куйбышевского, Припятском и Днепровском плесах Киевского водохранилищ и о многих др.

Помимо природных факторов, обусловливающих существенные различия между участками одного и того же водохранилища, все большее значение начинают приобретать факторы антропогенного воздействия. Прежде всего это загрязнения акватории сточными водами, сбросы подогретых вод ТЭЦ, а также хозяйственная деятельность на водосборе (торфоразработки, животноводческие комплексы, сведение лесов, применение ядохимикатов и удобрений). В результате антропогенного влияния неоднородность режимов отдельных участков акватории приобретает еще более резкий характер, особенно по комплексу гидрохимических (загрязнители) и гидробиологических (евтрофия) показателей. Например, «тепловое загрязнение» участков Иваньковского и Горьковского водохранилищ Конаковской и Костромской тепловыми станциями существенно изменило гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режимы в зоне влияния подогретых вод.

Приведенные примеры, как нам представляется, достаточно убедительно показывают существенные различия отдельных участков водохранилищ по целому комплексу гидрологических, гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических показателей. Аналогичные факты можно привести и по многим другим водохранилищам в разных странах и географических зонах (см. гл. V, VI). Поэтому разработка принципов и методики акваториального районирования становится важным направлением изучения водохранилищ как сложных природно-хозяйственных

комплексов, в частности, для исследования неоднородностей их пространственной структуры.

Взгляды исследователей на районирование различны, и в литературе до сих пор нет определенного понятия «районирование водохранилищ». Под районированием водохранилищ можно понимать и типологию водохранилищ, расположенных в различных географических зонах.

Районирование водохранилищ, по нашему мнению,— метод территориальной классификации (выделение акваторий и территорий в пределах береговой зоны) на основе определенного (четко сформулированного) критерия (или их совокупности), устанавливаемого в соответствии с целями предпринимаемого исследования.

Объективная необходимость акваториального районирования и планировки водохранилищ комплексного назначения обусловлена:

1) потребностями интенсивного хозяйственного использования водных ресурсов и акваторий;

2) разнообразием природных условий на разных участках акватории одного и того же водоема (морфологическое строение, водные массы, гидродинамический режим, донные отложения, неоднородность физико-химических характеристик, различие биопродукционных процессов, степень антропогенного воздействия);

3) различными требованиями отраслей хозяйства к характеру использования акватории, береговой зоны и к режиму уровней.

При этом водохранилища целесообразно рассматривать как территориальные природно-антропогенные регулируемые комплексы со сложной неоднородной (мозаичной) структурой всего водохранилища и составляющих его комплексов меньшего таксономического ранга.

Исследование структуры и взаимодействия природно-территориальных комплексов водохранилищ целесообразно проводить на основе районирования.

Для районирования водохранилищ возможно использование опыта физико-географического районирования суши, в частности некоторых методических приемов с учетом специфики районирования акваторий (Авакян, Салтанкин, 1976).

Рассмотрение водохранилища как объекта районирования с учетом опыта физико-географического районирования связано с решением следующих задач: 1) соотношение отраслевого и комплексного районирования; 2) определение целей районирования водохранилищ и задач, решаемых на его основе; 3) определение границ объекта; 4) выявление вертикальной и горизонтальной структур составляющих его элементов, а также связей между ними; 5) оценка целесообразности и практической возможности генетического, типологического и функционального подходов к районированию водохранилищ.

С нашей точки зрения, комплексное районирование водохранилищ имеет более важное значение, нежели отраслевое (частное). В связи с этим возникает вопрос о целевом назначении комплексного районирования применительно к водохранилищам.

Районирование водохранилища по комплексу признаков может проводиться в целях оценки качества воды, выявления структуры экосистем водохранилища, его планировки и обустройства, улучшения рекреационного использования — все они требуют сопряженного учета различных параметров: гидрологических, физико-химических, биологических и т. д.

Особенно интересным комплексным интегральным показателем (критерием) районирования служит качество воды, так как оно формируется в результате взаимодействия природных процессов и антропогенных воздействий на водосборе, в прибрежной зоне, т. е. в зоне взаимодействия водного объекта с берегом, и в самом водоеме (внутриводоемные процессы).

Районирование как метод исследования водохранилищ может служить основой или способствовать решению следующих задач.

1. Проведение различных балансовых расчетов, характеризующих режим водохранилищ в целом и их участков.
2. Оптимальное размещение станций наблюдения по акватории.
3. Оценка многолетней динамики водоемов.
4. Оценка степени антропогенного воздействия на водоемы.
5. Управление водоемами с целью их наиболее рационального использования в народном хозяйстве с учетом требований по сохранению среды.
6. Разработка вопросов типологии водохранилищ.

Важная роль районирования проявляется также и в том, что оно может систематизировать данные, относящиеся к различным режимным аспектам, и представлять их в наиболее компактном виде, т. е. районирование есть продукт и итог изучения функционирования водоема, его своеобразная модель. Особенно возрастает роль акваториального районирования как информационной основы для принятия решений в связи с необходимостью управления водоемами, так как направленное воздействие человека на природные объекты обычно пространственно локализовано и производится на отдельных участках водоемов.

Кратко охарактеризуем содержание двух последующих этапов предлагаемого методического подхода к повышению эффективности использования водохранилищ.

Планировка водохранилищ — совокупность принципов, положений и представлений об оптимальной пространственной структуре системы природных комплексов (акваториальных и территориальных) водохранилища и способов ее достижения с позиций рационального хозяйственного использования водохранилищ с учетом требований по охране природной среды.

Планировку водохранилищ необходимо рассматривать как практическое осуществление на примере водохранилищ конструктивного подхода к природной среде и ее отдельным компонентам. В этом смысле данный термин означает планирование, конструирование, улучшение природно-хозяйственного объекта (в данном случае водохранилища) через упорядочение его пространственной структуры и ее рациональной организации.

Разработать соответствующие (и что важно, конкретные) рекомендации для данного водохранилища по улучшению пространственной структуры составляющих его комплексов можно, очевидно, только на основе детального изучения этой структуры, что, как уже говорилось, целесообразно проводить на основе акваториального районирования. Поэтому для разработки основных принципов инженерного улучшения водохранилищ результаты, полученные при районировании, — важный исходный материал.

Таким образом, планировку можно рассматривать как своеобразную модель, отражающую на данном этапе представления о том, каким потребностям человеческого общества должны соответствовать направления использования (эксплуатации) ресурсов водоемов. Эти представления, как показывает опыт гидротехнического строительства и эксплуатации водохранилищ и их каскадов, могут существенно меняться, т. е., по существу, они относятся к исторической категории. Поясним это на примере смены за последние 30 лет «лидеров» водохозяйственного комплекса. Если в первые годы на водохранилищах, расположенных в европейской части СССР, в основном учитывались интересы гидроэнергетики и водного транспорта, то впоследствии стали учитываться в гораздо большей степени интересы рыбного хозяйства, а сейчас — вопросы сохранения экосистем, качества воды, рекреационного использования водохранилищ и ряд других.

Акваториальная планировка водоема должна проводиться с целью определения наиболее целесообразных видов хозяйственной и природоохранной деятельности на участках акватории и береговой зоны.

Планировка водохранилищ может проводиться как в интересах отдельных отраслей хозяйства, так и для совместного учета требований нескольких отраслей хозяйства к использованию и охране акватории и прибрежной территории.

Наиболее заинтересованы в практическом применении акваториальной планировки водоснабжение, рыбное хозяйство, рекреация и частично сельское хозяйство (прибрежные территории и мелководья, используемые для птицеводства, разведения ондатры, нутрии).

Определенный интерес планировка как основа целенаправленного и интенсивного использования отдельных участков водохранилищ может представлять для водного транспорта.

При акваториальной планировке определяется такое целевое использование участков акватории, которое больше всего соответствует специфике природных процессов и режимов на этих участках. В процессе планировки водохранилищ определяются также инженерно-технические мероприятия, направленные на сохранение или изменение существующих условий. Результаты планировки должны быть основой для составления технико-экономического обоснования (ТЭО) улучшения комплексного использования водохранилищ.

В небольших масштабах на отдельных участках водохранилищ осуществляются мероприятия, которые можно рассматривать как первые шаги в направлении акваториальной планировки (мелиорация водоемов, создание товарных и вырастных рыбных хозяйств, использование мелководий, введение водоохранных зон, укрепление берегов, лесопосадки, создание рекреационных зон). Однако обычно все эти мероприятия проектируются и осуществляются в пределах одного водохранилища разными отраслями хозяйства недостаточно согласованно, а иногда могут быть даже противоречивыми.

Вместе с тем опыт составления ТЭО улучшения комплексного использования ряда водохранилищ показывает, что по самым осторожным оценкам необходимые капитальные вложения достаточно велики. Например, мероприятия, направленные на улучшение санитарно-гигиенического состояния Иваньковского водохранилища, оцениваются в десятки миллионов рублей. Технико-экономические обоснования повышения эффективности использования ряда крупных водохранилищ СССР, выполненные проектными организациями, показывают, что осуществление необходимых мероприятий потребует сотни миллионов рублей.

Все это говорит о том, что это проблемы государственной важности и выделение для их решения огромных средств требует тщательного обоснования ожидаемых эффектов. В связи с этим важно разработать основные принципы планировки, которые бы учитывали природные и хозяйственные особенности конкретного водохранилища по различным аспектам его перспективного использования.

В результате планировки водохранилищ может быть получена конкретная схема размещения, организации, режима функционирования и взаимодействия: промышленных, селитебных, рекреационных, биопродукционных, природоохранных зон, районов неблагоприятного антропогенного воздействия.

Обустройство водохранилищ — совокупность инженерных, биотехнических и организационных мероприятий для управления водоемом, выполняющихся по результатам, полученным при акваториальном районировании и планировке. Возможные меры воздействия на водоемы весьма разнообразны, в связи с чем и возникает необходимость оптимизации состава и последовательности этих мероприятий

К важнейшим из них относятся: регулирование уровенного режима инженерными сооружениями (дамбы, насосные станции и др.) в целях создания оптимального гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов на отдельных участках; воздействие на круговорот вещества и энергии при изъятии излишних масс органических веществ или же усиление продуктивности водоема внесением удобрений; аэрация воды, биологическая ее подготовка в местах водозаборов; удаление водной растительности и донных отложений; создание охранных, заповедных и буферных зон; направленное формирование экосистем, организация рационального использования береговой зоны и многое другое. Только на основе проведения комплекса мероприятий по обустройству водохранилищ можно практически решить проблему повышения эффективности использования водохранилищ комплексного назначения.

На этой же методической основе (районирование, планировка, обустройство) может проводиться освоение ресурсов не только водохранилищ, но и озер, лиманов, внутренних морей.

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

В предыдущих главах было показано, что водохранилища следует рассматривать как многофункциональные, системные объекты, рациональное комплексное использование которых связано с освоением их водных, биологических и рекреационных ресурсов с учетом природоохранных требований.

Практическая реализация принципа комплексности использования ресурсов водохранилищ предполагает существенное увеличение требований к уровню изученности водохранилищ как объектов со сложной структурой и разветвленной системой природных и хозяйственных связей и, следовательно, к объему, качеству и степени комплексности информации, используемой для принятия решений в процессе эксплуатации, разработки прогнозов и обоснования комплекса мероприятий, направленных на повышение эффективности использования водохранилищ.

Требования и запросы, диктуемые практикой в степени изученности водохранилищ, вызывают необходимость проведения комплексных экспедиционных и стационарных исследований на протяжении достаточно длительного периода времени. Однако на водохранилищах с площадью зеркала уже более нескольких десятков квадратных километров, не говоря о водохранилищах в сотни и тысячи квадратных километров, получение репрезентативных материалов наблюдений по всей акватории традиционными методами представляет подчас сложную задачу и требует значительных материальных затрат. Кроме того, на большинстве водохранилищ, особенно там, где отсутствуют специальные подразделения гидрометслужбы, наблюдения либо ведутся эпизодически, либо не ведутся вовсе. Поэтому в совре-

мелких условиях возникает объективная необходимость разработки и применения новых методов и приемов получения комплексной информации об особенностях режима и динамики внутренних водоемов, в том числе и водохранилищ.

Решение этой задачи развивается по ряду направлений: организация комплексных наблюдений, применение изотопов, создание автоматизированных систем наблюдения и др. Перспективным в этой связи представляется также применение дистанционных (аэрокосмических) методов исследования природной среды. За последние годы успешно развиваются методы дистанционных исследований в связи с совершенствованием систем дистанционных датчиков и средств доставки аппаратуры дистанционных исследований.

В СССР и США созданы и уже успешно эксплуатируются космические системы спутников связи различного назначения, например метеорологических. Уже в ближайшие годы, по-видимому, будут созданы постоянно действующие системы спутников, предназначенных для исследования природных ресурсов Земли. Экспериментальные работы, проводящиеся в этом направлении в СССР и США, показали целесообразность и перспективность создания подобных систем.

Решение задач дистанционного зондирования по индикации свойств подстилающей поверхности основано на регистрации и измерении из космоса или воздушного пространства различных характеристик поля электромагнитного излучения в широком диапазоне спектра. Современный арсенал средств дистанционной регистрации весьма разнообразен и включает обычное, многозональное, цветное и спектрозональное фотографирование; телевизионную (ТВ), инфракрасную (ИК), сканерную, микроволновую и радиотепловую съемки; спектрометрирование и, наконец, применение лазеров.

Дистанционные датчики могут быть установлены на борту вертолета, самолета и космического аппарата. Космические средства доставки включают автоматические спутники, ракеты, пилотируемые космические корабли и орбитальные станции (ПОС).

Космические аппараты могут быть выведены на различные траектории и орбиты, удаленные от Земли от сотен до десятков тысяч километров.

Методы и средства обработки дистанционной информации весьма разнообразны — от визуального анализа до применения для дешифрирования сложнейших оптико-механических и электронных систем, а также ЭВМ. Данные дистанционных наблюдений и измерений могут быть представлены в виде изображений, массивов цифровой информации и различных графических зависимостей (например, кривых спектральной яркости). К основным свойствам изображений, характеризующих их информативность, относятся, как известно, масштаб, обзорность

снимков, разрешающая способность и, наконец, спектральный диапазон, в котором получено изображение.

В повышении разрешающей способности аппаратуры, применяемой для получения изображений, достигнут значительный прогресс, особенно для фотографических систем, которые позволяют получить космические снимки уже с разрешением до 30, а для сильно контрастных объектов — до 10 м; это позволяет увеличивать оригинальные снимки до 30 раз и получить соответствующие масштабы изображений (Куприянов, Прокачева, 1976).

Литература, посвященная дистанционным методам исследований водохранилищ, насчитывает уже тысячи наименований. Большая их часть опубликована в СССР и США. Проблематика, средства и методы дистанционных исследований природной среды изложены в ряде отечественных обобщающих работ, изданных за последние годы (Виноградов, Кондратьев, 1971; Григорьев, 1975; Виноградов, 1976). Опубликованы также работы, посвященные применению аэрокосмических методов в гидрологии (Куприянов, Прокачева, 1976; Калинин и др., 1977).

Из зарубежных публикаций большой интерес представляют сборники работ по анализу и использованию космической информации, полученной с американского спутника исследования природных ресурсов (ЭРТС), а также материалы, опубликованные в трудах симпозиумов по средствам и методам дистанционных исследований, состоявшихся в АНН-Арборе (штат Мичиган, США) (Symposium..., 1973; Proceedings..., 1975).

Применению дистанционных методов к изучению акваторий уделяется значительное внимание. Большая часть публикаций посвящена крупным водным объектам: районам океанов и морей, эстуариям, заливам и бухтам, дельтам рек и крупным озерам. Отечественные и зарубежные публикации, посвященные внутренним водоемам, немногочисленны и имеют в основном инвентаризационное (кадастровое) направление. Публикаций, посвященных дистанционным методам исследования водохранилищ, в известной нам литературе единичны (Салтыкин, 1977; Mc Caulcy et al., 1973).

Рассмотрим более подробно возможные области применения аэрокосмической информации при изучении водохранилищ и некоторые результаты, представляющие наибольший интерес. Предварительно отметим несколько наиболее важных положений, выявляющихся при ознакомлении с опытом применения дистанционных методов для решения различных задач в области исследования природной среды.

1. Считается, что дистанционные методы — наилучшее средство экстраполяции точных наземных измерений.

2. Дистанционные измерения, как правило, дают не абсолютные, а относительные значения исследуемых параметров, в связи с чем возникает необходимость наземной калибровки (выполнение наземных измерений этих параметров).

3. Надежная дистанционная индикация большинства исследуемых процессов и явлений может быть достигнута только в результате комплексного применения средств дистанционного зондирования, в частности изображений, полученных в разных диапазонах электромагнитного излучения.

4. Наилучшие результаты достигаются при совместном и по возможности синхронном применении космических аппаратов, самолетов и наземных исследований.

Необходимо также отметить, что большая часть проведенных разработок — экспериментальная и, скорее, качественная, чем количественная, и лишь немногие из них доведены до стадии практического применения. Так, например, в работе, посвященной анализу опыта США в области применения космических средств для исследования водных ресурсов, отмечается, что до стадии уверенного практического применения доведены исследования по оценке ложевого стока водосборов в аридной зоне, определению площадей затопления паводковыми водами и определению загрязнений эстуариев и морских бухт. Имеют практическое значение также результаты по индикации снежного и растительного покровов (Дункин-Барковский, 1976).

Ознакомление с литературой и собственный опыт использования аэрокосмической информации показывают, что возможными объектами применения дистанционных методов при изучении искусственных водоемов могут быть водосборные бассейны, районы нижних бьефов, береговые зоны и акватории водохранилищ.

Водосборные бассейны водохранилищ. Известно, что с природными условиями водосборов и их изменениями в результате хозяйственной деятельности тесно связаны различные режимные аспекты водохранилищ. Уточнение многих природных и антропогенных особенностей водосборов на основе дистанционной информации может в значительной мере способствовать выявлению их современного состояния. Неоднократно указывалось, что использование космических снимков позволяет существенно уточнять данные о геометрии водосборов, положении водоразделов, форме и размерах бассейнов площадью от нескольких сотен квадратных километров. Благодаря хорошим спектральным контрастам с большой детальностью изображается на снимках гидрографическая сеть. На сканерных изображениях, полученных со спутника ЭРТС, различается речная сеть 4—5 порядка, определяются небольшие водоемы. На одном из снимков ЭРТС района Техаса опознано 6 тысяч озер и водохранилищ. Фотоснимки, полученные с орбитальных станций «Салют» и управляемых космических кораблей «Союз» обладают еще большей детальностью, позволяя опознавать речную сеть 5 – 6 порядка и водоемы площадью в доли квадратных километров (Куприянов, Прокачева, 1976).

Результаты комплексного географического дешифрирования показывают, что достаточно надежно могут быть определены

следующие физико-географические характеристики водосборов: геолого-геоморфологические особенности, гидрологические условия, основные типы почв, распределение и характер растительного покрова, сельскохозяйственная освоенность с выделением контуров основных угодий и типов культур (Исследование..., 1974, 1975, 1976; Григорьев, 1975; Виноградов, 1976).

Особенно важное значение имеют разработки гидрологических моделей прогнозов и расчетов стока (в том числе притока в водохранилища), основанные на использовании дистанционно определяемых характеристик (степени покрытия поверхности водосборов водой в период снеготаяния, увлажненности почвогрунтов, распределения и динамики таяния снегового покрова), которые служат входными параметрами моделей (Дункин-Барковский, 1976; Калицун и др., 1977).

Районы нижних бьефов водохранилищ. Раньше было показано, что сооружение водохранилищ и их каскадов вызывает существенные изменения природных и хозяйственных условий нижних бьефов. Дистанционные методы могут применяться прежде всего для установления или уточнения пространственных границ зоны изменения природных условий при недельном, сезонном и многолетнем регулировании стока плотинами гидроузлов.

Последовательное сопоставление космических снимков, полученных в разные гидрологические фазы, по-видимому, позволит определить размеры затоплений в зависимости от поступающего в нижний бьеф расхода; размеры незамерзающей полыньи; деформации русла в плане; зону насыщения осветленных (после отстаивания в водохранилище) вод наносами и, наконец, ряд ландшафтных изменений — остепнение пойм в аридных районах, переувлажнение или заболачивание пойм в северных районах.

Большой интерес представляет использование космических снимков для оценки влияния зарегулирования стока на дельты рек, эстуарии и участки морей.

Для рационального хозяйственного освоения этих наиболее продуктивных с биологической точки зрения территорий требуется разработка и практическое осуществление комплекса мероприятий. Для этого, в частности, необходимы многолетние данные о ходе затопления пойм и дельт на подъеме, пике и спаде паводков, об изменении режима увлажнения пойм, динамике гидрографической сети, о процессах рельефообразования. Получение такого рода данных весьма затруднительно на основе только традиционных наблюдений, хотя бы потому, что указанные территории в течение ряда месяцев являются труднодоступными для проведения полевых работ.

Береговые зоны водоемов, особенно водохранилищ, интересны для изучения как среда обитания и отдыха человека, как арена интенсивной хозяйственной деятельности и, наконец, как фактор, определяющий многие важные особенности режима самих водоемов (воздействие на качество воды и экосистемы).

Дистанционная информация для изучения береговых зон, по существу, должна применяться при определении тех же физико-географических характеристик, что и для водосборных бассейнов, только с гораздо большей детальностью. Однако наибольший интерес для практики представляют не столько характеристики отдельных компонентов природной среды, сколько их территориальные сочетания, т. е. природно-территориальные комплексы, которые целесообразнее всего выделять при районировании с учетом того или иного направления хозяйственного освоения береговых зон.

Весьма важный момент для успешной дистанционной индикации береговых зон — это существенное усиление требований к масштабу и разрешению используемых изображений (от нескольких метров до десятков). Для рекогносцировочного изучения береговых зон крупных и средних водохранилищ, по-видимому, с успехом могут быть применены увеличенные до масштаба 1 : 10^7 (и крупнее) космические снимки. Например, дешифрирование мелкомасштабных черно-белых (1 : 10^8) аэроснимков побережья Красноярского водохранилища позволило определить наиболее важные компоненты и основные типы развивающихся геодинамических процессов (линейная эрозия, оползни, эоловые процессы, основные направления и виды развития процессов переработки берегов, места аккумуляции материалов размыва берегов (Зубенко, 1976).

Исключительный интерес представляет дистанционная информация для оценки антропогенной деятельности в береговых зонах, которая становится фактором, требующим обязательного учета при решении вопросов рационального использования водохранилищ и их береговой полосы. Необходима точная фиксация сложившейся структуры землепользования и объектов антропогенного происхождения: населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных комплексов, системы транспорта, коммуникаций, мест добычи полезных ископаемых, строительных материалов, торфоразработок и т. д.

Индикация объектов антропогенного происхождения по космическим изображениям достаточно успешна, не говоря уже о применении аэроснимков.

Акватории водохранилищ. Целесообразность применения аэрокосмических методов для изучения акваторий площадью уже более нескольких десятков квадратных километров прежде всего определяется возможностью получения синхронной информации по пространству всего водного зеркала. Получение такой информации традиционными методами требует больших материальных затрат, а зачастую вообще невозможно.

Применение методов дистанционного зондирования акваторий внутренних водоемов развивается по следующим основным направлениям: морфология (морфометрия) водоемов, гидрологический режим, определение некоторых физико-химических

параметров, гидробиологических характеристик и, наконец, загрязнения отдельных участков в результате сбросов сточных и подогретых вод.

Особенности морфологии и морфометрии водоема наиболее четко отображаются на многозональных космических снимках и снимках в красной и ближней ИК областях спектра (0,7—1,1 мкм), об этом говорится во многих публикациях. К ним относятся форма и площадь акваторий, длина и степень изрезанности береговой линии, наличие островов, крупных аккумулятивных образований (бары, отмели, косы, распределение глубин).

Методы дистанционного определения глубин могут быть основаны на различных подходах: корреляция плотности тона многозональных изображений с глубиной; измерение параметров ветровых волн (скорость, период и длина) в зависимости от глубины участка, а также прямых лазерных измерений, где лазер служит своеобразным эхолотом.

Имеется ряд публикаций (в основном по морским акваториям), в которых приводятся результаты дистанционных батиметрических определений, например в интервалах глубин 1—2, 2—5, 5—10, более 18; 4—6, 7—9, 10—13 м и др. (Symposium..., 1973; Proceeding..., 1975).

Ответ на вопрос о дистанционном определении глубин во внутренних водоемах, в том числе и в водохранилищах, с нашей точки зрения, не однозначный, и успешность подобных определений во многом зависит от величин прозрачности, цветности воды и типа донных отложений исследуемого конкретного водоема.

Из особенностей гидрологического режима следует прежде всего отметить возможность оценки особенностей уровенного режима, которые непосредственно отображены на космических снимках, через измерение площадей и конфигурации водного зеркала. Эти данные интересны для контроля заполнения и сработки каскадов водохранилищ на крупных реках.

Космическая информация весьма полезна и для оценки ледового режима акваторий: замерзание и вскрытие водоемов, картирование ледового покрова и определение его некоторых характеристик (трещиноватость, торосистость, наличие на его поверхности снега). Причем с успехом могут быть использованы для крупных водохранилищ (типа Рыбинского) ТВ-изображения, полученные с метеоспутников серии «Метеор» (Григорьев, 1975; Куприянов, Прокалова, 1976).

Активно разрабатываются радиофизические методы (пассивная и активная СВЧ) регистрации толщины и теплофизических свойств льда.

По косвенным дешифровочным признакам — расположению мутных и различно окрашенных потоков вод — могут быть установлены особенности циркуляции водных масс в водохранилищах.

Большой интерес представляет возможность дистанционного определения ряда физико-химических показателей, к которым относятся температура, мутность, цвет и прозрачность воды.

Определение температуры воды в ее поверхностном слое производится с помощью радиометров, измеряющих интенсивность теплового излучения подстилающей поверхности в так называемых окнах прозрачности атмосферы в ИК диапазоне спектра (обычно 8—12 мкм). Разрабатываются также методы микроволновой радиометрии, на основе которых регистрируются радиояркостные температуры подстилающей поверхности. Результаты радиометрических измерений могут быть представлены в виде радио- и ИК тепловых изображений, неоднородность плотности фототона которых соответствует участкам с различной температурой воды в поверхностном слое. Точность определения температуры воды в поверхностном слое со спутников (обычно метеорологических) по измерениям в ИК диапазоне (8—12 мкм) и радиофизическими методами измеряется по разным данным в пределах нескольких градусов, но пока не точнее 1° (Федоров, Скляров, 1975). Для крупных водохранилищ эти данные могут практически применяться в сезоны сильных температурных контрастов (весной и осенью) для расчетов теплозапасов, процессов замерзания водохранилищ, определения вероятных сроков и участков нереста рыбы, распространения в водоемах тепловых сбросов ТЭЦ и АЭС. Точность определения температуры с самолетов, в общем, на порядок выше и по разным данным составляет 0,1—0,5° С. Применяемые для экологических исследований) термосканеры обладают чувствительностью в сотые доли градуса (Джонсон, 1975).

Для определения мутности воды обычно используется плотность тона отдельных многозональных фотоизображений и их сопоставление. Так, в результате дешифрирования 30 космических снимков ЭРТС водохранилища Тила Крик (США, Канзас) проведено районирование акватории водохранилища по мутности вод и выделено шесть участков в диапазоне от 10 до 235 г/м³ (McCauley et al., 1973).

Для определения цветовых характеристик и прозрачности воды применяются обычно многозональные, цветные (в естественных цветах и синтезированные) снимки, однако иногда оказывается необходимость специальной их обработки. Комплексное применение приборов регистрации плотности тона изображения, обработки данных на ЭВМ и выдачи результатов в виде цветокодированных изображений позволяет для участка оз. Мичиган площадью 35 км² получить девять цветовых градаций, которые коррелируют с результатами наземных измерений цвета (по шкале цветов) и прозрачности (по диску Секки) (Wezernak, Polcyn, 1973).

Из гидробиологических параметров и характеристик водохранилищ, которые представляют наибольший интерес для их

дистанционного определения, в первую очередь следует отметить содержание планктона и степень зарастаемости акваторий высшей водной растительностью, которые служат не только показателями продуктивности водных экосистем, но и прямыми индикаторами процесса антропогенного евтрофирования водоемов.

В общем случае для установления в воде концентрации планктона, конечно, недостаточно одних только аэрокосмических изображений. Только в некоторых случаях, при вспышках развития некоторых специфических видов водорослей типа «цветения», дистанционная индикация достаточно наглядная и простая процедура.

Активно разрабатываются также методы дистанционных измерений концентраций хлорофилла, содержание которого обычно коррелирует с биомассой водорослей. Перспективным направлением подобных разработок считается применение методов спектрометрии и дифференциальной радиометрии.

Дешифрирование космических изображений, особенно цветных, спектрозональных и ИК цветных, позволяет определять степень зарастаемости водоемов, а в некоторых случаях при предельно высокой разрешающей способности снимков определять основные классы водной растительности: воздушно-водной, плавающей, погруженной. Достаточно надежное определение видового состава, картирование ареалов распространения и ориентировочная оценка биомассы, по-видимому, возможны пока только на основе применения крупномасштабных аэросъемок в сочетании с натурными исследованиями водоемов.

Важное практическое применение может найти также дистанционная информация при индикации антропогенных загрязнений (зон загрязнения, распространение по акватории и в некоторых случаях для определения концентраций загрязнителей). Дистанционная индикация загрязнений развивается в направлении использования средств и методов многозональной фотосъемки, спектроскопии, радиометрии и лазерного зондирования в диапазоне спектра от ультрафиолетового до сантиметрового.

Проводятся эксперименты по дистанционному определению (с самолетов и со спутников) содержания взвешенных веществ, распределения водной растительности и планктона, концентраций хлорофилла, нефтяных пленок, окислов железа, сернистых кислот, ртути, ДДТ, соединений свинца и т. д. (Кондратьев и др., 1972; Муслалев, Старцева, 1975).

Ознакомление с литературой и аэрокосмическими снимками водохранилищ, опыт их дешифрирования позволяют сделать следующие выводы.

1. Применение дистанционных методов для изучения водохранилищ позволяет получить комплексные материалы и данные наблюдений по многим аспектам изучения и хозяйственного использования искусственных водоемов.

2. Научно-практическая значимость результатов использования дистанционных методов для изучения водохранилищ во многом определяется необходимостью комплексного применения технических средств и методов дистанционного зондирования; проведения космических и аэронаблюдений в широком диапазоне электромагнитного спектра; составом работ по наземному обеспечению дистанционных наблюдений; методами обработки аэрокосмической информации.

3. Успешность применения методов дистанционного зондирования к изучению водохранилищ (характер и объем сведений, степень их комплексности, возможности количественного определения тех или иных параметров и характеристик водохранилищ) в определенной степени зависит и от природных условий районов расположения водохранилищ, и от физико-химических свойств их водных масс (в первую очередь цвет, оптическая плотность, мутность и прозрачность).

4. Для более детальных исследований крупных и средних водохранилищ с получением количественных результатов необходимо использование трансформированных и увеличенных до масштабов $1:2\cdot10^5$—$1:5\cdot10^5$ космических многозональных снимков, а также цветных синтезированных изображений.

5. Оценка состояния и режимных особенностей водохранилищ с площадью менее нескольких десятков квадратных километров на основе анализа только космических снимков затруднительна из-за высокой степени генерализации космических изображений (за исключением «кадастровых» применений).

Отметим наиболее важные, с нашей точки зрения, задачи, возникающие в области применения дистанционных методов для изучения и контроля водохранилищ.

1. Разработка теории «поведения» электромагнитного излучения в естественных (природных) водных средах (проникновение, отражение, рассеивание, флуоресценция) в диапазоне длин от ультрафиолетового до сантиметрового.

2. Разработка оптимальной процедуры дистанционных наблюдений водохранилищ (повторяемость и сроки наблюдений, состояние космических, авиационных и наземных наблюдений, системы дистанционных датчиков).

3. Определение наиболее информативных для дистанционной индикации параметров и характеристик водохранилищ с учетом их расположения в той или иной географической зоне, природных особенностей, основных параметров и характеристик, целевого назначения и режима эксплуатации.

4. Выбор водохранилищ-аналогов для отработки методик дистанционных исследований.

5. Исследование пространственной и временной изменчивости спектральных характеристик акваторий водохранилищ в зависимости от их гидрологического, физико-химического и биотического режимов.

6. Разработка методики обработки дистанционной информации и рекомендаций по использованию результатов в решении оперативных, прикладных и научных задач, возникающих в связи с проблемой повышения эффективности хозяйственного использования водохранилищ.

Необходимо также подчеркнуть, что получение на основе использования дистанционной информации сведений качественного характера (по комплексам по содержанию) позволит, по-видимому, сделать важные выводы о тенденциях функционирования и развития водохранилищ как географических и хозяйственных объектов, сформулировать предварительные исследовательские гипотезы и более целенаправленно организовать наземные стационарные и экспедиционные исследования (объемы работ, их состав и районы проведения).

Показатели водохранилищ мира полным объемом 5 км³ и более и площадью водного зеркала 250 км² и более *

№ водохранилища	Название водохранилища	Страна	Реки, озеро	Годы заполнения водохранилищ *	Подпор (высота плотины), м **	Объем водохранилищ, км³		Площадь зеркала, км²		Длина водохранилища, км	Виды использования
						полный ***	полезный ***	всего	в т. ч. озер ***		
1	Абу Дхабис (Рогатая)	Ирак	Наливное из р. Евфрат	1970	45	20,00	Нет данных	1610	310	90	ГЭ
2	Агуа Вермейха	Бразилия	Риу-Гранди	Стр.	85	14,00	»	645	—	130	Э
3	Акараи	Парагвай	Игуасу	»	25	1,40	»	Нет данных	—	Нет данных	Э
4	Альхантара	Испания	Тахо	1969	80	3,14	2,20	104	—	70	ЭИСВ
5	Амистад	США, Мексика	Рио-Гранде	1968	87	7,00	4,40	341	—	Нет данных	ИЭИС
6	Ангостура	Мексика	Грихальва	1974	140	9,20	Нет данных	Нет данных	—	»	ЭИ
7	Арроу	Канада	Колумбия	1968—1969	50	8,75	»	516	380	230	ЭН
8	Асад (Табка)	Сирия	Евфрат	1973—1975	60	11,00	7,80	630	—	80	ИЭ
9	Байкальское (Иркутское)	СССР	Ангара, оз. Байкал	1956—1959	30	47,65	46,65	32 866	31 500	700	ЭСЛВРО
10	Байяно	Панама	Байяно	1975	60	4,00	1,15	776	—	70	Э
11	Бан Чао Нгао	Таиланд	Квай (Меклонг)	1977—1979	135	17,75	7,47	420	—	Нет данных	ЭИП
12	Бекме	Ирак	Большой Заб	Стр.	170	9,30	Нет данных	Нет данных	—	35	ИАЭ
13	Бенмор	Новая Зеландия	Уаитаки	1963—1966	100	2,48	2,00	78	—	30	Э
14	Бхас	Индия	Бхас	1974	125	8,44	6,80	262	—	42	ИЭ
15	Бир-Кейбис 12	США	Рек Крик	1967	21	7,05	Нет данных	Нет данных	—	Нет данных	А
16	Бир-Кейбис 37	США	Миссури	1967	20	6,56	2,30	244	—	»	АО
17	Бин-Эль-Уидан	Марокко	Эль Абид	1953	125	1,50	Нет данных	Нет данных	—	»	ИЭ
18	Бир-Лейк	США	Бир-Ривер	1914	Нет данных	1,75	»	348	348	»	ИЭЛ
19	Боа Эсперанса	Бразилия	Парнаиба	1988—1989	50	4,50	»	400	—	»	ЭАСИ
20	Боуман	США	Наливное	1968	44	5,00	»	Нет данных	Нет данных	»	И
21	Богучанское	СССР	Ангара	Стр.	70	58,20	2,31	2326	—	375	ЭСЛВР
22	Бокс-Элдер-Крик	США	Бокс-Элдер	1964	17	5,68	Нет данных	Нет данных	—	Нет данных	АО
23	Братское	СССР	Ангара	1961—1967	100	169,30	48,20	5470	—	565	ЭСЛВРО
24	Брокопондо	Суринам	Суринам	1964—1971	42	13,40	Нет данных	1560	—	70	Э
25	Булл-Шолс	США	Уайт-Ривер	1951	75	6,86	0,65	285	Нет данных	Нет данных	ИЭА
26	Буреинское	СССР	Бурея	Стр.	124	22,50	14,50	600	—	150	ЭН
27	Бухтарминское	СССР	Иртыш	1960—1967	67	49,82	30,84	5490	1783	340	ЭРСВНО
28	Бхумипол	Таиланд	Пинг	1964	150	13,45	Нет данных	718	—	125	ЭИ
29	Бэй-Д'Эспуэр	Канада	Саглюи	1966	40	2,62	2,03	2000	500	Нет данных	Э
30	Бэрелл	США	Хайте-Крик	1957	Нет данных	0,72	0,07	425	—	80	НСО
31	Вааль	ЮАР	Вааль	1934—1938	50	2,90	2,40	300	—	80	ЭИВ

Приложение (продолжение)

№ водохранилища	Название водохранилища	Страна	Реки, озеро	Годы заполнения водохранилища *	Годовой приток, км³	Объем водохранилища, км³		Площадь зеркала, км²		Длина водохранилища, км	Виды использования
						полный	полезный	всего	в т. ч. озер		
32	Вада-Тартар	Ирак	Напрямую из Тигра	1958 1976	—	72,80	43,30	2030	—	100	НИ
33	Венерн	Швеция	Оз. Венерн	1923	Нет данных	7,20	7,20	5550	5300	140	ЭСЭО
34	Верхнетуломское	СССР	Тулома	1961 1984	68	11,52	3,86	745	79	120	ЭЛР
35	Верхний Рок-Крик	США	Рок-Крик	1867	20	5,81	Нет данных	Нет данных	—	23	А
36	Вилюйское	СССР	Вилюй	1965 1972	68	35,86	17,35	2170		456	ЭВС
37	Виктория (Оуэн-Фолс)	Уганда, Танзания, Кения	Виктория—Нил, оз. Виктория	1954	31	204,50	204,80	76000	68000	720	ЭРИ
38	Виннипег	Канада	Нельсон, оз. Виннипег	Стр.	Нет данных	29,75	29,75	24510	24300	Нет данных	ЭИН
39	Водлозерское	СССР	Водла, оз. Водлозеро	1934	4	0,80	0,55	372	322	54	ЛР
40	Волгоградское	СССР	Волга	1958—1960	27	31,45	8,25	3117	—	540	ЭСПРВО
41	Вольта (Акосомбо)	Гана	Вольта	1964—1967	70	148,00	90,00	8482	—	400	ЭСПРН
42	Вуоксинское	СССР	Вуокса	1961—1964	58	8,38	3,70	1120	—	360	ЭСЛВРО
43	Выгозерское	СССР	Нижний Выг	1933—1939	9	6,44	1,14	1250	347	87	АР
44	Гандисагар	Индия	Чамбал	1960	60	8,45	6,92	650	—	70	ИЭ
45	Гантерсвилл	США	Теннесси	1939	20	1,26	0,20	283	—	125	СПЭЛ
46	Гаррисон	США	Миссури	1954	60	30,55	24,59	1590	—	320	НИЭЗА
47	Гатун	Панама	Чагрес (Панамский канал)	1912	35	5,45	Нет данных	425	Нет данных	60	СЭ
48	Гебель Ауляк	Судан	Белый Нил	1937	12	3,25	3,20	586	—	Нет данных	ИЭ

49	Гобиндсагар (Бхакра)	Индия	Сатледж	1963—1967	250	9,87	7,44	170	—	85	ИЭПСО
50	Гове	Ангола	Кунене	1973	50	2,57	Нет данных	Нет данных	—	Нет данных	ИЭ
51	Гордон	Австралия	Гордон	1974 —1975	180	21,80	»	272	—	35	Э
52	Гордон М. Хрум (Портидж-Маунтин, Бенинт)	Канада	Пис-Ривер	1966	105	70,10	37,00	1680	—	280	ЭНС
53	Горьковское	СССР	Волга	1955—1957	17	8,82	2,78	1591	—	430	ЭСЛВРО
54	Гренада	США	Ялобуша	1954	30	1,05	1,54	258	—	Нет данных	НА
55	Гранд Рапидс	Канада	Саскачеван	1965	60	11,10	Нет данных	3484	1972	»	Э
56	Гури (Эль-Мачо) *	Венесуэла	Карони	1968	130	135,00	53,00	1300	—	70	Э
57	Гуэн (Ла-Лутр)	Канада	Сен-Морис	1917	27	8,37	Нет данных	1290	Нет данных	Нет данных	Э
58	Даньсаньсяу	Китай	Хан-Ян	1974	90	20,00	»	Нет данных	—	»	ЭН
59	Даньель-Джонсон (Маникуаган 5)	Канада	Р. и оз. Маникуаган, оз. Мушалаган	1959—1974	154	141,55	85,00	1950	285	Нет данных	ЭСП
60	Долькомизон	Заир	Луалаба	1953—1954	86	1,70	1,68	297		Нет данных	Э
61	Джателухур	Индонезия	Читарум	1965—1967	90	3,00	Нет данных	Нет данных	—	»	ИЭАПО
62	Джердап	Румыния, Югославия	Дунай	1960—1971	84	5,60	3,00	500	—	230	ЭСНО
63	Джон Кэрр	США	Роанок	1952	40	3,16	2,83	382	Нет данных	Нет данных	НСЭА
64	Днепродзержинское	СССР	Днепр	1960—1965	15	2,45	0,27	567	—	144	ЭСВИО
65	Дукан	Ирак	Малый Заб	1959—1961	100	6,80	6,10	270	Нет данных	25	ИЭ
66	Дэлори	Канада	Канаиапско	Стр.	Нет данных	6,38	6,00	1295	»	100	Э
67	Жупия	Бразилия	Парана	1968	60	3,68	Нет данных	252	—	65	ЭС

Продолжение

№ водохранилища	Название водохранилища	Страна	Река, озеро	Годы заполнения водохранилищ *	Подпор (высота плотины), м**	Объем водохранилища, км³		Площадь зеркала, км²		Длина водохранилища, км	Виды использования
						полный**	полезный**	всего	в т. ч. сезонного**		
68	Журумирим	Бразилия	Параканавема	1962	30	6,52	Нет данных	1430	—	—	Э
69	Запорожское (Днепровское)	СССР	Днепр	1932—1933	38	3,38	0,24	410	—	129	ЭСВО
70	Зейское	СССР	Зея	1974	98	68,42	32,12	2419	—	225	НЭСПР
71	Ильинковское	СССР	Волга	1937	14	1,12	0,09	327	—	120	ВСЭРО
72	Изворул-Мунтелуй (Бистрица)	Румыния	Бистрица	1960—1961	98	1,22	0,93	33	—	30	ГЭИВС
73	Ильменское (Волховское)	СССР	Волхов, оз. Ильмень	1926—1929	13	10,20	13,14	2150	600	93	ЭСРВО
74	Илья Солтейра	Бразилия	Параиба	1973—1974	85	21,20	10,80	1331	—	150	ЭС
75	Имандровское	СССР	Нива	1938	13	11,30	2,32	876	812	120	ЭОЛВ
76	Инари	Финляндия	Паатсоёки	1942	8	4,85	2,45	1102	1078	105	Э
77	Инферальо	Мексика	Бальсас	1964—1966	140	9,34	0,70	400	—	130	ЭИН
78	Иовское	СССР	Иова (Кенда)	1960—1961	30	2,08	0,55	281	96	38	ЭЛ
79	Ириклинское	СССР	Урал	1955—1958	35	5,28	2,50	280	—	73	ПЭВИР
80	Иссельмер	Нидерланды	Зал. Зюдерзее	1932	—	6,00	Нет данных	1500	1500	100	П
81	Истокпи-Оникаха	Канада	Истокпи	Стр.	Нет данных	3,54	3,54	Нет данных	Нет данных	250	Э
82	Итаипу	Бразилия, Парагвай	Парана	»	185	20,30	1,80	1400	—	200	Э
83	Итумбиара	Бразилия	Парнаиба	»	95	17,09	Нет данных	Нет данных	—	Нет данных	Э
84	Кабора Басса	Мозамбик	Замбези	1977	65	60,00	51,50	2700	—	270	ЭИСР
85	Кажаки	Афганистан	Гильменд	1953	80	2,68	Нет данных	Нет данных	—	75	ПЭ
86	Каинджи	Нигерия	Нигер	1967—1968	80	15,10	11,50	1270	—	137	ЭИСР
87	Кайаккагер Блаф	США	Осейдж	Стр.	35	0,42	Нет данных	Нет данных	—	Нет данных	ЭАО
88	Кайраккумское	СССР	Сырдарья	1956—1958	24	4,16	2,80	313	—	35	ИЭВО
89	Кальтимо	Финляндия	Пиелисйоки	1957	17	2,00	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	ЭС
90	Кауберленд	США	Кауберленд	1950	85	7,53	5,23	254	—	160	НЭ
91	Камское (Пермское)	СССР	Кама	1954—1956	21	12,20	9,20	1915	—	272	ЭСЛВРО
92	Каневское	СССР	Днепр	1972—1973	11	2,82	0,30	675	—	13	ЭСВО
93	Каниапискау	Канада	Каниапискау	Стр.	23	21,22	17,04	2124	2300	300	Э
94	Каливара	Бразилия	Параваканема	»	53	10,39	Нет данных	500	—	Нет данных	Э
95	Капчагайское	СССР	Или	1970	41	28,14	8,84	1847	—	170	ЭИСРО
96	Каракайя	Турция	Евфрат	Стр.	170	9,53	5,83	300	—	400	ЭИ
97	Кариба (Эдуардбет)	Замбия, Южная Родезия	Замбези	1955—1963	130	183,30	46,03	4450	—	300	ЭСИРН
98	Карнафули	Бангладеш	Карнафули	1962	45	5,36	Нет данных	650		85	ЭА
99	Каштелу ду Бори	Португалия	Лезири	1956	100	1,10	0,88	30	—	Нет данных	Э
100	Каховское	СССР	Днепр	1955—1958	16	18,20	6,80	2155	—	51	ПЭСРВО
101	Кебан	Турция	Евфрат	1970	190	31,00	16,30	750	—	155	ИЭ
102	Кентукки	США	Теннесси	1944	23	7,40	4,94	632	-	217	НЭС
103	Киевское	СССР	Днепр	1964—1966	11	3,73	1,17	922	—	110	ЭВОСР
104	Кале	Южная Родезия	Мтилики	1960	60	1,38	Нет данных	81	—	Нет данных	И
105	Кларк-Хилл	США	Саванна	1952	30	3,57	2,13	314	—	»	ИЭ
106	Клаклит	США	Клаклит	1938	5	1,08	0,72	360	340	120	АЭ
107	Кондопожское (Кижегубское)	СССР	Кереть, оз. Кедозеро	1955—1957	20	3,44	1,03	610	294	80	ЭПР
108	Кэдл	Эфиопия	Авата	1968	40	1,00	1,35	350	—	25	ПЭ
109	Колымское	СССР	Колыма	Стр.	117	14,50	6,54	441	—	148	Э
110	Кэду	Берег Слоновой Кости	Бандама	1972—1973	50	29,50	25,90	1500	—	150	ЭИР
111	Краснокамское	СССР	Тюм	Стр.	46	11,80	6,70	670	—	158	ВЭАПО

Приложение (продолжение)

№ водохранилища	Название водохранилища	Страна	Река, озеро	Годы заполнения водохранилища *	Подпор (высота плотины), м**	Объем водохранилища, км³		Площадь зеркала, км²		Длина водохранилища, км	Виды использования
						полный**	полезный**	всего	в т. ч. озер**		
112	Краснодарское	СССР	Кубань	1973—1975	25	2,35	2,15	420	46	Нет данных	ПНСВРО
113	Красноярское	СССР	Енисей	1967	100	73,30	30,40	2000	—	388	ЭСОЗНРО
114	Кремаста	Греция	Ахелой	1966	140	4,50	3,30	50	—	30	ЭИ
115	Кременчугское	СССР	Днепр	1959—1961	17	13,52	8,07	2252	—	150	ЭСПИРО
116	Кубенское	СССР	Сухона	1825—1917	3	1,72	1,35	643	378	80	СЗР
117	Куйбышевское	СССР	Волга	1955—1957	29	58,00	34,60	6450	—	650	ЭСВИРО
118	Курейское	СССР	Курейка	Стр.	72	13,40	10,10	747	50	100	Э
119	Кумское	СССР	Кума-Манда	1962—1966	33	13,35	8,85	1810	1809	Нет данных	ЭЛРВ
120	Лаго-Лаха	Чили	Лаха	1860	0	4,05	Нет данных	Нет данных	Нет данных		Э
121	Ла-Гранд-2	Канада	Ла-Гранд	Стр.	130	90,70	28,84	9085	»	120	Э
122	Ла-Гранд-3	Канада	Ла-Гранд		75	58,30	10,52	2480	»	220	Э
123	Ла-Гранд-4	Канада	Ла-Гранд		118	20,85	6,16	804	»	80	Э
124	Лак Кассе (Берениис)	Канада	Берениис	1955	60	12,68	Нет данных	702	378	Нет данных	Э
125	Лабби	США	Кусеней	1973	20	0,12		75	56	60	ЭА
126	Лесное	США, Канада	Р. Виннипег, оз. Лесное	1905	Нет данных	7,61	7,01	3803	3803	Нет данных	НЭА
127	Лич-Лейк	США	Лич-Лейк	1902	»	(0,85)	0,85	945	456	»	ЭА
128	Лоухское (Серебрянское)	СССР	Воронья	1960—1972	85	3,00	1,07	350	234	157	Э
129	Локка	Финляндия	Луйнеоки	1967—1970	18	2,09	Нет данных	447	—	18	Э
130	Луфира (Мадингуту)	Заир	Луфира	1930—1943	10	1,29	1,26	441	—	Нет данных	Э
131	Лэнгвея	Китай	Хуанхэ	1968	140	5,70	4,40	130	—	Нет данных	ЭИ
132	Манантали	Мали	Бафинг	Стр.	55	13,10	11,60	500	Нет данных	»	ЭИ
133	Мангла	Пакистан	Джелам	1967	116	7,25	6,58	390	—	75	ЭИ
134	Маникуаган-3	Канада	Маникуаган	1975	130	19,42	Нет данных	207	—	Нет данных	Э
135	Марион	США	Сантэ	1941	13	1,79	1,06	460	Нет данных	»	Э
136	Маримбондо	Бразилия	Риу-Гранди	1976	80	6,15	Нет данных	438	—	»	Э
137	Мбакау	Камерун	Джерем (Сенага)	1971—1974	25	2,00	2,00	250	—	35	ЭИ
138	Мигель Алеман	Мексика	(Рио) Тонто	1955	74	6,52	0,80	560	—	55	ЭНИС
139	Мид (Гувер)	США	Колорадо	1935—1938	170	36,75	33,32	651	—	184	ПИВСЭ
140	Мика	Канада	Колумбия	1973—1978	235	24,67	14,80	445	424	225	ЭЛ
141	Миль-Лак	США	Рэм-Ривер	1939	9	4,88	0,37	531	520	»	Л
142	Мингечаурское	СССР	Кура	1953—1959	93	16,07	7,40	605	—	70	ИЭНСРВО
143	Мируша	Югославия	Требишница	1967	105	1,28	1,10	Нет данных	Нет данных	Нет данных	ЭИВ
144	Мисси	Канада	Черчилл, оз. Саутерн-Индиан-Лейк	1975	16	10,34	Нет данных	2745	Нет данных	»	Э
145	Мохамед Реза Шах Пехлеви	Иран	Дез	1962—1963	140	3,35	2,60	63	—	65	ИЭП
146	Моултри	США	Санта	1941	35	1,49	0,94	260	Нет данных	Нет данных	ТЭ
147	Мускайд	США	Кеннебек	1940	Нет данных	0,67	0,67	297	297	»	ЛЭ
148	Нагарджунасагар	Индия	Кришна	1969	120	11,55	9,00	286	—	40	ЭНИ
149	Камакалеа	США	Рейни	1914	2,6	0,71	0,71	360	114	Нет данных	ВЭА
150	Нам-Нгум	Лаос	Нам-Нгум	1970—1971	70	7,37	4,70	370	—	»	ЭИ
151	Нам-Понг (Убольратана)	Таиланд	Нам-Понг	1965	35	2,56	Нет данных	410	Нет данных	60	ЭП
152	Насер (Саад Эль-Аали, Асуан)	Египет, Судан	Нил	1970	95	137,00	74,00	5120	»	500	ИЭНСР

Продолжение (продолжение)

№ водохранилища	Название водохранилища	Страна	Река, озеро	Годы заполнения водохранилища	Подпор (высота плотины), м	Объем водохранилища, км³		Площадь зеркала, км²		Длина водохранилища, км	Виды использования
						полный	полезный	всего	в т. ч. суши		
153	Кендзулькойтиль (Мальпасо)	Мексика	Грихальва	1966—1968	130	6,20	235	300	—	80	ЭЗИС
154	Нечако	Канада	Нечако	1952	109	32,20	Нет данных	800	453	Нет данных	Э
155	Нотика	Канада	Рек	Стр.	35	4,15	»	408	—	Тоже	Э
156	Нижнекамское	СССР	Кама	Стр.	15	12,10	4,35	2550	—	270	ЭСЛПВО
157	Нипигон	Канада	Нипигон	1950	25	12,33	12,33	4582	Нет данных	40	Э
158	Новосибирское	СССР	Обь	1957—1959	20	8,80	4,40	1070	—	203	ЭСРВО
159	Нурекское	СССР	Вахш	1972	300	10,50	4,50	98	—	70	ЭСОИ
160	Нъюбега-Мунгу	Танзания	Пангани	1968—1968	40	1,15	Нет данных	130	—	Нет данных	ИЭ
161	Оахе	США	Миссури	1963	75	29,11	28,11	1504	—	400	ЭНСО
162	Оконоби	США	Рок-Ривер	1938	3	5,17	1,60	1850	—	—	УПТ
163	Онежское (Верхнесвирское)	СССР	Свирь	1951—1952	17	13,76	13,06	9650	9230	83	ЭСРЛО
164	Онтарио (Ирокуэй)	Канада, США	Св. Лаврентия, оз Онтарио	1959	23	25,00	20,96	19534	19500	310	ЭСА
165	Орд	Австралия	Орд	1969—1972	30	5,72	5,60	720	—	80	ИЭ
166	Оровилл	США	Фезер	1968	236	4,31	6,34	62	Нет данных	Нет данных	НИВЭ
167	Орос	Бразилия	Жагуарибе	1962	50	5,00	2,10	400	»	»	Э
168	Пангабаган	Филиппины	Пулангп	1974	130	2,30	Нет данных	100	»	»	ИЭО
169	Пасс Дансереа	Канада	Перибонка	1953	40	5,18	»	160	»	»	Э
170	Пенд Орей	США	Пенд Орей	1952	40	1,92	1,42	378	378	»	ЭКИА

171	Порси	Швеция	Лулеэльв	1961	35	3,20	3,20	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Э
172	Порттипахта	Финляндия	Ритниэн	1970	35	1,50	1,35	300	»	»	Э
173	Поэтое	Перу	Чира	Стр.	45	1,20	Нет данных	Нет данных	—	»	И
174	Поуэлл (Глен-Каньон)	США	Колорадо	1963—1964	200	33,35	25,72	646	—	300	НИЭА
175	Прадо	Колумбия	Прадо	1971	85	1,40	0,45	30	—	Нет данных	ИЭ
176	Прек-Тот	Камбоджа	Прек-Тот	1974	28	1,12	Нет данных	Нет данных	—	30	ИЭА
177	Пролетарское	СССР	Мышь	1941	4	2,03	0,76	795	344	130	СЭРИ
178	Промиссао	Бразилия	Тиете	1976	53	7,40	2,20	1100	—	Нет данных	ЭСИ
179	Пукаки	Новая Зеландия	Пукаки	Стр.	43	5,80	Нет данных	150	130	60	Э
180	Реза Шах Кабир	Иран	Карун	1973	130	2,90	»	Нет данных	—	Нет данных	ИЭ
181	Рейзер	Канада	Черчилл, оз Рейзер	1937—1942	2	17,86	»	5370	5050	232	ЭА
182	Рейни-Лейк	США	Рейни-Лейк	1909	1	0,91	0,91	884	884	Нет данных	СЭА
183	Ринкон дель Бонете (Рио-Негро)	Уругвай	Рио-Негро	1946	30	6,65	Нет данных	1140	Нет данных	140	Э
184	Рио-Ондо	Аргентина	Дульсе	Стр.	30	2,01	1,18	320	»	Нет данных	ИЭНО
185	Ричарденус	США	Пенобскот	1917	20	1,20	1,20	172	»	»	ЛЭ
186	Ричард	Индия	Ричард	1962	90	10,62	Нет данных	406	—	62	ИЭ
187	Рогунское	СССР	Вахш	1972	335	11,85	9,00	180	—	65	ЭЛН
188	Розейрес	Судан	Голубой Нил	1966	57	3,00	2,00	200	—	35	ИЭ
189	Рыбинское	СССР	Волга	1940—1949	18	25,42	16,67	4550	—	360	ЭСЛПРО
190	Рэд-Лейк	США	Рэд-Лейк	1931	3,5	4,00	2,35	1153	1150	Нет данных	НВА
191	Сайма	Финляндия	Вуоксе	1925	Нет данных	7,40	7,20	1900	1800	»	ЭЛ
192	Сальто-Гранде	Аргентина	Уругвай	Стр.	45	5,00	Нет данных	570	—	145	ЭНО
193	Саньминься	Китай	Хуанхэ	1960—1962	90	35,40	»	2350	—	Нет данных	ЭНИС

Приложение (продолжение)

№ водохранилища	Название водохранилища	Страна	Река, створ	Год заполнения водохранилища *	Параметр (высота плотины), м**	Объем водохранилища, км³		Площадь зеркала, км²		Длина водохранилища, км	Вид использования
						полный	полезный	всего	в т. ч. суша		
194	Сан Симао	Бразилия	Параибуна	Стр.	110	12,54	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Э
196	Саратовское	СССР	Волга	1967—1969	15	12,37	1,75	1931	—	353	ЭСПВО
196	Сасо	Куба	Сасо	1972	35	1,02	0,95	Нет данных	—	Нет данных	И
197	Сассьяуре	Швеция	Стуре-Лудеялв	1958	27	Нет данных	1,24	»	Нет данных	»	Э
198	Саут Саскачеван	Канада	Саут-Саскачеван	1960—1968	55	9,56	2,40	447	—	230	ЭПА
199	Сапинское	СССР	Енисей	Стр.	220	20,13	14,07	643	—	200	ЭИСЛПО
200	Сегозеровское	СССР	Сегеча	1407	5	4,70	4,00	815	753	48	ЭЛС
201	Себаскорпи	Финляндия	Кеми-Иоки	1967	20	1,30	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Э
202	Селнете	Мали	Сансарани	Стр.	Нет данных	2,00	»	450	—	»	ЭИС
203	Сент Ани	Канада	Тулнусук	1958	35	3,30	»	251	147	»	ЭА
204	Сент Джон (Ив-Мадлин)	Канада	Сагеней	1926	30	5,37	5,30	Нет данных	1372	»	Э
205	Серрон-Гранде	Сальвадор	Лемпа	Стр.	75	1,43	1,43	135	—	35	Э
206	Серрос-Колорадос	Аргентина	Неукен	1969—1971	40	43,40	5,00	607	Нет данных	55	ЭИ
207	Серр-Понсон	Франция	Дюранс	1960	130	1,27	1,05	28	—	»	Э
208	Сиваньяк	Китай	Сиваньхэ	1960	100	21,62	8,80	580	—	»	ЭА
209	Синефыньян	Китай	Синефыньхэ	1958	130	13,90	3,90	800		»	ЭА
210	Сирикит	Таиланд	Мае Нан	1972	100	10,50	9,80	359	—	130	ЭИА
211	Собрадинью	Бразилия	Сан-Франсиску	Стр.	40	34,20	Нет данных	4200	—	Нет данных	СЭВ
212	Сонгчон	Южная Корея	Хан	1973	115	2,00	»	»	—	»	ИЭАВ
213	Стоктон Уэст	США	Стоктон Уэст	1874	12	8,27	Нет данных	Нет данных	—	Нет данных	А
214	Суапити	Гвинея	Суапити	Стр.	125	17,20	3,80	800	—	»	Э
215	Суорва	Швеция	Стуре-Лудеялв	1928—1944	60	5,60	2,80	Нет данных	Нет данных	»	Э
216	Сунхун	КНДР, Китай	Ялуцзян	1940	90	12,00	7,50	230	—	120	Э
217	Сэм Рейберн	США	Анджелина	1951	65	5,52	4,93	455	Нет данных	Нет данных	ЭАП
218	Тахоэ	США	Траки	1974	2	(0,02)	0,02	490	480	9	ТН
219	Тара-Морача	Югославия	Тара	1964	115	1,50	1,22	130	Нет данных	»	Э
220	Тарбела	Индия, Пакистан	Инд	1976	150	13,70	6,00	260	—	80	ЭНИ
221	Таук-Сок	США	Поссомский Блэк	1963	25	5,27	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Э
222	Техсома (Девисон)	США	Ред-Ривер	1943	25	8,81	5,45	576	»	»	ЭНВА
223	Темингор (Перак)	Малайзия	Перак	1977	115	5,70	1,40	100	—	80	Э
224	Текапоинт	США	Сальмон	1957	35	3,27	3,27	479	Нет данных	Нет данных	СНВ
225	Тейлор (сооружение 193)	США	Тейлор-Крик	1972	10	5,12	Нет данных	Нет данных	—	10	АСВ
226	Токтогульское	СССР	Нарын	1973	180	19,50	14,00	284	—	65	ЭИСА
227	Трес-Марияс	Бразилия	Сан-Франсиску	1960	70	19,18	18,00	1150	—	130	ЭАС
228	Тунг-Кейни	США	Кэрт Кейни	1965	20	18,03	Нет данных	Нет данных	—	Нет данных	А
229	Тунгабхадра	Индия	Тунгабхадра	1957	45	4,34	Нет данных	378	378	80	ЭИ
230	Тхак-Ба	Вьетнам	Тяй	1963	15	3,55	2,18	Нет данных	Нет данных	Нет данных	И
231	Тюя-Муюнское	СССР	Амударья	Стр.	13	7,34	5,00	780	—	72	НЭСР
232	Уилевако	США	Фокс	1948	Нет данных	0,72	0,72	808	537	Нет данных	ЭВ
233	Уиллер	США	Теннесси	1936	19	1,42	0,43	273	—	120	НВЭА
234	Уиннипесоки	США	Массачусетс	1884	3	0,80	0,80	408	282	Нет данных	НПА
235	Уккаи	Индия	Тапи	1975	65	8,51	7,00	518	—	110	ИЭРО
236	Усть-Илимское	СССР	Ангара	1974—1977	88	59,40	2,77	1873	—	300	ЭСЛРП

Приложение (окончание)

№ водохранилища	Название водохранилища	Страна	Река, город	Год заполнения водохранилища *	Подпор (высота плотины), м[а]	Объем чаши водохранилища, км³		Площадь зеркала, км²		Длина водохранилища, км	Виды использования
						полный	полезный	всего	в т. ч. озер[б]		
237	Уорд-4	Канада	Уорд	Стр.	120	2,42	Нет данных	654	Нет данных	Нет данных	Э
238	Флэтхед-Лейк	США	Флэтхед, оз. Флэтхед	1928	3	1,50	1,50	504	504	9	НИЭА
239	Форт-Пек	США	Миссури	1939	75	23,91	17,14	980	—	306	НИВЭК
240	Форт-Рэндалл	США	Миссури	1956	36	7,51	7,51	410	—	120	НИПЭК
241	Франклин Рузвельт (Гранд-Кули)	США	Колумбия	1941	105	11,79	6,45	318	—	245	ИЭ
242	Фуррас	Бразилия	Риу-Гранди	1962—1965	120	20,38	18,00	1350	—	220	ЭА
243	Футалеуфу	Аргентина	Футалеуфу	Стр.	120	8,50	2,20	93	Нет данных	9	Э
244	Фэнкань	Китай	Сунгари	1937—1955	90	10,90	5,60	550	—	170	ЭИА
245	Фалкон	США, Мексика	Рио-Гранде	1953	40	5,12	4,04	320	—	100	ЭИНС
246	Хаббания	Ирак	Падение из Евфрата	1957	13	3,29	2,63	420	—	30	ПИ
247	Хантайское	СССР	Хантайка, оз. Хантайское	1970—1975	53	28,52	17,30	1561	880	160	ЭР
248	Хендрик Фервурд	ЮАР	Оранжевая	1971	80	8,00	1,02	373	—	74	ИЭ
249	Хиракуд	Индия	Махананди	1956	60	5,14	5,70	725	—	20	ИЭА
250	Хирфанлы	Турция	Кызыл-Ирмак	1958—1959	75	5,96	2,05	320	—	75	ПЭН
251	Цимлянское	СССР	Дон	1952—1963	26	23,80	11,54	2702	—	280	СИЭРВК
252	Чардаринское	СССР	Сырдарья	1967—1968	24	5,70	4,70	900	—	70	ИНЭСР
253	Чебоксарское	СССР	Волга	Стр.	15	13,85	5,70	2169	—	330	ЭСЛРВО
254	Черчилл	Канада	Черчилл	1971	14	32,51	28,00	5888	2849	140	Э

255	Шаранго	Бразилия	Параналиба	1970	90	8,80	Нет данных	430	—	Нет данных	Э
256	Шаста	США	Сакраменто	1949	145	5,51	5,39	118	—	56	НИЭ
257	Шекснинское (Череповецкое)	СССР	Шексна, оз. Белое	1963—1964	15	6,54	1,95	1670	1130	48	СЭПРО
258	Шриселлам	Индия	Кришна	1973—1974	185	6,75	7,72	754	—	100	ИЭ
259	Эверглейдс (дока 1)	США	Эверглейдс	1954	Нет данных	Нет данных	0,36	566	Нет данных	—	ВНИ
260	Эверглейдс (дока 3а)	США	Эверглейдс	1963	6	0,33	0,47	202	6	Нет данных	НА
261	Эль-Чокон	Аргентина	Лимай	1973—1975	65	20,20	2,40	825	—	70	ЭПА
262	Эукумбене	Австралия	Эукумбене	1958	110	4,80	4,30		—	40	ЭИВ
263	Юльясъярви	Финляндия	Оулуйоки	1950	10	2,84	Нет данных	132	Нет данных	Нет данных	ЭС
264	Юта	США	Джордан	1885	3	1,05	1,02	384	384	6	ИА
265	Юшкозерское	СССР	Кемь, оз. Юшкозеро	Стр.	10	3,31	1,57	695	450	6	ЭПР

Примечания.

[а] Для большинства зарубежных водохранилищ приводится год ввода гидроузла в эксплуатацию;

[б] полный объем водохранилища данных при НПУ; по отдельным водохранилищам возможно умолчание объема при ФПУ;

[в] как правило, без резервного объема между РПУ и ФПУ;

[г] взято по возможности в летописных условиях до подпора;

[д] высота плотины над поверхностью земли; она, как правило, превышает величину подпора на 3—5 м и более;

[е] по странам, не имеющим водохранилищ с приведенными максимальными параметрами, в список включены крупнейшие водохранилища при условии, что их полный объем превышает 1 км³;

[ж] объем в перемычке.

А — оросительное (ирригационное) водохранилище. Э — гидроэнергетика. И — ирригация. П — сброс с паводками. С — судоходство. Р — рыбное хозяйство. В — водоснабжение. Л — лесосплав. С — рекреация.

ЛИТЕРАТУРА

Абрамов В. Н. Термическая классификация сезонных озер умеренных широт. — В кн.: Природа и хозяйственное использование озер Псковской и прилегающих областей. Л.: Изд-во ЛГУ, 1971.

Авакян А. Б. Проблемы создания и комплексного использования водохранилищ в СССР.— Водные ресурсы, 1972, № 1.

Авакян А. Б., Овчинникова С. П. Некоторые данные о водохранилищах мира.— Гидротехническое строительство, 1971, № 8.

Авакян А. Б., Овчинникова С. П., Шарапов В. А., Яковлева В. Б. Водохранилище зекона пара.— В кн.: Проблемы регулирования и использования водных ресурсов. М.: Наука, 1973.

Авакян А. Б., Овчинникова С. П., Яковлева В. Б. Некоторые особенности создания и эксплуатации водохранилищ в развивающихся странах. Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1974, вып. 90.

Авакян А. Б., Салтанкин В. П. Лимнологические районирование и типизация водохранилищ. — В кн.: Вопросы антропогенных изменений водных ресурсов. М.: Институт географии АН СССР, 1976.

Авакян А. Б., Шарапов В. А. О классификации водохранилищ гидроэлектростанций СССР.— Изв. ВГО, 1968, т. 92, вып. 6.

Авакян А. Б., Шарапов В. А. Водохранилища гидроэлектростанций СССР. М.: Госэнергоиздат, 1962.

Авакян А. Б., Шарапов В. А. Водохранилища гидроэлектростанций СССР. Изд. 2-е. М.: Энергия, 1968.

Авакян А. Б., Шарапов В. А. Основные данные о водохранилищах действующих и строящихся гидроэлектростанций. — Гидротехническое строительство, 1970, № 4.

Аникин А. Б., Шарапов В. А. Водохранилища гидроэлектростанций СССР. Изд. 3-е. М.: Энергия, 1977.

Авакян А. Б., Яковлева В. Б. Проблемы рекреационного использования водохранилищ. — Водные ресурсы, 1973, № 6.

Авакян А. Б., Яковлева В. Б. Повышение эффективности рекреационного использования водохранилищ.— Гидротехническое строительство, 1976, № 12.

Алекин О. А. Гидрохимия. Л.: Гидрометеоиздат, 1966.

Андреев К. А., Есенов У., Худяков П. А. Исследование результатов заполнения чаши р. Иртыш попусками из Бухтарминского водохранилища.— В кн.: Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. Алма-Ата: Наука, 1974, вып. II.

Андриевская С. А. О фитопланктоне Кайраккумского водохранилища на Сырдарье.— Изв. АН Тадж. ССР. Отд-ние биол. наук, 1963, № 3.

Андриевская С. А. Особенности развития фитопланктона в Кайраккумском водохранилище.— В кн.: Гидробиология и гидрология Душанбе. Душанбе: Дониш, 1968.

Антипова О. П. Основные сведения о существующих, строящихся и проектируемых водохранилищах СССР. Изв. ГосНИОРХ, 1961, т. 50.

Барсукова Л. А. Многолетний биогенный сток р. Волги у г. Астрахани.— Труды КаспНИРХ, 1971, т. 26.

Бефани Н. А. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. Л.: Гидрометеоиздат, 1961.

Бейром С. Г., Вострякова Н. В., Широков П. М. Изменение природных условий в Средней Оби после создания Новосибирской ГЭС. Новосибирск: Наука, 1973.

Белова И. В., Константинова Л. С. Зоопланктон Волги выше и ниже Саратова в 1966—1968 гг. — Труды комплексной экспедиции Саратовского университета по изучению Волгоградского и Саратовского водохранилищ. Саратов, 1973, т. 3.

Бессчетнова З. И. Влияние зарегулирования водного стока р. Волги на гидрохимический режим ее нижнего течения и дельты. Тезисы докл. IV Всесоюз. лимнологич. совещ. Гидрохимия и качество вод. Ленинград-на-Ладоге, 1977.

Благовещенская Л. А. Состояние бентоса водохранилища на исходе десятилетия его существования. Биологический режим и рыбохозяйственное использование Новосибирского водохранилища. Новосибирск: Наука, 1976.

Болотцев В. В. Инженерная защита в зоне водохранилищ крупных гидроэлектростанций. М., Л.: Госэнергоиздат, 1958.

Богданов В. Н. Микробиологический режим Кайраккумского водохранилища. — ДАН ТаджССР, 1968, т. 11, вып. 5.

Богданов Н. И. Первичная продукция и сапробиальный планктон Кайраккумского водохранилища. — Зоологический сборник, ч. 1. Душанбе: Дониш, 1976.

Богословский Б. Б. Гидрологический режим водохранилищ. М.: Транспорт, 1964.

Борисов А. П., Чистяков В. М. Городское хозяйство в зоне водохранилищ. М.: Изд-во Минкомхоза РСФСР, 1960.

Бородин Н. Д., Любов В. А., Лилье С. М. Бентос Куйбышевского водохранилища летом 1972 г.— В кн.: Флора, фауна и кислородный режим Волги. Л.: Наука, 1974.

Буторин Н. В. Гидрологические процессы и динамика водных масс в водохранилищах Волжского каскада. Л.: Наука, 1980.

Буторин Н. В., Заславская Н. А., Кудрин В. И. Донные отложения речных водохранилищ. Л.: Наука, 1975.

Буторин Н. В., Фортунатов М. А. Водохранилища Волги и особенности их зарастания как фактора, обусловливающего биологические процессы.— В кн.: Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. Л.: Наука, 1976.

Вайсский каскад. Bratislava, Nakladatelstvo «Alfa», 1966.

Вендров С. Л. О динамике береговой зоны Цимлянского водохранилища.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1955, № 5.

Вендров С. Л. О масштабах преобразования природы крупными водохранилищами. — Изв. Всесоюз. геогр. о-ва, 1959, т. 91, вып. 4.

Вендров С. Л. Проблемы преобразования речных систем. Л.: Гидрометеоиздат, 1970.

Вендров С. Л., Лыкошин К. Н. Водохранилище и окружающая природная среда. М.: Наука, 1970.

Вендров С. Л., Малов Л. К. Опыт определения влияния крупных водохранилищ на местный климат.— Изв. АН СССР. Серия геогр., 1964, № 4.

Веригина Н. В., Черепанова Т. В. Кормовые ресурсы рыб Краснодарского водохранилища. — Тезисы II съезда ВГБО. Кишинев, 1970.

Веригина М. В. Изменение кормовой базы Камчатайского водохранилища в связи с акклиматизацией беспозвоночных.— В кн.: Круговорот вещества и энергии в водоемах. 1977.

Виноградов Б. В. Космические методы изучения природной среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1976.

Виноградов Б. В., Кондратьев К. Я. Космические методы землеведения. Л.: Гидрометеоиздат, 1971.

Вистер И. А. Историко-географическое введение в экономическую географию зарубежного мира. М.: Географгиз, 1963.

Владычинский С. Л. Влияние водохранилищ на почвы.— Почвоведение, 1958, № 9.

Влияние водохранилищ лесной зоны на прилегающие территории. М.: Наука, 1970.

Влтавский каскад. Гидропроект. Прага: Изд-во МЛВХ, 1969.

Водохранилище Вилюйской ГЭС на р. Кемп.— Материалы к комплексной географо-гидрологической характеристике формирования водохранилища. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1968.

Волгогский П. А. Продуктивность лугов в пойме Волги в связи с изменением водного режима в нижнем бьефе Волжской ГЭС. — В кн.: Освоение и первичное освоение со-

лот и заболоченных земель Нечерноземной зоны. М.: Сельхозиздат, 1962.

Вольф М. П., Клуст В. С. Затопление при крупном гидростроительстве. Опыт экономического исследования. М.: Энергоиздат, 1934.

Воробьев В. В. Влияние регулирования стока рек на продуктивность кормов в низких бейфах гидроузлов.— Труды Гидропроекта, 1973, № 38.

Воронцов Г. В., Пиязов Б. С. Применение в некоторых странах зеркальных карпов. Алма-Ата: Кайнар, 1970.

Гак Д. З. Бактериопланктон и его роль в биологической продуктивности водохранилищ. М.: Наука, 1975.

Гак Д. З., Инкина Г. А. Бактериопланктон Волги и ее водохранилищ в июне-июле 1972 г. Водные ресурсы, 1975, № 1.

Голубовцев Н. Д., Дурнев С. В. Лесосводка и лесопользование в зоне затопления водохранилищ гидроэлектростанций. Л.: Гослесбумиздат, 1960.

Гольд З. Г., Яковлев Г. А., Русанова Л. А., Скопцова Г. Н., Чайковская Т. С. Состав и структура биоценозов Красноярского водохранилища в зоне поступления и распространения загрязнений.— Тезисы докл. III съезда ВГБО. Рига, 1976.

Григорьев А. А. Космическая индикация ландшафтов Земли. Л.: Изд-во ЛГУ, 1975.

Грик Г. Б. Полуусы в гнездовье цапель. М.: Энергия, 1971.

Гусев В. К. Формирование микробиологического режима водохранилищ верхнего Иртыша. Алма-Ата: Наука, 1975.

Гусева К. А. Фитопланктон Рыбинского водохранилища. Труды биологич. станции «Борок», 1956, вып. 2.

Гусева Н. В., Михайлова М. П. Органические вещества в донных отложениях.— В кн.: Волга-1. Куйбышевское вод. хр-ще, 1971.

Данилов Л. Н., Исаев А. П. Рыбохозяйственное использование водохранилищ. М.: Пищепромиздат, 1967.

Данилова А. Н., Никанорова Е. П., Пальчиковский А. К. Евтрофирование Днепра в условиях зарегулированного стока.— Гидрохим. Материалы Комитета Б. Карл-Маркс Штадт, 1976.

Дегенс Ф. Применение дистанционных датчиков для изучения экосистем и управления ими. В кн.: Основы экологии. М.: Мир, 1975.

Дедюхин Н. А. Типы формирования зоопланктона водохранилищ. Тезисы докл. I съезда ВГБО. 5 кн.: Вопросы гидробиологии. М.: Наука, 1965.

Денисов А. Н. Численность, время генерации и продукция бактерий в волге Саратовского водохранилища.— Гидробиологический журнал, 1975, т. 11, № 3.

Дедюхин Н. А., Ривьер И. К. Современное состояние зоопланктона Волги.— В кн.: Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. Л.: Наука, 1976.

Дзенцеловский Ю. Д. Внутренние воды Африки и их использование. Л.: Гидрометеоиздат, 1967.

Дзенцелова В. В. Динамика численности бактериопланктона в воде Волгоградского водохранилища.— Труды Саратовского отд. ГосНИОРХ, 1970, т. 10.

Дрячев С. М. Изменение качества воды при зарегулировании рек.— В кн.: Тигинское водохранилище. М.: Медгиз, 1961.

Дрягин С. М., Бутырин Н. В., Белоконь А. Л. Факторы, определяющие качество воды в водохранилищах.— Труды Ин-та биологии внутренних вод АН СССР, 1974, вып. 26(29).

Дукельская-Боровицкий Л. В. Изучение водных ресурсов с помощью космических средств в США.— Водные ресурсы, 1976, № 1.

Дурнев С. В. Проектирование лесосводки и лесопользования в зонах затопления водохранилищ. Труды Гидропроекта, 1969, сб. 17.

Дьяченко-Кравцова Т. Л. Бактериологические процессы. - В кн.: Дубоссарское водохранилище. М.: Наука, 1964.

Дьяконов К. Н. Влияние крупных равнинных водохранилищ на леса прибрежной зоны. Л.: Гидрометеоиздат, 1975.

Еленкин Т. С. Зоопланктон Горьковского водохранилища в районе Костромской ГРЭС.— Труды Ин-та биологии внутренних вод АН СССР, 1975, вып. 27(30).

Естафьев А. М. Гидроэнергетика Финляндии. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962.

Жадин В. И. Проблемы санитарной гидробиологии внутренних водоемов.— В кн.: Санитарная и техническая гидробиология. М.: Наука, 1967.

Жадин В. И., Герд С. В. Реки, озера и водохранилища СССР. Их флора и фауна. М.: Учпедгиз, 1961.

Жатенева Т. С., Никаноров Е. А. Некоторые итоги изучения влияния Конаковской ГРЭС на биологический режим Иваньковского водохранилища. Изв. ГосНИОРХ, 1972, № 8.

Жукинский В. Н., Оксиюк О. П., Цейтлин Н. Н., Георгиевский В. Г. Проект унифицированной системы для характеристики континентальных водоемов и водотоков и ее применение для анализа качества воды. Гидробиологический журн., 1976, т. 12, № 6.

Зобцева Л. А., Тарасов М. Н., Смирнов М. П. Изменения содержания органических и биогенных веществ в воде рек при их зарегулировании водохранилищами и вопросы прогнозирования. — Тезисы докл. IV Всесоюз. гидрологич. совещ. Гидрология и качество вод. Круговорот вещества и энергии в водоемах. Листвянничное-на-Байкале, 1977.

Золотарев Г. С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки. Труды лаб. гидрогеологич. проблем АН СССР им. Сапаренко, 1955, т. XII.

Зубенко Ф. С. О методике инженерно-геологических исследований по космическим аэроснимкам.— Труды координационных совещаний по гидротехнике. Л.: Энергия, 1976, вып. 107.

Иванов Л. В. Численность бактерий в Куйбышевском водохранилище по данным многолетних наблюдений.— Материалы Всесоюз. науч. конф. по проблеме комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна Волги. Пермь, 1975, вып. 3.

Иванов Т. Н. Мексика. Водное хозяйство и экономическое развитие. М.: Наука, 1973.

Иоганзен Э. Н. Питание и пищевые связи личинок массовых видов хирономид Усинского водохранилища: Автореф. канд. дис. М., 1975.

Инженерно-географические проблемы проектирования и эксплуатации крупных равнинных водохранилищ. М.: Наука, 1972.

Использование природной среды космическими средствами, т. 3. Геоботаника, почвоведение, гидрология. М.: ВИНИТИ, 1974.

Исследование природной среды космическими средствами, т. 4. География, методы космической фотосъемки. М.: ВИНИТИ, 1975.

Исследование природной среды космическими средствами, т. 5. Геология и геоморфология. М.: ВИНИТИ, 1975.

Калецкая М. Л. Роль режима Рыбинского водохранилища в жизни млекопитающих Дарвинского заповедника. Труды Дарвинского гос. заповедника, Вологда, 1967, вып. 4.

Калинин Г. П. Проблемы глобальной гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1968.

Калинин Г. П., Карелов Ю. В., Коломин В. А. Космические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1977.

Каховське водойвище. Київ: Наукова думка, 1964.

Кафтан Ф. Ф. О накоплении минеральных попутков на водохранилищах.— Труды Гидропроекта, 1973, № 38.

Кобяков И. А. Санитарные вопросы гидростроительства. М.: Медицина, 1965.

Киевское водохранилище. Гидрохимия, биология, продуктивность. Киев: Наукова думка, 1972.

Кипшидзе Н. Э., Шенгелия Ж. К. Экологические и социально-экономические последствия строительства Ладожской плотины на р. Пяльме.— Труды IX Междунар. конгр. по ирригации и дренажу. М., 1976.

Китаенко Л. А. Влияние сброса подогретых вод тепловых и атомных электростанций на биохимический водного охладителей. Гидробиол. журн., 1973, т. IX, № 5.

Кожова Р. Л. Значение неоднородности водоемов для гидрохимического районирования.— В кн.: Материалы к совещанию по прогнозированию содержания биогенных элементов и органического вещества в водохранилищах. Рыбинск: ИБВВ АН СССР, 1969.

Комова О. М. Фитопланктон Иркутского водохранилища.— В кн.: Биология Иркутского водохранилища. Новосибирск: Наука, 1964.

Комова О. М. Фитопланктон и формирование гидробиологического режима Байкало-Ангарских водохранилищ: Автореф. докт. дис. Харьков, 1970. В библ.: Харьковский ун-т, 1970.

Кожова О. М., Моисеенко Л. М. Сезонная динамика бактериопланктона Братского водохранилища. В кн.: Формирование планктона в гидроэкосистеме Братского водохранилища. Новосибирск: Наука, 1978.

Кожова О. М. Особенности антропогенного евтрофирования Байкала и р. Ангары.— В кн.: Антропогенное евтрофирование водоемов. Черноголовка, 1974.

Кожова О. М., Томилов А. А. Гидробиология Братского водохранилища и связи с возможностями его использования.— В кн.: Комплексные исследования водохранилищ. М.: Наука, 1973, вып. 2.

Комплексные исследования водохранилищ. М.: Изд-во МГУ, 1971, вып. 1.

Кондратьев К. Я., Буланов А. Д., Поздняков Д. В. Дистанционное обнаружение загрязнений водных бассейнов и фитопланктона оптическими средствами.— Водные ресурсы, 1972, № 3.

Константинов А. С., Пыжьянов Г. Б., Поддубный А. Г., Суркова Г. С., Яковлева А. П. Рыбопродуктивность волжских водохранилищ и пути ее повышения в условиях комплексного использования водных ресурсов.— Вопросы ихтиологии, 1970, т. 10, вып. 2 (63).

Корелякова И. Л. Рассительность Кременчугского водохранилища. Киев: Наукова думка, 1977.

Косова А. А. Экологическая характеристика зоопланктона типичных плесов дельты реки Волги.—В кн.: Первая конференция по изучению водоемов бассейна Волги. «Волга-1». Тольятти, 1968.

Костовецкая Я. Н., Рохон Г. М. Санитарная охрана водохранилищ на Днепре.— В кн.: Научно-технический прогресс и охрана окружающей природной среды. Киев, Наукова думка, 1975, вып. 2.

Крашенинкова С. А. Микробиологическая характеристика Горьковского водохранилища на второй год его существования.— Труды ИБВВ АН СССР, 1966, вып. 8 (6).

Кузьмина Л. М. Изменение экосистем искусственных водоемов под воздействием антропогенных факторов.— Тезисы докл. III съезда ВГБО. Рига, 1976.

Кузьмина Л. М., Бедулина З. А. Вилюйское водохранилище.— Изв. ГосНИОРХ, 1964, т. 59.

Кудрявцев К. М. Численность, время генерации и продукция бактерий в Волге и ее водохранилищах в 1970 г.— Микробиология, 1973, т. 42, вып. 1.

Кузьмин Г. Б. Современное состояние фитопланктона Волги.— В кн.: Вторая конференция по изучению водоемов бассейна Волги. «Волга-2». Борок, 1974.

Кузьмин Г. Б., Большов И. М. О подземной цветении воды Рыбинского водохранилища. — Информ. бюл. «Биология внутр. вод», 1974, № 21.

Кутырев В. В., Прасолова В. Г. Спутниковая информация о изучении вод суши. — Труды ГГИ, 1976, вып. 233.

Кучин Л. С. Водное хозяйство гидроэлектростанций. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1964.

Кучеребов Л. Е., Керсенцев З. М., Мачарашвили В. М., Цхомелидзе О. Н. Зоопланктон озер и водохранилищ Грузии.— В кн.: Биологические процессы морских и континентальных водоемов. Кишинев, Штиинца, 1970.

Лапицкий И. И. Направленное формирование и управление численностью популяций рыб в Цимлянском водохранилище.— Труды Волгоградск. отдел. ГосНИОРХ, 1970, т. 4.

Лещев Е. И. Влияние химического загрязнения на гидрофауну Карагандинского водохранилища. В кн.: Трофологические процессы морских и континентальных водоемов. Тезисы докл. II съезда ВГБО. Кишинев, 1970.

Лисун С. С. Разработка кадастра водохранилищ СССР. — Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1965, вып. 28.

Литвинов А. С. Формирование, структура и флуктуации зоопланктона в Иваньковском водохранилище.— Труды ИБВВ АН СССР, 1974, вып. 26(29).

Лобунов Н. А. Организация служб водохранилища (затопления и подтопления в гидротехническом строительстве). М.: Госэнергоиздат, 1946.

Лыкосова И. Ф. Зоопланктон Мингечаурского водохранилища.— В кн.: Биология Мингечаурского водохранилища. Баку: ЭЛМ, 1963.

Лукьяненко Л. Н., Савина И. О. Рыбохозяйственный водный фонд и улов рыбы по внутренним водоемам СССР. М.; Л.: ВНИОРХ, 1956.

Лукин А. Л. Закономерности колебания численности рыб Куйбышевского водохранилища.— Тезисы докл. Совещ. по законам динамики численности рыб и прогнозам. М., 1970.

Луферов Л. Г. Формирование зоопланктона Горьковского водохранилища — Труды ИБВВ АН СССР, 1963, вып. 6(9).

Львович М. И. Водные ресурсы будущего. М.: Просвещение, 1969.

Любина В. А. Многолетние изменения в фауне олигохет Куйбышевского водохранилища (1958—1971).—Материалы Всесоюз. науч. конф. по комплексному использованию и охране водных ресурсов бассейна Волги. Пермь, 1975, вып. III.

Лялин Г. Г. Бентос Куйбышевского водохранилища за 10 лет его существования (1955—1965).— В кн.: Волга-1, Куйбышевское кн. изд-во, 1971.

Лихов С. М., Мордухай-Болтовской Ф. Д. Современное состояние бентоса волжских водохранилищ.— В кн.: Волга-2. Борок, 1974.

Макаров А. Н. Красноярское море. Научно-популярный очерк. Красноярское кн. изд-во, 1968.

Макаров А. Н., Вейнер Б. А. О классификации водоемов (водохранилищ) — Труды координац. совещ. по гидротехнике, 1976, Л.: Энергия, вып. 107.

Макаров А. Н., Воробьев Б. В. Экономическая оценка отчуждений при строительстве. Л.: Стройиздат, 1970.

Максимова Г. А. Химическая география вод суши. М.: Географгиз, 1955.

Мартынова Л. М. Микробиологическая характеристика толщи вод в процессе формирования биологического режима Братского водохранилища.— В кн.: Гидробиол. исслед. водоемов Сибири. Иркутск, 1976.

Мартынова Г. Л., Кузьмин В. В. Микробиологические процессы в зарослях тканых водных растений Рыбинского водохранилища. Труды ИБВВ АН СССР, 1976, вып. 33 (36).

Мартов Э. Центральная Европа. М.: Учпедгиз, 1938.

Материалы Ю. М. Гробалея комплексных географо-гидрологических исследований формирования крупных водохранилищ и их влияния на природу и хозяйство (на примере Камского каскада): Автореф. докт. дис. Пермь, 1971.

Мельников Г. Б. Закономерности формирования и становления зоопланктона в водохранилищах СССР.—Гидробиол. журн., 1960, т. II, № 2.

Мельников Г. Б. Гидростроительство и задачи биологии.— Биологические науки, 1970а, № 4.

Мельников Г. Б. Водохранилища гидроэлектростанций и развитие гидробиологии в СССР.— Гидробиол. журн., 1970б, т. 6, № 5.

Мельников Г. Б., Гаевский В. Д. Формирование зоопланктона Днепровского водохранилища в условиях каскада вновь расположенных водохранилищ. В кн.: Гидробиологический режим Днепра в условиях зарегулированного стока. Киев: Наукова думка, 1967.

Минервина Е. Е., Христофорова Г. Р. Переформирование берегов горных водохранилищ. Методы и примеры расчетов. М.: Энергия, 1974.

Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л.: Гидрометеоиздат, 1974.

Моисеенко М. П. Олигохеты и их значение в донной фауне Цимлянского водохранилища. В кн.: Водные малощетинковые черв. Ярославль, 1972.

Моисеенко М. П. Донные корневые ресурсы и степень использования их бентофагами в Цимлянском водохранилище.— Тезисы докл. III съезда ВГБО. Рига, 1976.

Моисеенко М. П., Гаевский В. П., Коломиец С. Г. Особенности гидробиологического режима Цимлянского водохранилища.— В кн.: Биологические процессы в морских и континентальных водоемах. Кишинев, Штиинца, 1970.

Мордухай-Болтовской Ф. Д. Бентос крупных водохранилищ на Волге.— В кн.: Волга-1, Куйбышевское кн. изд-во, 1971.

Музыкин Г. Я., Сидорова З. П. К вопросу об индикации качества воды с помощью спутниковых материалов.— Водные ресурсы, 1975, № 5.

Мурзокулов Д. М. Гидробиология водоемов Северного Таджикистана: Автореф. канд. дис. Ташкент, 1969.

Мусаев А. П. Особенности формирования биологической продукции водохранилищ Африки.— Водные ресурсы, 1974, № 3.

Мусина Н. Х., Пруденко Н. А., Семенова В. В., Шнейдер Л. П. Биологическая характеристика Капчагайского водохранилища.— Тезисы докл. III съезда ВГБО. Рига, 1976.

Мухомедиев А. М. О гидрологии водохранилищ Узбекистана и сопредельных республик Средней Азии.— В кн.: Биологические процессы в морских и континентальных водоемах. Кишинев: Штиинца, 1970.

Назаренко Г. Н. Тяжелые металлы (марганец, цинк, медь) в днепровских водохранилищах.— Тезисы докл. IV Всесоюз. лимнологич. совещ.: Гидрохимия и качество вод. Листвянничное-на-Байкале, 1977.

Небольсина Т. К. Биотический баланс и современное использование биоэнергетических ресурсов Волгоградского водохранилища.— Информ. бюлл. «Биология внутренних вод». 1976, № 31.

Небольсина Т. К., Высоцкова В. Н., Герасимова И. А., Дончева В. В., Закора Л. Н., Неволенко С. П. Годовая продукция Волгоградского водохранилища на разных трофических уровнях и использование корма рыбами.— Тезисы докл. III съезда ВГБО. Рига, 1976.

Нейман А. А. Количественное распределение бентоса на шельфе и верхних горизонтах склона восточной части Берингова моря.— Труды ВНИРО, 1963, т. 48.

Нетерер Ф. Я. Искусственные водохранилища мира.—Гидротехническое строительство, 1946, № 4.

Николаев И. И. О некоторых типах озерных экосистем по их трофической структуре (на примере больших озер Северо-Запада СССР).— Водные ресурсы, 1976, № 4.

Николаев И. И. Искусственные землетрясения.— Природа, 1973, № 7.

Перес Ельис М., Романенко В. И., Кузнецов В. М., Лепорте Публикес М. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества в водохранилище Карлос Малтзаль де Сепеда.— Информ. бюлл. «Биология внутр. вод». ИБВВ АН СССР, 1977, № 33.

Печеркин И. А. Геодинамика побережий камских водохранилищ, ч. I. Инженерно-геологические условия. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1966.

Печеркин И. А. Геодинамика побережий камских водохранилищ, ч. II. Геологические процессы. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1969.

Печенкин О. Итоги исследования зоопланктона Каунасского водохранилища.— В кн.: Биологические процессы в морских и континентальных водоемах.— Тезисы докл. II съезда ВГБО. Кишинев: Штиинца, 1970.

Пидгайко М. А., Гурьев В. Г., Повышева М. Ф. Итоги изучения гидробиологического режима прочих водоемов-охладителей пяти УССР.— Гидробиол. журн., 1970, т. 6, № 2.

Пирожников П. Л. Биопродукционный эффект подпора крупных рек и его рыбохозяйственное значение. В кн.: Волга-1. Куйбышевское вдхр. изд-во, 1972.

Поддубная Т. Л. Состояние донной фауны Ивьяковского водохранилища на 32 год его существования.— В кн.: Флора, фауна и микрофлора Волги. Рыбинск, 1974.

Поддубный А. Г. Экологическая топография популяций рыб в водохранилищах. Л.: Наука, 1971.

Поддубный А. Г., Жильцов Л. К. Основные результаты гидрохимических исследований на водохранилищах Верхней и Средней Волги.— В кн.: Биологическая продукция во внутренних водоемах. М.: Наука, 1965.

Попов И. В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеоиздат, 1965.

Права и обязанности предприятий по производству, передаче и распределению электроэнергии по отношению к публично-правовым коллективам и частным лицам. Европейская экономическая комиссия. М.: Комитет по электроэнергии Restricted EP (WP 1), Working Paper, N 7, 1961.

Приймаченко А. Д. Закономерности формирования и развития фитопланктона в днепровских водохранилищах.— В кн.: Гидробиологический режим Днепра в условиях зарегулированного стока. Киев, Наукова думка, 1967.

Прогноз развития водного хозяйства в странах-членах СЭВ до 1980 г. М.: Исполнительный отдел Угр делами секретариата СЭВ, 1977.

Родионов Г. Ф. Республика Мали. М.: Мысль, 1969.

Розанский А. Ш., Рубинштейн М. Н. Управление режимом водохранилищ гидроэлектростанций. М.: Энергия, 1974.

Рогозов Л. Ю. Динамика сапрогенных комплексов в сфере влияния водохранилищ: Автореф. канд. дис. М., 1968. В надзат: ПГАН.

Рыбер И. К. Зоопланктон Ивьяковского водохранилища в зоне влияния гидростроек под Конаковской ГРЭС.— В кн.: Экология организмов водохранилищ-охладителей. Л.: Наука, 1975, вып. 27 (30).

Рывкин И. К. Зоопланктон Ивьяковского водохранилища и воздействие на него антропогенных факторов.— Тезисы докл. III съезда ВГБО. Рига, 1976.

Романенко В. И. Микрофлора.— В кн.: Рыбинское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1972.

Романенко В. И. Численность и продукция бактерий в водохранилищах Волги.— В кн.: Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. М.: Наука, 1975.

Российский К. П. Термический режим водохранилищ. М.: Наука, 1975.

Россолимо Л. Л. Изменение донных биоценозов под воздействием антропогенного фактора. М.: Наука, 1977.

Руководство по гигиене водоснабжения. М.: Медицина, 1975.

Рулевое А. М. Регулирование использования водных ресурсов водохранилищ. М.: Энергия, 1966.

Рыбинское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1972.

Самитова М. А. Микробиологические процессы в Мингечаурском водохранилище. Труды Ин-та биол. водохр. АН СССР, 1960, вып. 3 (6).

Самойлов В. П. Перспективы применения шестанционных методов для изучения водохранилищ.— Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1977, вып. 122.

Сапожков В. Ф. Зарубежное гидроэнергостроительство. М.: Энергия, 1968.

Сафьянов В. А. Методы повышения эффективности нерестово-выростных хозяйств.— Рыбное хозяйство, 1969, № 5.

Сафьяновский А. А. О выносе зоопланктона через сооружения Кайраккумской ГЭС.— В кн.: Сб. работ по Кайраккумскому водохр. Душанбе: Дониш, 1963, т. 24.

Семенов В. С. Водохранилища СССР (обзор и анализ научно-технической литературы). М.: ВГО, 1974.

Семенова Н. Ю. Донная фауна и особенности формирования в малых водохранилищах бассейна Верхней Волги.— В кн.: Комплексное использование водохранилищ. М.: Наука, 1971, вып. 1.

Семенова Н. Ю. Экология донных беспозвоночных водохранилищ: Автореф. докт. дис. М., 1973. В надзат.: МГУ.

Сергеев Ю. Н. Биологическая продуктивность.— В кн.: Рыбинское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1972.

Тамкявичус В. С. Динамика численности и роста рыб в днепровских водохранилищах. Тезисы докл. Совещ. по законам динамики численности рыб и промысловым прогнозам. М., 1970.

Тарасова Т. Н. Первичная продукция фитопланктона и деструкция органического вещества в Горьковском водохранилище.—Гидробиол. журн., 1973, т. 9, № 3.

Тахтаджян Р. Г. Процесс зарастания и экология Мингечаурского водохранилища.— Изв. АН АзССР. Сер. наук о земле, 1968, № 1.

Топачевский А. В., Сиренко Л. А., Цееб Я. Я. Антропогенное евтрофирование водохранилищ, сточные воды и методы его регулирования.— Водные ресурсы, 1975, № 1.

Топачевский А. В., Цееб Я. Я., Сиренко Л. А. Технико-экономические основания проектирования, реконструкции и режима эксплуатации водохранилищ ГЭС. Киев: Наукова думка, 1974.

Трахтман И. Н., Кибальчич И. А. Качество воды водоисточников.— В кн.: Руководство по гигиене водоснабжения. М.: Медицина, 1975.

Уздов Б., Шишкова Н., Григорьев С., Почев Ц., Райков Р., Стоименов М. Водните ресурси на България и тяхното комплексно използуване. София: Земиздат, 1966.

Успенская А. А. Влияние Рыбинского водохранилища на почвы зоны подтопления.— В кн.: Труды науч. конф. по изуч. Вологодской обл. Вологда, 1956.

Федов С. П. Влияние отрицательных антропогенных факторов на санитарно-гидробиологический режим и ихтиофауну водоемов степной зоны Украинской ССР и теоретические основы его устранения. Автореф. докт. дис. Кишинев, 1973.

Федорова А. П., Скляров В. Е. Перспективы исследования оксона с помощью ИСЗ.— В кн.: Исследование земных ресурсов космическими средствами. Ч. II. Методы интерпретации и использования информации. М.: Наука, 1975.

Физико-географический атлас мира. М.: ГУГК, 1964.

Филиппов Д. П. Динамика берегов и ложа водохранилищ гидроэлектростанций СССР. Л.: Энергия, 1974.

Фогель Л. П. Право землепользования в европейских социалистических странах на примере стран-членов СЭВ. М.: Наука, 1976.

Формирование природных условий и жизни Братского водохранилища. М.: Наука, 1970.

Фортунатов М. А. Цветность и прозрачность воды Рыбинского водохранилища как показатели его зрелости.— Труды НИВХ АН СССР, 1959, вып. 2 (5).

Фортунатов М. А. Принципы зональности в типологии и значение цветности и прозрачности воды при классификации водоемов и прогнозировании их режима.— Тезисы докл. на XIII Всесоюз. гидрологич. совещ. Новочеркасск, 1959.

Фортунатов М. А. Проблема сооружения водохранилищ и предварительные итоги их учета в различных частях света. Материалы I науч.-техн. совещ. по изуч. Куйбышевского водохранилища. Куйбышевское кн. изд-во, 1960, вып. 1.

Фортунатов М. А. Типизация и группировка водохранилищ различного хозяйственного назначения.— Материалы Межвуз. науч. конф. по вопросам изуч. влияния водохранилищ на природу и хозяйство окружающих территорий. Калинин, 1971.

Францев А. В. Улучшение воды в Учинском отстойном водохранилище.— В кн.: Гигиена водохранилищ. М.: Медгиз, 1961.

Халилов С. Х. Количественная характеристика фитопланктона Чарвакского водохранилища.— В кн.: Флора и значение споровых растений Средней Азии. Ташкент: Фан, 1972.

Цаценкин И. А. Растительность и естественные кормовые ресурсы Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги.— В кн.: Природа и сельское хозяйство Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги. М.: Изд-во МГУ, 1962.

Цуриев А. Проблемы обеспечения питьевой водой в ЧССР.— СЭВ, «Бюл. по вод. хозяйству», 1970, № 1.

Чебаевская Г. С. Фитопланктон участка Новосибирского водохранилища, прилегающего к Академгородку.— В кн.: Водоемы и зоны Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1970.

Цирлина Л. И. Зоопланктон подземных систем Алтухарского канала. Автореф. канд. дис. Ташкент, 1972.

Шевцов Л. М. Фитопланктон водохранилищ Молдавии. Кишинев: Штиинца, 1972.

Шишкин Л. П. Изменение хозяйственных условий и ближних бьефов гидроузлов.— Водные ресурсы, 1974, № 6.

Широков В. А. Влияние регулирования стока рек водохранилищ на природу и хозяйство районов и ближних бьефах.— Вопросы географии, 1968, сб. 73.

Широков В. А. Водохранилища зарубежной Европы.— Водные ресурсы, 1973, № 3.

Шнайдрик Л. П. Сезонная и многолетняя динамика зообентоса Капчагайского водохранилища. В кн.: Биологич. основы рыбного хоз-ва ре-

публик Средней Азии и Казахстана. Гурьев: Дониз, 1976.

Широков В. М. Формирование берегов и ложа крупных водохранилищ Сибири. Новосибирск: Наука, 1974.

Шпильберг П. И., Кибальчич И. А. Электрокондуктометрическое исследование влияния температуры питьевой воды на организм человека.— Гигиена и санитария, 1971, № 3.

Эдельштейн К. К. Формирование, переменение и трансформация водных масс Горьковского водохранилища.— В кн.: Жизнь внутренних водоемов и факторы их загрязнения и самоочищения. Л.: Наука, 1968.

Экзерцев В. А., Лобков И. В. Гидрология продукции гидрофильной растительности волжских водохранилищ.— Материалы II конф. по изуч. водоемов бассейна Волги. Волга 2. Горький, 1974.

Энергетические ресурсы СССР. Гидроэнергетические ресурсы. М.: Наука, 1967.

Эристов В. С. Использование водных ресурсов Юго-Восточной Азии и Австралии. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1961.

Яковлева Н. И. Микробиологическая характеристика некоторых водоемов Грузии: Автореф. канд. дис. Тбилиси, 1966.

Яковлева А. И. Саратовское водохранилище.— Изв. ГосНИОРХ, 1975, т. 102.

Якубов Р. А. Вопросы интенсификации и технологии цементации. Труды науч. сессии АМИ СССР. М., 1967.

Ярошенко М. Ф., Набережный А. П., Чорик Ф. П., Владимиров М. З., Крашенкова Т. Д., Бора З. Т. Биологические аспекты естественного самоочищения Лубенского водохранилища.—Тезисы докл. III съезда ВГБО. Рига, 1976.

Amyot P., Laliberte C., Larocque G. S. Meeting Quebec's power needs for the eighties. Water Power and Dam Constr., 1976, vol. 28, N 7.

Avakian A. B., Fortunatov M. A. Les lacs de barrage du monde. — Verh. Intern. Ver theor. und angew. Limnol., 1972, vol. 18.

Babinski Z., Orzeł M. Zbiorniki zaporowe.—Geogr. sele., 1974, vol. 27, N 4.

Baker C. D., Schmitz E. Food habits of adult gizzard and threadfish shad in two Ozark reservoirs.— In: Reservoir Fisheries and Limnology, Washington, 1971.

Bergsdorf J. S. Sedimentuntersuchungen in Erdbecken aus Schadensfälle mehrerer sich genauere geologische Voruntersuchungen erforderlich. VDI Nachr. 1972, Bd. 26, N 33.

Bockino G. J. Caracterizacion de la fauna e de la vegetation de los embalses de Cuba.— Set. Forest., 1976 N 33.

Biswas A. K. Planning and evaluation of recreation on man-made lakes. — In: Man-Made Lakes. The Accra Symposium/Ed. L. E. Obeng. Ghana, 1969.

Biswas S. The Volta lake: some ecological observations on phytoplankton. — Verh. Intern. Ver. theor. und angew. Limnol., 1969, vol. 17.

Bisnas B., Ruth I. Changes in the heterotrophic bacteria of Voltalake.— Ghana J. Sci., 1972, vol. 13, N 1.

Black R. H. Human ecological factors of significance.— In: Man-Made Lakes and Human Health. London 1976.

Bourgey A. Le barrage de Tabqa et l'amenagement du bassin de l'Euphrate en Syrie. Rev. geogr. Lyon. 1974, vol. 49, N 4.

Boyd C. E. The limnological role of aquatic macrophytes and their relationship to reservoir management.— Reserv. Fish. and Limnol., Washington, 1971.

Caldwell J. K., Symons J. M., Robeck G. G. Research on recreational use of watersheds and reservoirs.— J. AWWA, 1969, vol. 61, N 6.

Chodnicki W. L. Les effets de quelques facteurs d'environnement sur les barrages et les retenues.— 12ème Congrès Grands Barrages, Mexico, 1976, vol. IV.

Chomlong Harinasuta. Ubolratana Dam complex. Thailand. In: Man-Made lakes and Human Health. London, 1975.

Cheret I. ICOLD. XI International Congress on Large Dams. Madrid 1973, vol. IV, Q. 40.

Chundich T. K výstavbě přehrad v CSSR.— Dejopis a zemiplo, 1966, vol. 8, N 9.

Coutant C. C. Thermal pollution — biological effects.— J. WPCF, 1971 vol. 43, N 6.

Dams in Africa/Ed. N. Rubin, N. M. Worten. London: Frank. Cass., 1968.

Darrel J. Turner. Dams and ecology.— Civ. Engr. ASCE, 1971, September.
Dean J. The role of the World Health Organization. — In: Man-Made Lakes and Human Health. London, 1970.
Djerjevič V., Purić V. Die Djerdap Kraftwerke und Schiffahrtsanlage.— Wasserwirtschaft, 1970, Bd. 60, N 8.
Donat J. Flusskraftwerke und Landeskultur.— Österr. Wasserwirt., 1955, Bd. 7, N 11.
Douglas J. I. A case study in income redistribution from reservoir construction.— Water Resour. Res., 1968, vol. 4, N 3.
Duthie H. C., Ostrofsky M. L. Environmental impact of the Churchill Falls (Labrador) hydroelectric project: a preliminary assessment. — J. Fish. Res. Board Can., 1975, vol. 32, N 1.
Ewer D. W. Biological investigations on the Volta lake may 1964 to may 1965. - In: Man-Made Lakes. London: New York, 1966.
Fels E. Spanische Stauseen. — Bol. paran. geogr., 1964, N 10—15.
Fels E. Die Stauanlage und die Geographie.— Geogr. helv., 1966, vol. 20, N 4.
Fels E. Das World Register of Dams. Würdigung, Wünsche, Ergänzungen.—Erde, 1967, Bd. 98, N 4.
Fels E. Stauseen als Gegenstand geographischer Forschung. — Mitt. geogr. München, 1900, Bd. 54.
Fels E. Die grossen Stauseen der Erde. - Z. Wirtschaftsgeogr., 1970, Bd. 14, N 8.
Fels E., Keller R. World register of man-made lakes. — In: Man-Made Lakes: Their problems and environmental effects. Washington, 1973.
Frei D. G. Limnology in North America/Ed. D. G. Frei. Madison: Univ. Wisconsin Press, 1966.
Fuchs H. Der Ausbau des unteren Lech zwischen Augsburg und Mündung.— Österr. Z. Elektrizitätswirt., 1955, Bd. 8, N 12.
Gastescu P., Bryer A. Man-made lakes of Roumania. In: Man-Made Lakes. Their problems and environmental effects. Washington, 1973.
Güler P. T. Multiple purpose plan for river bottom farming.— Agr. Eng., 1965, vol. 46, N 7.
Głowicz Z. M. Stratification of kinetic origin and its biological consequences in a neotropical man-made lake. — Ecol. polska, 1976, vol. 24 N 12.
Gronf G. G., Viner A. B. Ecological stability in a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). — Proc. Roy. Soc. London B, 1973.
Gregg H. Die Technisierung grosser Ströme in Verbindung mit der Wasserkraft.— Mitt. Inst. Wasserwirt. und Konstruktiv. Wasserbau Techn. Hochsch. Graz., 1974, Mitt. 20.
Gregg H. Die grossen Stauseen der Erde. — Österr. Wasserwirt., 1975 Bd. 27, N 5/6.
Guerrero R., Roda F., Abella C., Torrella F. Optimal growth temperatures and media parametets of bacterial communities from lakes of different trophic states. — In: Intern. Assoc. Theor. and Appl. Limnol. Proc. vol. 18. Cottgr. Canada 1974. Stuttgart, 1975.
Gulhati N. D. Data of high dams in India. Simla, 1960, vol. 1-2.
Gupta P. N., Rao P. S. Resettlement problem at Bhakra. — Bhagirath, 1964, vol. 11, N 2.
House H. Zerschnittene Wasserwirtschaft im Zonengrenzraum Harz. — Z. Geopolitik, 1956, Bd. 27, N 7.
Horbeck G. E. Reservoirs in the United States. Washington: Govt Print Off., 1948.
Harding D. Lake Kariba, its hydrology and development of fisheries. — In: Man-Made Lakes. London: New York, 1966.
Hartung F. Altiranische Grosswasserbauten.— Wasser- und Energiewirt., 1972, Bd. 64, N 4.
Hernandezteran J. El agua y la revolución Mexicana. Ing. hidrául. Mex., 1969, vol. XXIII, N 4.
Hilton T. E., Kraus Yael I. I. The impact of the Volta scheme on the lower Volta floodplains. — Trop. geogr., 1970, vol. 30.
Hoffman D. A., Jones A. R. Lake Mead, a case history. In: Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects. Washington, 1973.
Hoffman R. B. Seismic activity and Reservoir filling at Oroville and San Luis Dams, California. - In: Man-Made Lakes: Their problems and environmental Effects. Washington, 1973.
Hudson N. Soil conservation. London Batsford, 1971.
Horet H. E., Black R. P., Simoiku G. M. The Nile Basin. The major Nile projects. Cairo, 1966, vol. X.
ICOLD. XI International Congress on Large Dams. Madrid, 1973, vol. V.
ICOLD. XII Congrès des Grands Barrages. Mexico, 1976, vol. IV.
Imevbore A. M. A. The Kainji dam and health. — In: Man-Made Lakes and Human Health. London, 1975.
Irvin W. H., Symons J. M., Robeck G. G. Water quality in impoundment and modifications from destratification. - Reservoir Fish. Res. Symp. Athen, 1969.
Jagiello T. Akcja wywłaszczeniowa przesiedlencza w szaxy zbiornika w Tresney. — Gosp. wodna, 1970, vol 30, N 6.
Jackson R. A. Methods to analyse the effects of fluctuating reservoir water levels on shoteline recreation use. — Water Resour. Res., 1970, vol. 6, N 2.
Jackson R. Recreation zoning and lake planning.— Town Plann. Rev., 1972, vol. 93, N 1.
Jalzbe R. Kraftwerkprojekt Ostfirol (Venediger - Glöckner). — Österr. Z. Elektrizitätswirt., 1971, Bd. 24 N 5.
Jenkins R. M. The influence of some environmental factors on standing crop and harvest of fishes in U. S. reservoirs. — Reserv. Fish. Res. Symp., Washington, 1960.
Kuditsi E. A. K. Volta lake in relation to the human population and some issues in economics and management. — In: Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects, Washington, 1973.
Koenig H. W. Talsperrenbau in Einzugsgebiet der Ruhr — Betrieb und Überwachung. - Wasserwirtschaft, 1971, Bd. 61, N 5.
Kraftwerkbau und Landschaftbild. Stille Stausee im Emstal. — Universum 1964, Bd. 19, N 6.
Kraus O. Von Schicksal der Voralpenflüsse. — Orion, 1964. Bd. 9, N 5/6.
Kronkel P. A., Cowley W. A., Minde V. A. The effect of impoundment reservoirs on river waste assimilating capacity — J. Water Pollut. Cont. Fed., 1965, vol. 37, N 9.
Kruglova V. M. Chironomids as a component of aquatic communities. — Limnologica, 1971, vol. 8, N 1.
Künstliche Seen als Wärmespeicher.— Wasserwirtschaft, 1975, Bd. 65, N 1.
Leentvaar P. The Brokopondo research project, Surinam. - In: Man-Made Lakes. London.—New York, 1966.
Leentvaar P. The Brokopondo research project. — In: Man-Made Lakes and Human Health. London, 1975.
Liebscher H. J. Ergänzung der Talsperrenstatistik der Bundesrepublik Deutschland von 1961. — Disch. gewässerk. Mitt., 1969, N 6.
Linhart J. Typologie brněž přehradních nadrží.—Sborn. geogr., 1969, N 1.
Link H. Speicherseen der Alpen. Wasser- und Energiewirt., 1970, Bd 62, N 9.
Little E. C. S. The invasion of man-made lakes by plants.— In: Man-Made Lakes. London; New York. 1966.
Little E. C. S. Weeds and man-made lakes.— In: Man-Made Lakes: the Accra Symposium. Accra, 1969.
Littlewood H. Water-based activities— demand and supply.— J. Inst. Water. Eng., 1971, vol. 25, N 2.
Man-Made Lakes. London.—New York; Acad. Press, 1966.
Man-Made Lakes and Human Health. London, 1975.
Man-Made Lakes as Modified Ecosystems. SCOP Rept 2, Paris, 1972.
Man-Made Lakes. Planning and Development/Ed. K. F. Lagler. UNDP. FAO, Rome, 1969.
Man-Made Lakes: The Accra Symposium/Ed. I. E. Obeng, Accra, 1969.
Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects. Washington, D. C.: Amer. Geophys. Union, 1973.
Martin R. O. R., Hanson R. L. Reservoirs in the United States. Geol Surv. Washington, 1966.
Marzolf G. R., Osborne J. Primary production in a Great Plains reservoirs. — In: Intern. Assoc. Theor. and Appl. Limnol., Stuttgart. 1972, vol. 18, pt 1.
McCauley J. R., Yarger H. L., James O. W., Magelson L. M., Marzolf G. R. ERTS I reservoirs monitoring in Kansas. — Remote sensing and water resources management. Urbana, Illinois, 1973.
Mermet T. W. New world register of dams reveals construction trends.— Water Power, 1973, vol. 25, N 11.
Mermet T. W. Dam building trends in North America. — Water Power and Dam Constr., 1976, vol. 28, N 2.

Michaels J. Preparatory works for dam construction at LG-2. — Eng. and Contract. Rec., 1975, vol. 88, N 8.

Mordukhai-Boltovskoi Ph. D., Datuhan N. A., Ekzertzeva W. A. Die Ausbildung der Pflanzen und Tierwelt in den Stauseen der Wolga. — Intern. Assoc. Theor. and Appl. Limnol. Stuttgart, 1972, vol. 18, pt 2.

Murthy J. K., Sreerami M., Rama Rao M. S. Leakage investigations at the Bhandardara dam. — Water, Power and Dam Constr., 1976, vol. 28, N 9.

Obras realizadas por las confederaciones hidrográficas. — Comite español de riegos y drenajes, 1960.

Paluch J. Sadlicka J., Wrobel S., Bombowa M., Broderka M., Hejduk K., Krumrauski W., Orlowska B., Skolska T. Limnological characteristics of the cascade of dam reservoirs on the Sola River, pt 1. Aquatic organisms. Pol. arch. hydrobiol., 1975, vol. 22, N 2.

Pechlaner R. Umweltsbedingungen und Lebewelt in alpinen Speicherseen. — Wasser und Abwasser, 1961.

Petr T. Benthic fauna of a tropical manmade lake (Volta lake, Ghana, 1965—1968). — Arch. Hydrobiol., 1972, vol. 70, N 4.

Proceeding of the NASA Earth Resources Survey Symposium. Houston Texas, 1975, vol. I-D. Water Resources.

Prechazkova J., Straskraba V., Poposky J. Changes of some chemical constituents and bacterial numbers in Slapy Reservoir during eight years. — In: Hydrobiological studies 2. Prague: Acad. Publ. House, 1973.

Roekle W., Forse V. Das Donaukraftwerk am Eisernen Tor-Umsiedlung und Entschädigungsproblem sowie dessen nautische Bewertung. — Österr. Z. Elektrizitätswirt., 1973, Bd. 26, N 6.

Sax K. W. Water resources site preservation on federal lands. — Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. J. Hydraul. Div., 1966, November.

Sch. Talsperren der DDR. Aufgaben und Bedeutung. — Z. Elektrizitätswirtschaft 1972, N 4.

Schindler D. W. A hypothesis to explain differences and similarities among lakes in the experimental lakes area, Northwestern Ontario. — J. Fish. Res. Board Can., 1971, vol. 28, N 2.

Scudder T. The ecological hazards of making a lake. — Natur. Hist., 1969, vol. 78, N 2.

Scudder T. Resettlement. — In: Man-Made Lakes and Human Health. London, 1975.

Sharma A. V. Recreational uses of hydroelectric reservoirs. — Civ. Eng., 1963, vol. 33, N 8.

Sibley J. K. G., Wyatt J. T. The interrelationship between freshwater bacteria, algae and actinomycetes in Southwestern reservoirs. — In: The structure and function of freshwater microbial communities. Blacksburg, Virginia, USA, 1971.

Smith M. A History of Dams. Publ. by P. Davis. London, 1970.

Speece R. E. Hypolymnion aeration. — J. AWWA, 1971, vol. 63, N 1.

Straškraba V., Prechazková I., Poposchj J. The influence of two re-regulation reservoirs on the chemical and bacteriological properties of river water. — In: Hydrobiological studies, 2. Prague: Acad. Publ. House, 1973.

Symposium on Significant Results Obtained from the ERTS-1. Washington, 1973. Vol. I-2.

Szorgzynski J. Veränderungen des geographischen Milieus im Weichseltal als Folge der Erbauung des Wasserlaufberkens in Wloclawek. — Földr. ért., 1974, Bd. 23, N 2.

Tarbela: The largest dam in the world. — Indian J. Power and River Valley Develop., 1971, vol. 21, N 1.

Tennent D. L., Tunas R. C., Gruss J. Physicochemical limnology of four reservoirs in southwest Nebraska. — Reserv. Fish. Res. Symp., 1960.

The eleventh ICOLD congress, Madrid, P. I. — Water Power, 1973, vol. 25, N 12.

The Volta resettlement experience. London, 1970.

Thomas N. O., Hurbeck G. E. Reservoirs in the United States. Washington: Govt Print. Off., 1956.

Töndury G. A. Wasserkraftnutzung und Naturschutz. — Wasser und Energiewirt., 1956, Bd. 51, N 8—10.

Töndury G. A. Talsperrenbau in der Türkei. — Wasser und Energiewirt., 1968, Bd. 60, N 11.

Töndury G. A. Problème und Bedeutung der Wasserkraftnutzung im Hochgebirge. — Wasserwirtschaft, 1960, Bd. 58, N 8.

Townsend G. H. Impact of the Bennett Dam on the Peace — Athabasca Delta. — J. Fish. Res. Board. Canada, 1975, vol. 32, N 1.

Trefethen S. B. Künstliche Seen und Naturschutz in der USA. — Umschau, 1972, Bd. 72, N 17.

TVA. — Annu. Rept Tennessee Valley authority for the fiscal year 1940, 1948, 1949, 1950, 1956, 1966, 1969.

Varlet H. Barrages reservoirs. Paris, 1966, vol. 1.

Verley J. D., Albert C. Reversal growth of rainbow trout in Flaming Gorge reservoir during the first six years of impoundment. — In: Reserv. Fish. and Limnol. Washington, 1971.

Varshney R. S. Regional sedimentation rate curves for India. — Indian J. Power and River Valley Develop., 1970, vol. 20, N 9.

Weissbach Chr. Wasser vom Bodensee. — Wiss. und Fortschr., 1956, Bd. 6, N 12.

Wezerouk C. T., Polcyn F. C. Eutrophication assessment using remote sensing techniques. — In: Proceedings of the 8th International symposium on Remote sensing of Environment. Ann Arbor, Michigan, 1973.

Wilds J. S. M. Reservoir and recreation. — J. Inst. Water. Eng., 1971, vol. 25, N 2.

World Dams Today. Tokyo, 1970.

World Register of Dams. Paris, ICOLD, 1964.

World Register of Dams. Paris, ICOLD, 1971.

World Register of Dams. Paris, ICOLD, 1973.

World Register of Dams. Paris, ICOLD, 1976.

Zaiker K. Verminderung der Verdunstungsverluste auf Seen und Talsperren. Wasser und Boden, 1961, Bd. 13, N 1.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие. *Авакян А. Б.* 3

Глава I
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОХРАНИЛИЩ МИРА 9
А. Б. Авакян, С. П. Оганьянцев, М. А. Фортунатов, В. А. Шарапов, В. В. Яковлева

Из истории создания водохранилищ 9
Учет водохранилищ и их изученность 16
Мировой фонд водохранилищ 20

Глава II
ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И СОЦИАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ 38
А. Б. Авакян

Значение водохранилищ для водоснабжения 38
Роль водохранилищ в борьбе с наводнениями 41
Рекреационное значение водохранилищ (с участием *В. Е. Яковлевой*) 44
Ирригационное значение водохранилищ 49
Значение водохранилищ для энергетики 51
Значение водохранилищ для рыбного хозяйства 56
Значение водохранилищ для водного транспорта и лесосплава . . 59

Глава III
КЛАССИФИКАЦИЯ И ТИПОЛОГИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ 63
А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, М. А. Фортунатов, В. А. Шарапов

Типизация и классификация водохранилищ по отдельным критериям и показателям 65
Типизация и классификация водохранилищ по важнейшим параметрам 72
Классификация водохранилищ по гидрологическому и гидробиологическому режимам 78
О типологии водохранилищ 82

Глава IV
ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ . . 84
В. А. Шарапов при участии *Б. А. Корнилова, В. М. Шарапова, Л. И. Эльпинера*

Изменение гидрографии территорий. *Шарапов В. А.* 84
Влияние водохранилищ на гидрологический режим рек. *В. А. Шарапов* 95
Формирование берегов и дна водохранилищ. *Б. А. Корнилов, В. А. Шарапов, В. Шарапов* 103
Влияние водохранилищ на климат, грунтовые воды, почвы, растительность и животный мир. *Б. А. Корнилов, В. А. Шарапов* . . . 118
Влияние водохранилищ на состояние здоровья населения. *Л. И. Эльпинер* 130

Глава V
ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ . 135
Составитель главы *Л. О. Эйнор*

Бактериальные процессы. *Л. Л. Гак, Е. С. Кудрина* 135
Фитопланктон. *О. М. Кожова* 145
Высшая водная растительность. *И. Л. Кореляков* 151
Зоопланктон. *Н. К. Ривьер* 158
Зообентос. *А. П. Мусатов* 165
Конечная продукция (рыбы). *А. П. Мусатов* 173

Глава VI
КАЧЕСТВО ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ 181
А. П. Мусатов, Л. О. Эйнор, Л. И. Эльпинер

Основные процессы и понятия 181
Природный состав воды в водохранилищах 183
Самоочищение воды 188
Антропогенные загрязнения 196

Глава VII
МЕРОПРИЯТИЯ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ СОЗДАНИЕМ И ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ВОДОХРАНИЛИЩ 206
В. А. Шарапов

Влияние водохранилищ на население и хозяйство 206
Особенности проектирования и осуществления мероприятий по созданию водохранилищ 215
Инженерные защитные мероприятия 221
Переселение жителей и переустройство сельского хозяйства, населенных пунктов и коммуникаций 224
Подготовка ложа водохранилищ и охрана окружающей среды . . 233

Глава VIII
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ . . . 237
А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин

Лесотерриториальное районирование, планировка и обустройство водохранилищ. *А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин* 237
Дистанционные методы исследования и возможности их применения для изучения водохранилищ. *В. П. Салтанкин* 247

ЛИТЕРАТУРА 272

ВОДОХРАНИЛИЩА МИРА

Утверждено к печати
Институтом водных проблем АН СССР

Редактор издательства
В. Б. Трапицкая

Художник
Г. А. Астафьева

Художественный редактор
В. П. Панчик

Технический редактор
И. Н. Журкина

Корректоры Л. А. Цуканович, Л. В. Харитонова

ИБ № 16036

Сдано в набор 29.11.79.
Подписано к печати 16.05.80
Т-06756. Формат 60×90 1/16.
Бумага типографская № 1
Гарнитура литературная
Печать высокая.
Усл. печ. л. 10,5. Уч.-изд. л. 20,1.
Тираж 8300 экз. Тип. зак. 1307
Цена 2 р. 80 к.

Издательство «Наука»
117864, ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90

3-я типография издательства «Наука»
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
25	Рис. 7А спр. вн. в углованных обозначениях	км³; км³ млрд. м³	млн. м³ млрд. м³
120	23 св.		
263	2-я кол. сл., 13 св.	Пьер в Аскуше;	Пьер в Асуане
264	2-я кол. сл., 1 сн.	Контеду ду Бери	Контеду ду Бори
265	2-я кол. сл., 6 св.	Мвадингуша	Мвадингуша
266	4-я кол., 1 сн.	Комаьлитов	Намекашов
268	4-я кол. 7 св.	Ледди Орей	Ледд Орей
		Сетека	Сетека

Зак. 8387. Водохранилища мира.