

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ

ВОДОХРАНИЛИЩА МИРА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА

1979

Водоохранилища мира. М.: Наука, 1979

В монографии охватывается обширный круг вопросов соизмерения и использования водохранилищ, воздействия их на окружающую среду, формирования биоресурсов и качества воды. Характеризуется распространение водохранилищ на земном шаре, особенности их функционирования в разных странах мира, приводятся классификации водохранилищ по ряду признаков. По широте охвата проблем и охватывания их на примере разных стран монография является — первой в отечественной литературе.

336732

Авторский коллектив:

А. В. АВАКИН, В. А. ШАРАКОВ, В. И. САЛТАНКИН,
М. А. ФОРТУЛАТОВ, Б. А. КОРЕШКОВ, А. П. МУСАТОВ,
С. И. ОПЧИННИКОВА, Л. О. ЭПШЕР, Л. И. ЗЫГНИНГ,
В. Б. ИКОВЛОВА, Л. З. ТАК, О. М. КОЖИВА,
И. Л. КОРЕЛЯКОВА, Е. С. КУДРИНА, Л. П. НОВОСЕЛОВА,
И. К. РИВБЕР, В. М. ШИРОКОБА.

Общественные редакторы:

чл.-кор. АН СССР Г. В. ВЯРОПАТА,
доктор географических наук С. Л. ВИСИТРИН.

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 1950 г. число водохранилищ на земном шаре увеличилось в четыре раза, а объем их водозбора в восемь раз. В это же время были созданы все крупнейшие водохранилища с объемом более 50 млрд. м³ каждая.

Водоохранилища позволяют перераспределять сток во времени, а совместно с каналами к другим водопользующим сооружениям — и по территории и служат основой разнообразного 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 миграции рыб и т. п. Создание водохранилищ непосредственно затрагивает интересы многих миллионов людей.

Несмотря на то что все процессы, протекающие в водохранилищах, и значительной мере подчиняются закономерности деятельности человека и природы всего устанавливаемого им режима эксплуатации водохранилища подчиняются закономерностям формирования и развития, присутствующим в естественных водоемах.

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 потребностей 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 объекта, попадавших в зону 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 государства 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, противоэрозийное 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 естественное равновесие, установившееся в природе, и начинается бурное развитие таких природных процессов, как перефронтрование берегов и дна, повышение уровня грунтовых вод, всплывание торфяников, изменение климата, растительности, водных экосистем и т. п.;

2) создании 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 полупора, в затоках) развиваются неодинаково;

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

5) водохранилища выступают в двух системах связей: связей природных и связей обществу-техники, 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. Выяснение изменений в природе и хозяйстве районов, на территории которых складывается влияние водохранилищ, и определение херонринтии, 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 пущевых и режим уловов 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 во 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 формируются различными в отношении как места расположения гидроузла и водохранилища, так и степени регулирования 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 предположить, скольким большим научным и практическим значением 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 исследование многих аспектов создания и использования водохранилищ в СССР существенно опережает аналогичные исследования за рубежом. Это объясняется наличием в развитых капиталистических странах лишь небольшого числа крупных водохранилищ, с одной стороны, более поздних созданных крупных водохранилищ в развивающихся странах и недостатком в последние специалисты и средств для исследования водохранилищ, с другой стороны.

За последние десять лет исследования проблем, связанных с созданием и комплексным использованием водохранилищ, активно развивается и за рубежом. Значительную роль в подведении итогов исследований и их дальнейшем развитии сыграли международные симпозиумы в Мондопе (1965 г.), Аккре (Гана, 1968 г.) и в Пожванле (США, 1971 г.), а также выход в свет в 1972 г. книги «Man-Made Lakes as Modified Ecosystems». Несомненно 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 имеется все больше. Поэтому настоятельно требуются широкие обобщения как по отдельным аспектам проблемы, так и по крупнейшим водохранилищам и их задачам.

Задача настоящей книги — синтез знаний, полученных представителями разных наук и разных стран 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 полностью 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 этой области участвующим авторским коллективом.

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, дадут ценнейшую 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 водоснабжения многих отраслей хозяйства, в первую очередь отраслей, решающих продовольственную проблему (орошение земель, рыбноводство 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 питьевые водоснабжение, водное благоустройство, обеспечение условий полноценного отдыха и др.); в связи с обострением проблемы водоснабжения 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 инфекционных болезней и др.) и в зоне влияния регулирования стока (предотвращение наводнений), так и в районах использо-

вания стока (улучшения природных и экономических условий в водах орошения и обводнения и др.).

3. Большие и основными негативные воздействия водохранилищ и регулирования ими речного стока на природные процессы как в самой реке выше и ниже плотин, так и в прилегающей береговой зоне, указывающие 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 к усугубляющих положительные изменения в природной среде.

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

В написании отдельных глав участвовали к. г. н. Б. А. Корняков, к. б. н. А. П. Мусатов, С. П. Овчинникова, к. б. н. Л. О. Эйвор, д. м. н. Л. И. Элькинсер, В. В. Яковлева и отдельные параграфы — д. б. н. Д. Э. Гак, д. б. н. О. М. Кожина, к. б. н. Н. Л. Корелякова, Е. С. Кудрина, к. б. н. И. К. Рюсер, д. г. н. Н. М. Широков. Картограммы и графики составлены при участии и под руководством к. т. н. Л. П. Новоселовой. В подготовке рукописи и иллюстрационных материалов участвовали В. К. Лебедева, Л. П. Лебедева, Н. В. Морозова, Л. А. Печалина.

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.

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 Кхосаиш (Khushaish) 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. Известно мнение, что в результате постройки этой плотины водохранилище не образовалось (Gabrecht, 1977; Schnitter, 1963; Smith, 1970). В период 2778—2563 гг. до н. э. плотинной высотой 13 м и длиной 110 м было создано водохранилище Садаэль Кафара в 30 км южнее Каира. Около 1800 г. до н. э. было создано большое водохранилище Мерис в Файюмской депрессии для пропущенных десятков тысяч гектаров. Оно наполнялось паводковой водой в периоды наводнения и могло отдавать воду в сухие периоды как на поля Файюмского оазиса, так и обратно в Нил. В отношении его конкретного предназначения имеются разные точки зрения, но сам факт его существования подтверждается данными Геродота, Диндире, Страбона и др. (Gabrecht, 1977). В Китае сооружение плотин и оросительных систем известно с III до 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 Самарры, просуществовавшая до 7 в. до н. э.; водохранилище имело известный оросительный канал Нахрван (Schnitter, 1965). Имеются свидетельства строительства водохранилищ в Центральной Анатоллии

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.) (Schmitter, 1965; Gabricchi, 1977).

Существует легенда, что разрушение Вавилона в VII в. до н. э. ассирийским царем Синхерибом было произведено с помощью специально созданной, а затем сущенного (путем разрушения плотин) водохранилища на Евфрате. В этот период в Месопотамии строились и другие плотины: у Абу-Хабба южнее Багдада (около 600 г. до н. э.), на р. Дияла северо-восточнее Багдада (около 550 г. до н. э.), в 25 км северо-восточнее Ниневии (Schmitter, 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, образующая водохранилище Марех (Королевское озеро, по Плинию) на р. Вади-Ляна 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 сохранялись до сих пор. Многие из построенных в те периоды плотины были разрушены в результате естественных процессов (землетрясения, паводки и т. п.) или людскими заплевателями.

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

В Иране плотины строились для ирригации, выпасения овец и т. д. и в более поздний период, на рубеже I и II тысячелетий н. э., в том числе Бенде-Эмир (между Исфahanом и Ширазом), Савех, Караб и др. Плотина Савех на р. Фахрехан высотой 40 м и длиной по гребню 120 м просуществовала около 100 лет, как об этом можно судить по сохранившимся доныне отложениям. До сих пор эксплуатируется водохранилище Бенде-Эмир; оно может служить примером комплексного использования водохранилища древности, предназначенного для орошения, получения механической энергии (в настоящее время мельница заменена гидроэлектростанцией), судоходства и водоснабжения. Сохранилось также водохранилище Караб в Центральном Иране, хотя оно сильно заросло (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 Карнальдо с водохранилищем объемом 10 млн. м³ (существует до сих пор). Известны остатки древних гидротехнических сооружений в районе Сеговии и Терраконы. Вероятно, в эту эпоху водохрани-

лища 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 Рива. 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, близ г. Арля сохранились остатки каскада из 16 мельниц. Широкий размах строительство мельницам плотин получило в VIII—IX в. особенно в XII—XIII вв. Водохранилища, образующие мельничные плотины, 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 Герце объем отдельных водохранилищ, созданных для промывки руд, достигал нескольких миллионов кубических метров. Создавались водохранилища и для орошения земель, как, например, водохранилище Альматаси (XIV в.) в Рельсе (XV в.) в Испании (World Register..., 1971).

Значительные гидротехнические сооружения строились также майя, 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 Пискуя длиной 1,2 км и шириной 0,8 км (Smith, 1970). Многие плотины для забора воды строились из камня майя; хорошо известно водохранилище у древнего города Тикаль. Для водоснабжения городов майя строили многоэтажные открытые резервуары с противодавлением покрывным дам; некоторые из них сохранились до XIX в. Грандиозные по тем временам гидротехнические сооружения строили ацтеки, например дамбу Искоуалькоцотль длиной 16 км, которая разделяла оз. Тескоко и образовала водохранилище Мехико (Палени, 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 увеличивавшаяся потребность в механической энергии (до периода широкого распространения паровых машин) для придельно-ткацких, металлообрабатывающих, лесопильных, торфяных предприятий; нередко они использовались и для

Таблица 1

Динамика количества и доли объема водохранилищ емкостью более 100 млн. м³ по категориям*

Категория	до 1900	1901-1910	1911-1920	1921-1930	1931-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1979	Средняя	Всего
Европа	9 3,7	1 0,3	7 2,0	16 36,4	46 77,0	34 46,0	222 312,3	788 143,8	74 16,2	64 45,0	432 572,3
Азия	5 1,7	4 1,3	7 1,0	10 3,6	13 8,7	12 3,4	131 306,7	171 332,6	60 287,7	113 316,5	534 1437,1
Африка	1 0,1	—	—	5 3,7	10 12,3	—	18 37,6	18 314,4	18 45,4	20 113,2	96 264,9
Северная Америка	25 8,3	18 16,3	50 36,7	77 60,3	83 110,3	114 135,0	166 364,5	224 323,7	48 130,4	60 345,7	303 1563,4
Центральная и Южная Америка	1 0,3	2 0,7	3 5,8	2 1,4	6 8,3	8 8,4	20 36,5	54 86,6	27 65,1	54 323,2	157 354,8
Австралия	—	—	—	4 6,1	5 4,0	1 0,5	19 17,1	15 8,1	14 26,1	12 13,8	70 70,7
Итого	41 13,8	25 16,4	60 43,2	114 60,5	165 214,6	169 173,3	505 1213,6	676 1717,2	201 579,9	316 1079,4	2357 5131,9

Примечание. * В числителе — число водохранилищ, в знаменателе — общий объем их водоемкости в млрд. м³.

Таблица 2

Динамика создания водохранилищ объемом более 100 млн. м³ в некоторых странах, кв²

Страна	до 1900	1901-1910	1911-1920	1921-1930	1931-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1979	Средняя	Итого
Нидерланды	—	—	0,4	0,2	2,3	1,6	10,7	30,3	4,8	1,7	39,0
СССР	3,0	—	—	11,1	59,3	3,2	329,8	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	16,4	60,7	100,6
Китай	—	—	—	—	—	6,2	100,1	52,2	30,0	2,3	164,4
Япония	—	—	—	—	—	0,2	2,7	2,9	0,7	0,6	7,3
ЮАР	0,1	—	—	0,6	3,1	—	0,8	1,7	0,6	7,1	22,6
Канада	—	7,8	12,0	16,0	2,7	46,2	88,8	301,2	90,0	200,4	765,3
США	8,4	7,0	18,4	23,6	105,3	89,3	136,2	297,3	35,7	36,1	747,6
Мексика	—	—	4,0	—	2,4	8,0	19,7	35,3	13,8	9,2	93,2
Аргентина	—	—	—	—	0,5	1,0	0,4	3,3	24,8	38,9	58,6
Бразилия	—	0,3	0,4	1,4	0,5	0,8	30,8	62,6	36,0	134,2	268,0

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

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

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

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

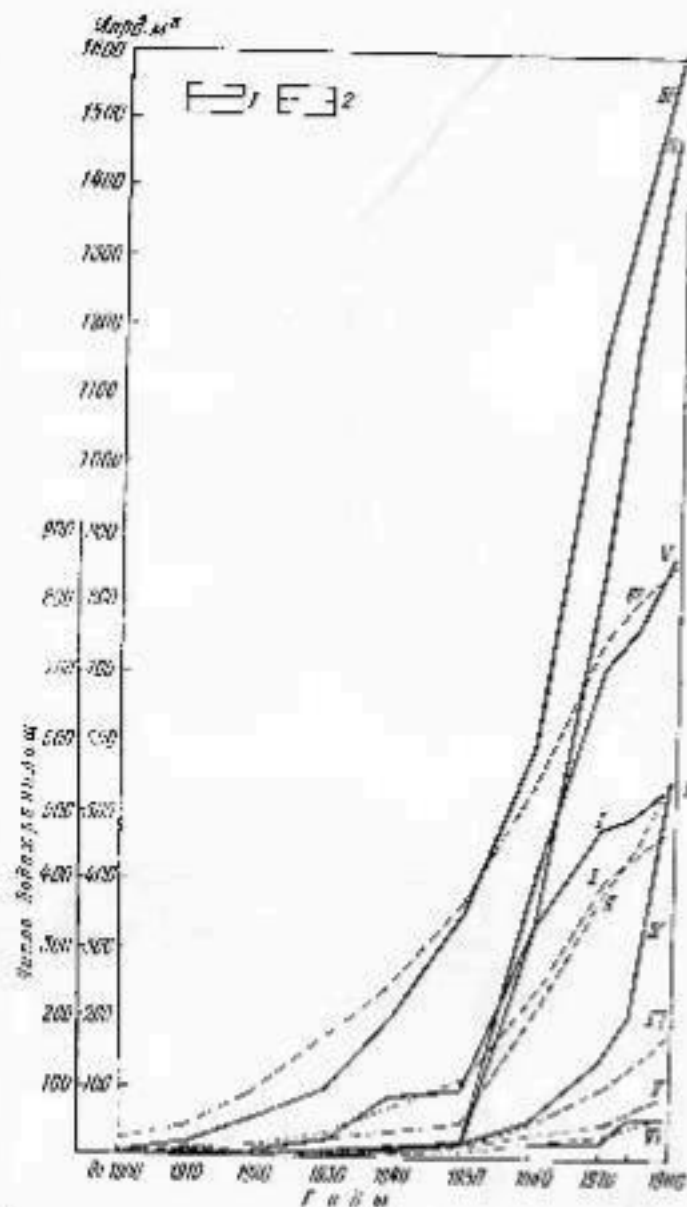


Рис. 1. Динамика роста количества и общего объема водохранилищ емкостью более 100 млн. м³ по материкам

I — количество водохранилищ; II — суммарный общий объем водохранилищ, млн. м³; III — Канада; IV — Британия; V — Франция; VI — Япония; VII — Австралия

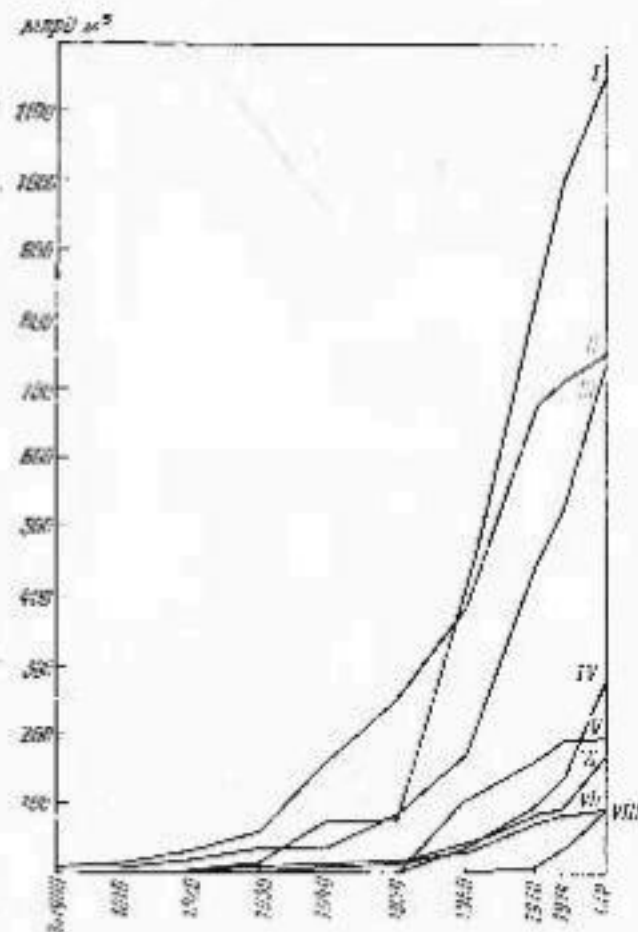


Рис. 2. Динамика общего объема водохранилищ емкостью более 100 млн. м³ по отдельным странам

I — СССР; II — США; III — Канада; IV — Британия; V — Франция; VI — Япония; VII — Австралия; VIII — Япония

так; вначале гидроэлектростанции строили преимущественно в расчете на использование нерегулируемого 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, промышленности 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, прикрупных 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, состоявшихся 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 Анжере (France) (Man-Made Lakes, 1969). В мае 1971 г. состоялся международный симпозиум по водохранилищам в США (г. Ноксвилл), на котором было представлено около 150 докладов представителей многих наук из разных стран мира. Доклады сжато опубликованы в книге Man-Made Lakes (1973).

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

Проектирование, подготовка и запуск 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, была США; первый реестр появи-

ся здесь в 1948 г. (Harbeck, 1948), затем вышло его второе издание (Thomas, Harbeck, 1956) и третье (Martin, Harbeck, 1966). В них учтены водохранилища полезным объемом более 6,2 млн. м³. В этих реестрах приводятся следующие данные: название, рака, реской бассейна, географические координаты, водосборная площадь, площадь водного зеркала, полины, издержки и нервные объемы водохранилища, коэффициент регулирования стока, и т.д. использовались, год заповедия, организация (фирма), владеющая водохранилищем или мест. утилизующая его; приводятся также итоговые данные по штатам и в целом по стране.

Значительно большее число показателей вошло в Кадастр водохранилищ СССР (составленный ВНИИГом в нескольких выпусках), где приводятся данные более чем по 1000 водохранилищам объемом свыше 1 млн. м³ (Литви, 1969). До выпуска этого кадастра в СССР публиковались лишь данные о водохранилищах, как правило, общего назначения (по водохранилищам рыбохозяйственного назначения — Лузская, Садина, 1956; Антипова, 1961; по водохранилищам гидротехническим — Алакин, Шаратов, 1962, 1970, 1977). По другим странам сколько-нибудь подробных сведений о водохранилищах и 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, шлюзах, испарении; для 20 водохранилищ приводятся также данные о затопляемых землях, объеме и стоимости мероприятий по переселению населения, устройству дорог, мостов, храмов и т. д. (Gulhai, 1950). Данные о водохранилищах с небольшим числом показателей опубликованы и исследованы также по некоторым другим странам: Мексике, Японии, Турции, Чехословакия, Болгарии, ФРГ и др. (Hernandez, 1969; Tondary, 1968; Link, 1970; Узуню и др., 1966; Liebscher, 1969; Oberas realizados, 1969; Fels, 1964 и др.).

Первые попытки обобщить материалы о водохранилищах мира были сделаны Ф. Я. Нестерукон (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 плотинных 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 (1000), 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 хранилищ, подготовленных для Мирового регистра плотин (Канада, Италия, Австрия, Швейцария и др.).

Мировой регистр плотин, позволяя вполне 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 (Вятский каскад, 1969; World Dams..., 1970, 1974, 1978 и др.).

На основе первого издания Мирового регистра плотин Э. Фельс составил более полное, чем у М. А. Фортунятова, сводные данные о водохранилищах земного шара (Fels, 1963, 1967, 1969) и предложил создать Мировой регистр водохранилищ, указав желательный состав показателей этого регистра¹. С учетом соб-

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 материалам и работам (Авакян, Овчинникова, 1971; Avakian, Fortunatov, 1972; Авакян, Яковлева, 1973; Авакян и др., 1973, 1974; Шаранов, 1973; Авакян, Шаранов, 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 водохранилища объемом не менее 100 тыс. м³, либо представляют интерес из-за большой пропускной способности, длины и др. Поэтому в регистре не учитываются некоторые сравнительно крупные водохранилища, образованные плотинами высотой менее 10 м (например, при подпоре озера);

б) полнота данных по разным странам не одинакова: в одних учитываются все водохранилища, образованные плотинами, в том числе иногда и водосъемные емкости и 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 некоторым 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 Черчилля сооружено 32 плотины и дамбы; кроме того, в Мировом регистре учтены крупные запятые дамбы;

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

¹ Предлагаемые Э. Фельсом показатели водохранилищ характеризуют лишь их параметры и морфологию; по плану задания, наряду с данными охватами в Мировом кадастре водохранилищ должны были приводиться показатели, характеризующие их влияние на окружающую среду: наличие реки и стока, площади затопления земель по основным用途ям, размеры переселенных и переселяемых, переселенцы, стоимость сооружения.

при создании водохранилищ, и также показатели экологического значения водохранилищ (площадь орошаемых земель, выработка электроэнергии, забир воды для водоснабжения, вылов 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 мелких водохранилищах не по всем странам достаточно полны и надежны; водохранилища объемом более 100 млн. м³ лучше описаны в литературе.

По всему фонду водохранилищ полные объемы 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 расходами (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 автором по World Register, 1970)

Страна	Водохранилища полным объемом 100 млн. м ³ и более, % к общему фонду	
	число	объем, млн. м ³
СССР	86	86
Зарубежная Европа	89	86
В том числе:		
Английский регион	9	40
Италия	10	46
Индия	14	93
Япония	2	47
Китай	26	96
ЮАР	10	92
США	17	81
Канада	26	98
Бразилия	22	94
В среднем по указанным странам	15	96

Таблица 4

Количество и объем водохранилищ мира (объемом каждое 100 млн. м³ и более)

Континент	Количество	Объем, млн. м ³
Европа	462	570,3
В том числе СССР	89	377,5
Азия	564	1463,1
В том числе СССР	162	720,8
Африка	96	864,4
Северная Америка	863	1616,4
Центральная и Южная Америка	187	551,5
Австралия и Океания	70	75,7
Итого	2257	5431,6
В том числе СССР	252	1137,3

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: членом Комиссии по большому плану (ICOLD) за основу принимались данные, опубликованные в Мировом регистре почти с добавлением в отдельные случаи необходимых дополнений, уточнений и исправлений на основе литературных источников. По остальным странам собраны, обобщены и интерпретированы сведения, опубликованные в технических, географических, биологических и других журналах, книгах, справочниках и атласах. При наличии явных показателей по одному и тому же водохранилищу предпочтение отдавалось источникам страны, где находится водохранилище. При отсутствии таких данных применялись данные, 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 по всем странам 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 3

Количество и объем существующих и строящихся водохранилищ, объектов
100 млн. м³ и более

Страна	Количество	Объем объекта, млн. м³	В том числе водохранилища объемом 1 млрд. м³ и более	
			количество	объем, млн. м³
Европа				
Австрия	10	1363	—	—
Албания	2	830	—	—
Бельгия	21	5012	—	—
Великобритания	13	2518	—	—
Венгрия	3	260	—	—
ГДР	4	636	—	—
Греция	7	10333	3	7950
Ирландия	3	803	—	—
Испания	60	29015	6	11210
Италия	20	3820	—	—
Нидерланды	1	8000	1	6000
Норвегия	26	23270	7	11892
Польша	11	2506	—	—
Португалия	10	4942	1	1100
Румыния	7	5006	2	2505
СССР	90	377510	35	326700
ФГР	6	1190	—	—
Финляндия	15	22044	7	21223
Франция	27	7873	1	1270
Чехословакия	13	3630	—	—
Швейцария	22	2308	—	—
Швеция	20	38070	8	27580
Югославия	22	5886	2	2780
Азия				
Афганистан	4	3852	1	3690
Бангладеш	1	5305	1	5305
Вьетнам	3	6715	3	4550
Индия	153	165616	31	126182
Индонезия	7	4560	2	4500
Ирландия	1	230	—	—
Ирак	6	114160	6	114100
Иран	17	10510	5	11180
Камбоджа	1	1120	1	1120
Китай	141	184389	34	156318
Южная Корея	10	20364	5	18320
Лаос	1	7000	1	7000

Таблица 3 (продолжение)

Страна	Количество	Объем объекта, млн. м³	В том числе водохранилища объемом 1 млрд. м³ и более	
			количество	объем, млн. м³
Ливия	1	230	—	—
Малайзия	4	7326	2	6917
Пакистан	30	23850	3	24010
Сарави	2	12150	1	11000
СССР	103	750810	29	737230
Тайланд	16	50011	6	47006
Турция	21	56414	8	53308
Филиппины	5	4333	1	2300
Шри-Ланка	6	1853	—	—
Япония	33	7284	—	—
Африка				
Алжир	7	1473	—	—
Ангولا	3	4254	2	4454
Бермудские острова	2	20250	2	20250
Гана	1	148000	1	148000
Гвинея	2	17423	1	17200
Замбия	3	101307	1	100088
Камерун	4	5450	3	5800
Кения	2	305	—	—
Занзибар	1	1773	1	1773
Кот-д'Ивуар	1	1250	1	1250
Мали	2	385	—	—
Мальдивы	1	2000	1	2000
Марокко	12	9807	4	6300
Мозамбик	3	67814	3	67884
Нигерия	1	15000	1	15000
АРС	1	148700	1	148700
Сенегал	1	10000	1	10000
Судан	4	6490	3	7550
Танзания	2	1780	1	1185
Тунис	4	677	—	—
Уганда	1	204800	1	204800
Эфиопия	2	2550	1	1000
Южная Родезия	7	2340	1	1370
ЮАР	28	23640	6	17950
Австралия и Океания				
Австралия	58	61192	16	48409
Новая Зеландия	12	14558	4	11235

Таблица 3 (окончание)

Страна	Количество	Полный объем, млн. м³	В том числе водохранилищ: объемом > 1 млрд. м³ и более	
			численное	объем, млн. м³
Северная Америка				
Канада	130	765534	54	700185
Мексика	50	93223	18	79963
США	679	747831	140	690380
Южная и Центральная Америка				
Аргентина	31	86913	8	82223
Бразилия	96	266266	33	247843
Венесуэла	15	142080	4	138788
Доминиканская республика	1	170	—	—
Колумбия	9	5166	2	2600
Куба	12	2862	1	1620
Никарагуа	2	1225	—	—
Панама	3	10054	2	9130
Парагвай	2	1650	1	1400
Перу	8	2448	1	1240
Сальвадор	3	2050	1	1430
Суринам	1	12400	1	12400
Уругвай	2	7220	1	6650
Чили	13	8838	2	5420
Эквадор	1	160	—	—

С учетом суммарных данных и 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 азиатскому шару составляет примерно 5,5 тыс. км³ (12 000 водохранилищ КНР как-то отсутствуют по ним данным об объеме не учитываются).

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

Подсанный объем водохранилищ — это важный показатель, характеризующий степень использования члнп 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

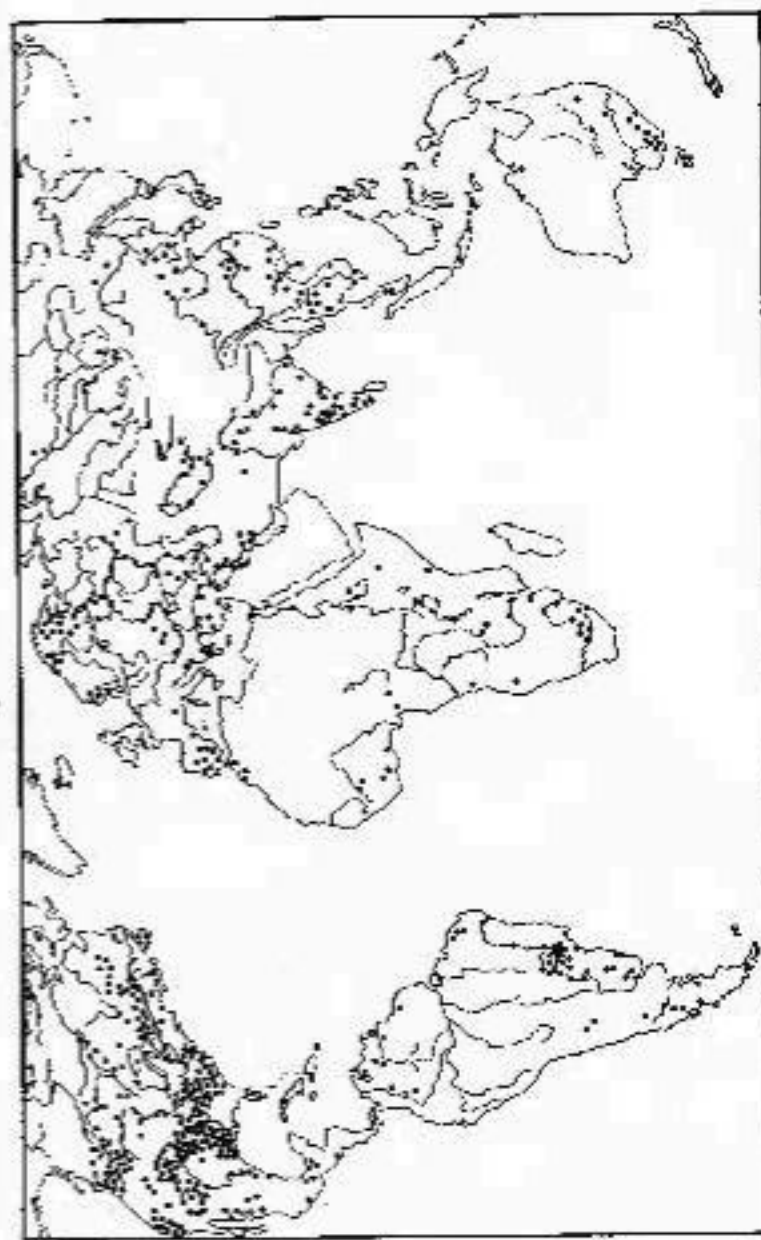


Рис. 3. Схематическая водохранилищ мира с полным объемом более 1 км³

го водохранилищ 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 с суммарной площади водного зеркала имеются для водохранилищ СССР (Авакян, Шарапов, 1977), США до 1963 г. (Martin, Hanson, 1966), Испании (Obras realizadas..., 1969; Grengg, 1974), Чехословакия (Chmelíček, 1966), Польши (Babinski, 1974), Румынии (Gustescu, Breyer, 1973; Man-Made Lakes, 1973), ГДР (Sch. Talsperren, 1972), Индии (Gulhati, 1960), всех японских водохранилищ (Link, 1970), Японии, ФРГ и Тисмакки (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 сведений по суммарному миру объединить данные о площади водного зеркала водохранилищ весьма затруднительно ввиду неполноты этих данных, разновременности их подсчета, 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: поному объему и высоте плотин. 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 и зависит от морфологии долины водохранилища. Отклонения от этих коэффициентов характерны для водохранилищ, включающих подпорные плотины и образующих плотинки, гребусирующие плотины, большие запасы 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 зеркала водохранилищ по отдельным странам и частям света приведены в табл. 7. Данные таблицы показывают, что суммарная площадь зеркала водохранилищ (с учетом озера и подпоро) близка к 600 тыс. км².

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

Таблица 6

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

Регионы и страны	Объем водохранилищ	Водохранилища с высотой плотины			Водохранилища с площадью зеркала	
		количество	Общая площадь, км ²	Площадь, км ²	Количество	Общая площадь, км ²
Европа	9	5	1 051	45	4	8,7
СССР	40	30	64 408	730,3	10	365,0
Испания	25	15	5 507	78,9	10	23,7
Остальная Азия	18	11	6 306	131,4	7	96,2
Австралия	12	5	567	29,4	7	32,7
Африка	17	11	27 400	618,2	3	6,6
Канада	51	27	75 727	497,2	4	128,9
США	112	65	28 507	366,6	17	41,4
Латиноамериканская Америка	31	14	9 943	181,1	17	120,5
Итого	315	216	190 582	2704,0	90	615,9

* П.С. не приведены по критерию высоты плотины. Для СССР приведены данные о площади зеркала водохранилищ.

разномасштаб и характеризуется следующими данными. Различия обуславливаются в первую очередь уровнем развития энергетики, промышленности и коммунального водоснабжения, необходимостью борьбы с наводнениями и т. п. На развитие водохранилищ в отдельных речных бассейнах, экономических районах и т. д. большое влияние оказывают географические условия (рельеф, геологическое строение, гидрологический режим и др.).

Среднми материка 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 и Европы фоне 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 невелико главным образом из-за отсутствия водохранилищ Японии, Китая и Индии. По Китаю в Мировом реестре отмечено 500 водохранилищ суммарным объемом 203 км³, хотя, как уже указывалось, имеется значительно большее число водохранилищ (ICOLD, 1973; Mellor, 1976). В связи с этим представляется, что показатели по водохранилищам Китая в этих таблицах следует считать заниженными.

Таблица 7

Площадь зеркала подокранных шир (данные географические)

Континент	Площадь зеркала, тыс. кв. км	
	всего	в том числе Север и Юг
Европа	80	45
Азия	120	85
Африка	110	35
Северная Америка	220	150
Центральная и Южная Америка	55	35
Австралия и Океания	4	3
Итого по всем шир	360	300

Таблица 8

Распределение подокранных шир (объемов более 100 кв. км) по географическим поясам, %

Материки	Географические пояса						Итого
	Суб-экваториальный	Умеренный	Суб-полярный	Тропический	Суб-тропический	Полупустынный	

Количество подокранных шир

Европа	1	75	24	—	—	—	100
Азия	1	24	34	9	30	2	100
Африка	—	—	43	24	33	—	100
Северная Америка	2	30	44	4	—	—	100
Центральная и Южная Америка	—	3	24	35	32	5	100
Австралия и Океания	—	49	64	31	6	—	100
Итого	1,5	43	36	8	14	1,5	100

Подный объем

Европа	5	86	10	—	—	—	100
Азия	4	47	28	7	13	1	100
Африка	—	—	3	19	78	—	100
Северная Америка	14	55	27	4	—	—	100
Центральная и Южная Америка	—	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. Подокранные шир США: А — распределение количества, и подного объема; Б — полный объем (кв. км) в расчете на 1 человека

1 — до 100; 2 — 100—200; 3 — 200—400; 4 — 400—1000; 5 — 1000—1500; 6 — 1500—2000; 7 — 2000—3000; 8 — 3000—4000; 9 — 4000—10000; 10 — 10000—100000; 11 — свыше 100000

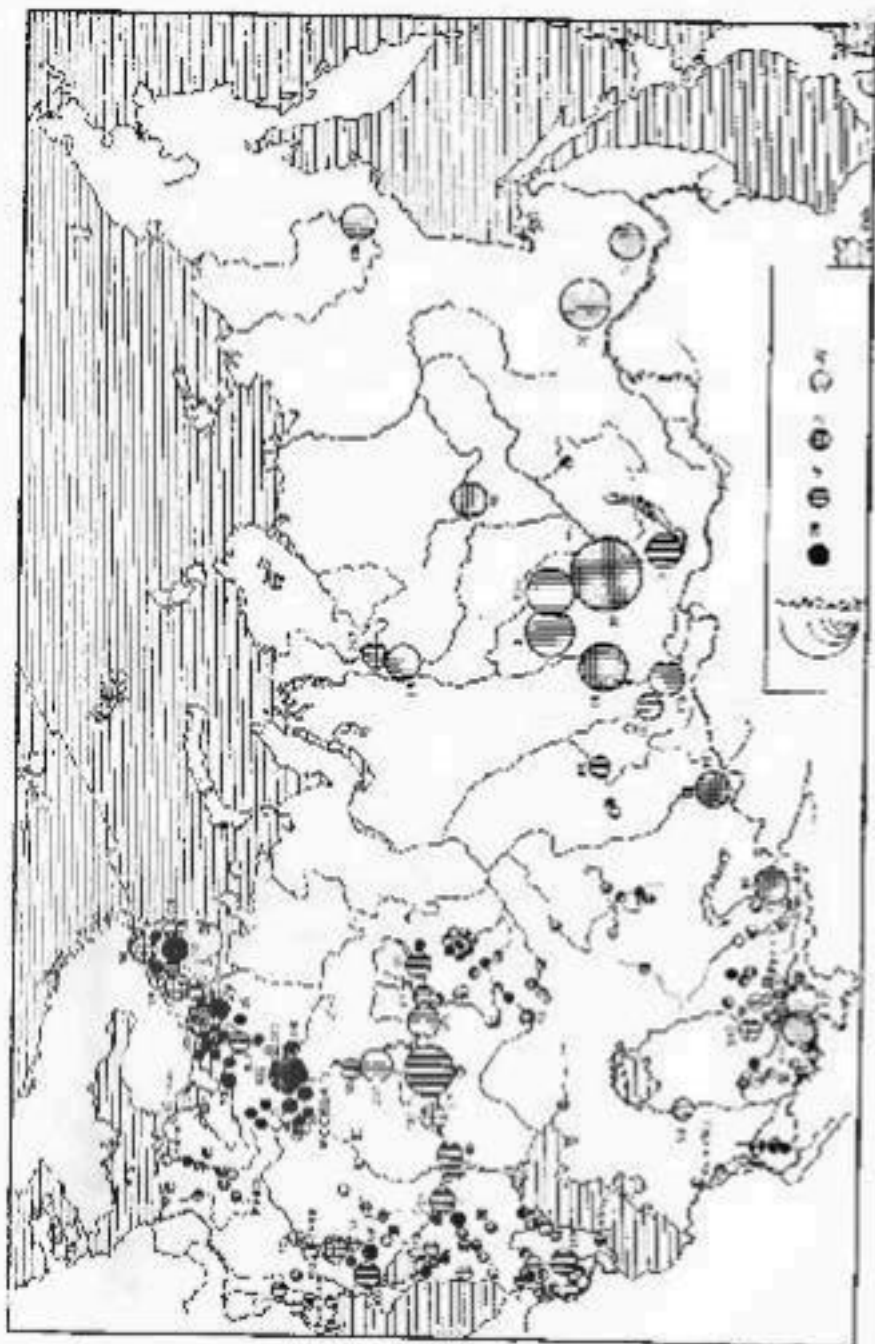


Таблица 9

Количество и объем водохранилищ (емкостью 100 млн. м³ и более как 2000)
по бассейнам некоторых рек мира

Рек	Площадь, тыс. км²	Средняя гидро- энергетическая мощность, млн. кВт	Водохранилища с емкостью более 100 млн. м³		
			число водохрани- лищ в бассейне	средний объем во дохрани- лища, км³	общий объем во дохрани- лищах в бассейне
Дунай	817	205	38	13,3	0,00
Рейн	224	70	30	2,7	0,08
Луара	95	22	14	8,8	0,30
Таго	84	15	18	11,6	0,70
Волга	1300	240	37	200,3	0,81
Днепр	504	53	8	44,3	0,15
Ока	2690	401	13	75,2	0,18
Амур	2880	845	6	473,0	0,81
Урал	375	39*	11	100,0	2,50***
Габрел	173	28**			
Хвостовый с Мансур	3220	586	259	412,7	0,71
Каспий	860	251	77	403,8	0,41
Параи (с Паранетом и Уругвай)	4246	650	33	185,8	0,30

* 2 е. Бразилии

** 1 е. Швейцарии

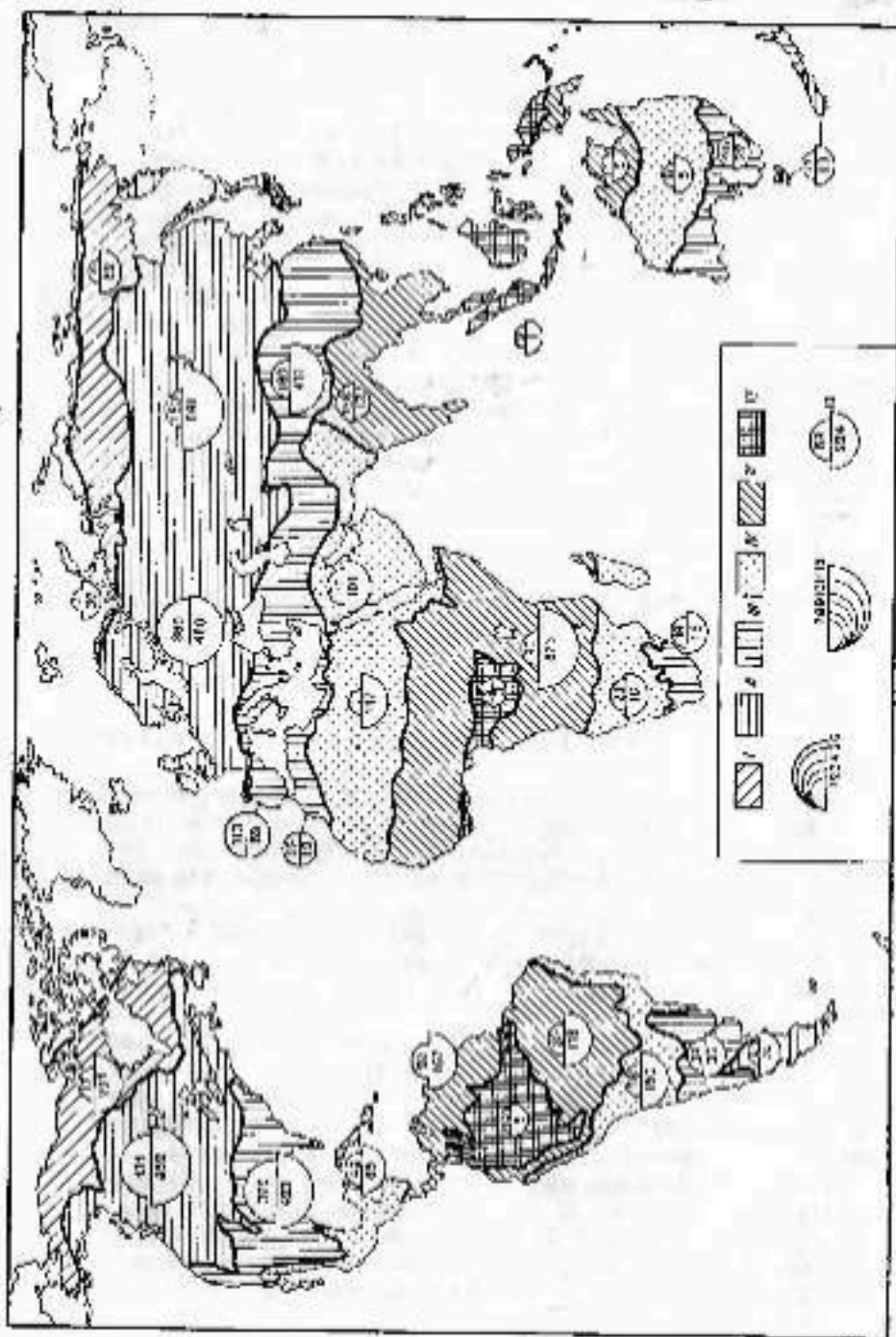
*** Расчеты сделаны по данным о среднем уровне воды в реке и ее длине, а также о площади водосбора.

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. 9. Схема размещения водохранилищ с полным объемом более 100 млн. м³ по административным районам СССР

Объем водохранилища, млн. м³: I — более 100; II — 50—100; III — 25—50; IV — 10—25; V — 5—10; VI — 1—5; VII — 0,1—1. Период создания водохранилища: VIII — до 1921; IX — 1921—1929; X — 1930—1939; XI — после 1939 г.



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

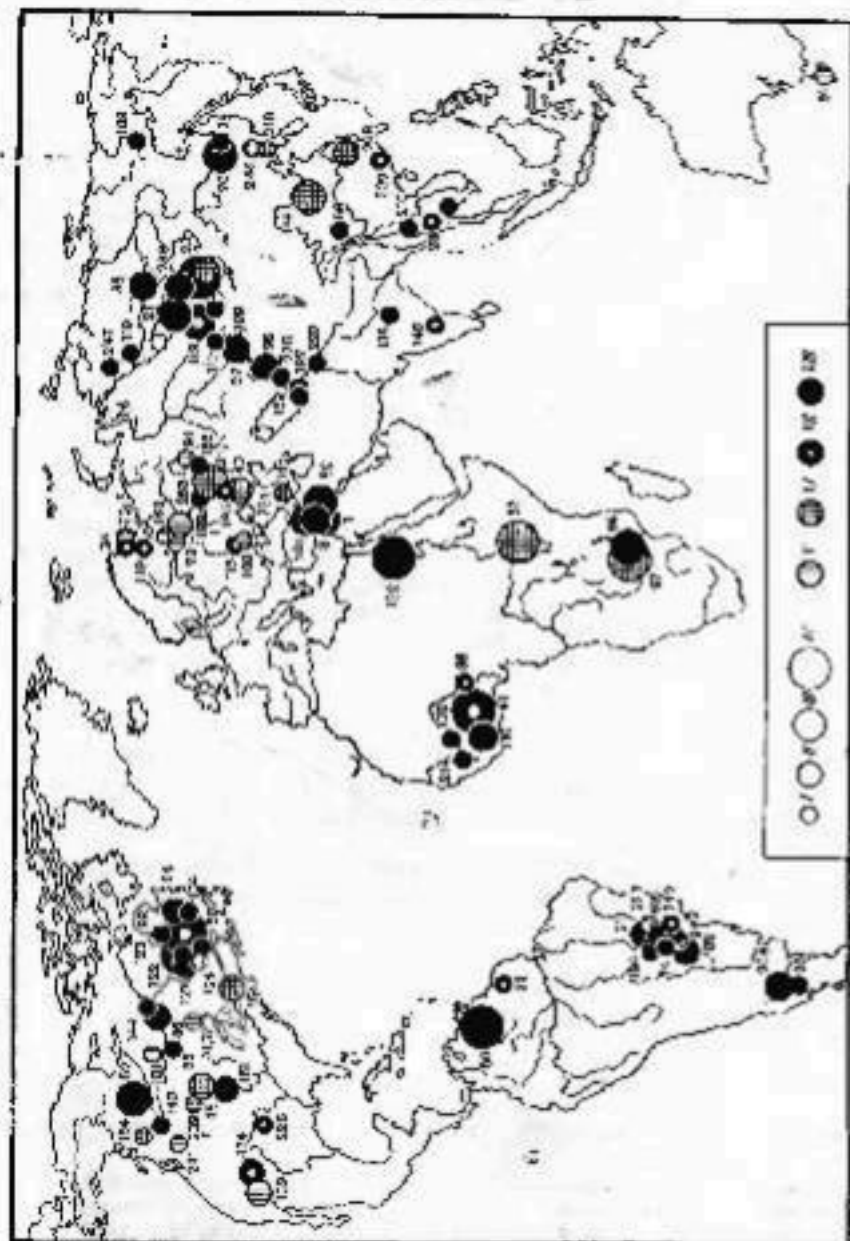
Создание крупных водохранилищ существенно изменило орошаемость Египта, Ганы, Суринама, Замбии, Малави, Ирака и отдельных районов СССР, США, Мексики, Бразилии, Испании, Греции, Индии и некоторых других. В этих и других странах большие водохранилища в сочетании с многочисленными небольшими искусственными 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, Днепро-Донецкий, Сырдарьинский, Амударьинский, Ангаро-Енисейский каскады в СССР, гидроэлектростанции Акосомбо с водохранилищем Волла в Гане, Гури (Эль Мантеко) в Бенине, Садзаль Аали (Насер) в Египте, Ван Бломштейн (Брокеланде) в Суринаме, Эль Чокон и Серрос Колорадо в Аргентине, Асад в Сирии, Кебан в Турции, Кабора Басса в Мозамбике, некоторые крупнотоннажно-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 объемом более 100 млн. м³ по природным зонам земного шара

Примечание: I — субарктический; II — умеренный; III — субтропический; IV — тропический; V — субэкваториальный; VI — экваториальный. Количество водохранилищ: I — 1-10; II — 11-100; III — 101-200; IV — 201-300; V — 301-500. Суммарный объем, млн. м³: I — 1-10; II — 11-100; III — 101-200; IV — 201-300; V — 301-500. VI — в числителе — количество водохранилищ, в знаменателе — их суммарный объем, млн. м³



преобразованиями землепользования, постоянными населенными пунктами, медицинским обслуживанием 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 Мил в США (36,7 км³), а по площади — Рыбинское в СССР (4550 км²). В настоящее же время самые крупные по объему, не считая озер-водохранилищ Виктория на р. Нил (204,8 км³), — это долинныя водохранилища Бритское (169,3 км³), Кариба (160,3 км³) и Насер (157 км³). По площади, не считая озер-водохранилищ Виктория (76000 км²), Байкал (32960 км²), Онтарио (19684 км²) и Онежского (9930 км²), крупнейшими стали водохранилища Волга (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 1951; VI — 1951—1959; VII — 1961—1970; VIII — после 1970 г. и проектируемые.

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И СОЦИАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ

Проблема обеспечения быстро растущего населения в развивающихся хозяйствах водой и сохранения чистоты воды стала для многих стран мира одной из насущнейших проблем. Ее рассмотрение выходит далеко за рамки настоящей книги. Но в освещении социального и экономического значения создания и использования водохранилищ, хотя бы для наиболее крупных стран, потребовалось бы много томов, поскольку водохранилища неразрывно связаны с природой и хозяйством этих стран и играют существенную роль в жизни человека. 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 водоупотребления на земном шаре приведено в табл. 10 и 11. Удовлетворять растущее водопотребление крутящих тортидов за счет подземных вод и консервированных поверхностных водотоков становится все труднее и труднее, поэтому во многих странах мира оно осуществляется в основном за счет опреснения.

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 водохранилища.

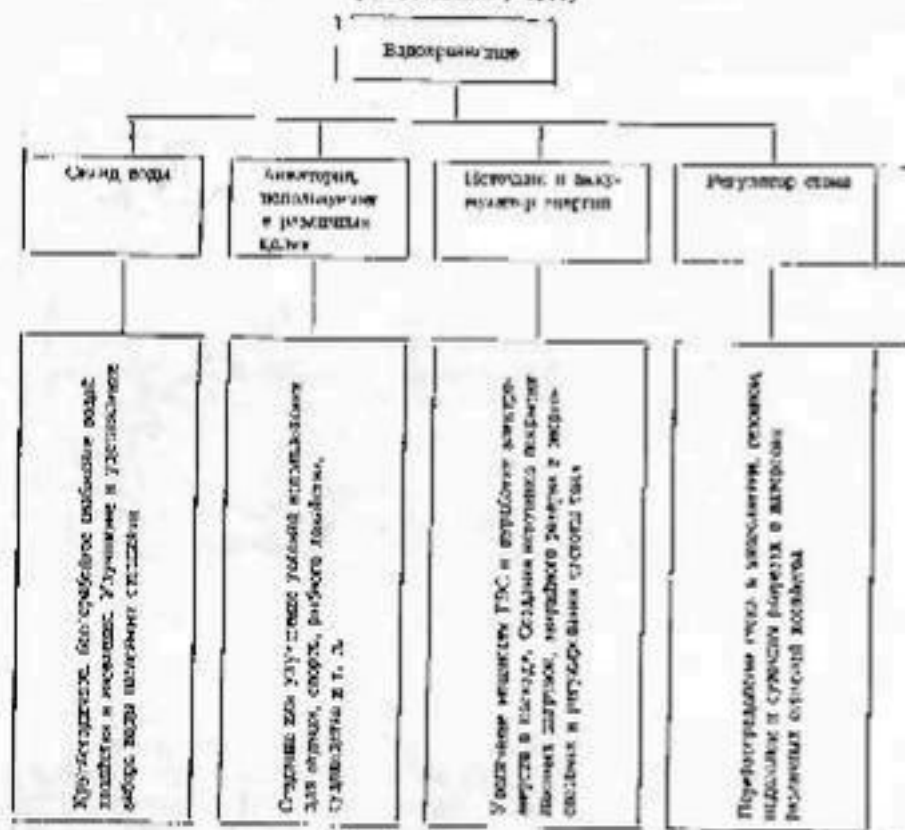
Накапливая плодородный слой, восстанавливая обесчелюваную круглогодичное снабжение водой потребителей, улучшают и удешевляют условия забора воды насосными станциями подорожное, поддерживая необходимый уровень и уменьшая высоту подкачки воды; усиливает, как правило, мутность,



Рис. 12. Использование водных ресурсов Волжско-Камского каскада

[illegible]

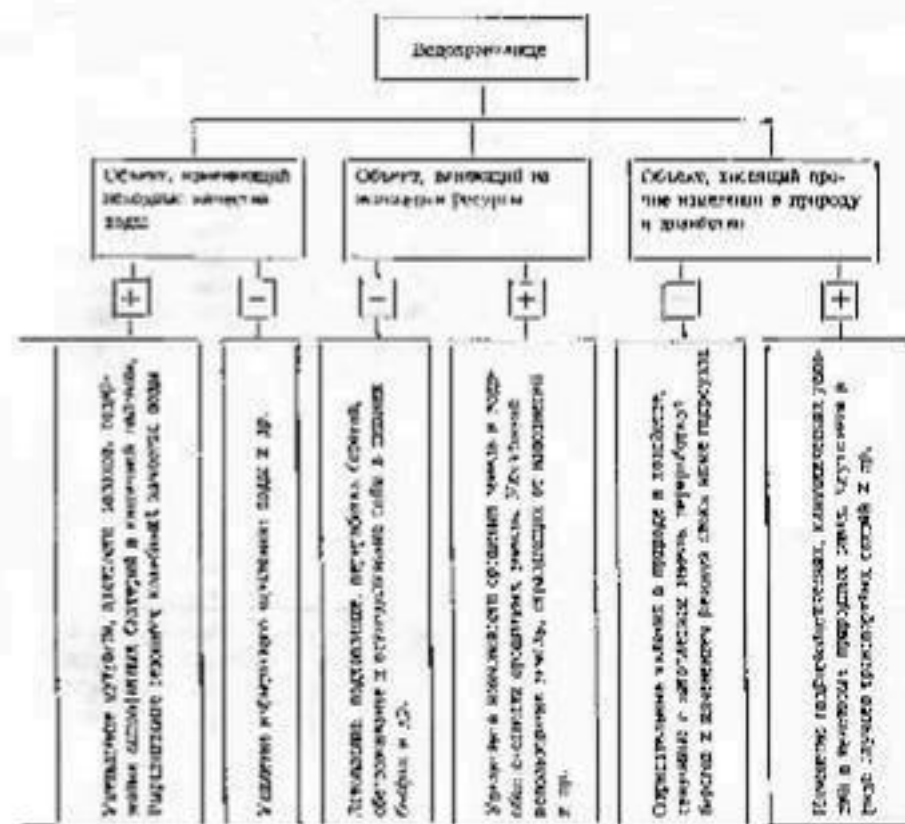
Схема 1
Экономическое и социальное значение водохранилищ
(А. Б. Лавин, 1977)



цветность, запах, кислотность 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 водоснабжения населения и промышленности широко используются также водохранилища, предназначенные для других целей.

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



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

Ресурсоистребитель	1900	1950	1970	1975	2000
Коммунальное хозяйство	20	60	120	150	440
	3	11	20	25	88
Промышленность	30	180	510	630	1900
	2	9	20	28	70
Сельское хозяйство	350	800	1000	3100	3400
	200	450	1500	1600	2600
Водохранилища (испарение)	0	4	70	110	340
	0	4	70	110	340
Океан (с испарением)	400	1100	2800	3000	6000
	270	850	1000	1800	3000

Таблица 11
Распределение водопотребления по континентам *
(Мировой водный баланс..., 1974)

Континент	1900		1970		Прогноз на 2000 г.	
	км ³	%	км ³	%	км ³	%
Европа	40	10	320	12	720	12
	20	7	100	7	240	8
Азия	270	68	1500	56	3200	53
	200	74	1130	73	2000	67
Африка	30	8	130	5	380	6
	25	6	100	7	350	8
Северная Америка	80	15	540	21	1700	22
	20	7	180	11	580	9
Южная Америка	5	1	70	3	300	5
	3	1	50	3	130	4
Австралия и Океания	1	0	23	1	60	1
	0,8	0	12	1	30	1
Всего (с округлением)	400	100	2600	100	6000	100
	270	100	1000	100	3000	100

* В числителе — потребление, 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 сих пор времени не могут с

ними справиться. Первая комиссия для разработки плана борьбы с наводнениями была создана в Риме еще до времени 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. Передки 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 лавинами, 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 подымаются 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, смывает и повреждает дома, промышленные и коммунальные здания, мосты, разрушает железные и автомобильные дороги, трубопроводы, линии электропередачи и связи, размывает и заносит песком поля, огороды, сады, огорода 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 эксплуатации 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 прибрежных 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 регулируемых водохранилищ дает возможность на участках рек, расположенных ниже плотин, ликвидировать полностью или частично бедствия, связанные с наводнениями, создать условия для экономического освоения долин, снизить затраты на строительство в различных отраслях хозяйства в связи с резким уменьшением наводковых 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. Колумбия (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 лодках, катерях, водных лыжах, рыбная ловля, охота на водоплавающую дичь и т. п.), эстетическое воздействие живописных ландшафтов, смены 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 взаимосвязанных факторов: типом ландшафта, формой, глубиной и площадью водоема, уклоном берегов, температурой воды, удаленностью от крупных городов, обеспеченностью подсыльными путями и т. д.

Рекреационное использование водохранилищ представляет особенно большой интерес в силу ряда причин (Авьян, 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 (Авьян,

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 будни, 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 гидроэлектростанций 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 и нижних течениях гидроузлов из-за резких суточных и сезонных колебаний уровня и снижения температуры воды иногда ниже 17°, при этом массовое купание исключается. К числу неблагоприятных условий для отдыха также относятся: «загрязненные» 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 зеленых насаждений, являющиеся отступами уреза воды при работе водохранилищ и др.

За последнее время проблема 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% курортных учреждений и более 90% учреждений кратковременного пригородного отдыха. Из 8 тыс. зон отдыха, имеющих 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 время вблизи водоемов растет необходимость использовать в рекреационных целях водохранилища, в том числе и мелиоративные.

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 и прибрежной зоны 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 численности рекреационных комплексов и зоны водохранилищ. Для этой цели необходимо использовать систему дифференцированной платы за рекреационные услуги (поскольку, как показывают зарубежные исследования, существует прямая связь между платой за пользование рекреационными объектами и его посещаемостью), организацию экскреционного транспорта к удаленным водохранилищам и т. д.

Оптимальное использование в рекреационных целях акватории и прибрежной зоны водохранилищ возможно лишь при удовлетворении требований рекреации к режиму уростей, заключающихся в основном в необходимости поддержания постоянного или близкого к нему уровня водохранилища. Американские исследователи считают, что в период наибольшего количества 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, зонам отдыха в ряде случаев наносится большой ущерб добывающей промышленностью, а в отдельных случаях строительством и другими видами промышленного предпринимательства. 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 исключается 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 по времени (Авакин, Яковлева, 1976).

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 отдельных домовиков), нетронутой природы, общественного отдыха (парки, места для шиканов, 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 зонирования были приняты структура пляжа, ширина так называемого влажного пляжа (т. е. участка желководий до глубины 1,5 м), уклон и физико-географическая характеристика берегов, растительность; каждому из этих элементов дана 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 водоснабжающих водохранилищ. Однако водоснабжающие организации действуют весьма осторожно при решении вопроса о возможности рекреационного использования водоснабжающих водохранилищ главным образом из-за опасности ухудшения качества воды (Catswell et al., 1969; Littlewood, 1971; Willis, 1971).

Одновременно значение отдыха на берегах водохранилищ не исключает необходимости экономической оценки их рекреационных возможностей.

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 экологической оценке использования водохранилищ должны учитываться уменьшение заболоченности, повышение производительности труда, экономия в 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-Йорк в Бассетте 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. (Ньюман, 1969). Анализ расходов и прибылей от рекреации на водохранилище Льюис (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 попуска в межливневый период (Дауглас, 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) довести до тесной взаимосвязи между отдельными типами водохранилищ и возможными на них видами отдыха, между территориями и акваторией при определении административной вместимости;

2) динамики природных явлений и процессов в прибрежной зоне водохранилищ (переработка берегов, подтопление, эрозия мелководий, отчленение заливов вдольбереговым перемещением наносов, в последствии возможный намыв их впадинами 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, укреплениe берегов, устройство спуска к воде, превращение прибрежных лесов в лесопарки, оборудование площадок для кемпингов, стоянок автомашин, разведение рыбы и т. п.);

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

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 площади орошаемых земель составляют 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 сосредоточены в Китае, Индии, США и СССР.

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

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

Таблица 12
Площадь орошаемых земель, млн. га
(Мировой водный баланс..., 1974)

Континент	1900	1950	1970	2000
Евразия	3,5	10	21	45
Азия	30	65	170	300
Африка	2,5	5	9	18
Северная Америка	4	13	25	35
Южная Америка	0,5	3	7	15
Австралия и Океания	0	0,5	1,0	3
Всего (округленно)	40	96	234	420

размеры орошаемой площади за счет более полного использования стока, подвигать воду на поля в нужном количестве в соответствии с оптимальными сроками полива, уменьшить подтопленные площади самотечного орошения, снизить затраты на подкачку воды при малом орошении (Авакян, Шаранов, 1977). Регулирование стока водохранилищами необходимо и потому, что потребности орошаемых земель в воде существенно изменяются по сезонам и в годы различной влажности. Различны количество поливов в разных условиях, длительность одного полива (изменяется от 5 до 12—15 дней) и потребности в воде в разные периоды жизни растений. Суммарные расходы в период полива могут измениться в отдельные дни в 5—7 раз; в некоторые дни поливы не нужны вовсе (Бахтваров, 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 Кайракумское, Чардарьинское, Токтогульское и Андиянское 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 оросит сотни тысяч гектаров новых земель (табл. 13).

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

Таблица 13
Роль водохранилищ в бассейне Сырдарьи в развитии орошения

Водохранилище	Годы	Приrost орошаемых земель, 1950 г.	Увеличение водообеспеченности земель орошаемых, тыс. га
Андиянское	Кайракум	40	400
Чардарьинское	Тирет	150	300
Чардарьинское	Сырдарья	420	110
Токтогульское	Нарын	550	1800
Всего по бассейну		1160	2160

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 плотины 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 составил 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, образующего ямок построенной плотиной высотой и 110 м, составляет 157 км³ (Ворошилов, Пиквазон, 1970). Намечаемое увеличение орошаемых площадей мира к 2000 г. на 200 млн. га потребует создания и реконструкции во многих странах мира нескольких тысяч водохранилищ.

5. ЗНАЧЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Развитие современной энергетики невозможно без создания водохранилищ. В них накапливаются 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 других 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).

Соприкосновение гидростанций связано с созданием плотины различной высоты, что приводит к подпору рек и образованию разных по площади и объему водохранилищ. Подавляющее большинство водохранилищ осуществляют суточный и недельный, а многие — сезонное и многолетнее регулирование стока, благодаря чему гидроэлектростанции обладают многими ценными качествами.

При использовании гидроэнергетических ресурсов без регулирующих водохранилищ большая часть стока сбрасывается впустую, поскольку установка турбин в расчет 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 приходят малые расходы и мощность ГЭС мала. В результате гидроэлектростанции без регулирующих водохранилищ имеют низкие коэффициенты использования стока, часто не превышающие 0,1—0,2, и низкую эксплуатационную эффективность. Таким образом, неравномерность естественного стока служит второй природной предпосылкой необходимости создания водохранилищ — регулирование их стока позволяет развить установленную и увеличивает гарантированную мощность ГЭС, общую выработку энергии и степень энергетического использования стока, что повышает экономический эффект использования гидроэнергетических ресурсов.

Помимо природных предпосылок, вытекающих из необходимости создания водохранилищ для гидроэлектростанций, нужно учитывать технические и экономические факторы. Как известно, электроэнергия потребляется неравномерно как в течение суток и недель, так и в течение года. Несовпадение во времени бытовых расходов воды в реке с графиком выдачи электроэнергии в энергосистеме может быть устранено или ослаблено только в результате перераспределения речного стока между отдельными годами, сезонами, днями, неделями и часами суток. При наличии ныне по течению другого водохранилища сезонного или многолетнего регулирования полноводный объем нижележащего водохранилища должен, как правило, обеспечивать лишь регулирование боковой притока 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 графиком 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 многолетнего аварийного резерва в энергосистемах возрастает в связи с увеличением единичной мощности агрегатов тепловых станций и непрерывным развитием мощных линий электропередачи. 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 гидроэнергетика. 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, подпорающих снизу работающие гидроэлектростанции. Режимы работы гидроэлектростанций часто ограничиваются требованиями к режимам урона для нижних бьефов, предель-

ляемыми городами, а промышленными объектами, водным транспортом, сельским, рыбным и коммунальным хозяйством. После подпора ГЭС интереснейшим способом водохранилищем эти ограничения снимаются или смягчаются, и гидроэлектростанция может в большей мере удовлетворять требования энергосистемы. В некоторых случаях шире гидроэлектростанций создают специальные небольшие водохранилища для перераспределения расходов по known, 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 увеличивается в последующий период каждые 7—10 лет. Сейчас 80% электроэнергии во всем мире, а том числе и в СССР, производится 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 прехоточном водоснабжении мощностью 2—4 млн. кВт требуют ежегодно 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 капитальных вложений, 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 влияние 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 еще и загрязненных, неизбежно 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 в 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 водоснабжения.

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; но именно сейчас, строительство ГАЭС будет широко развиваться. 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 переманный режим их работы ведет к резкому изменению режима расходов и уровней в нижних бьефах гидроузлов, что отрицательно сказывается на использовании водных ресурсов другими участками водохозяйственного комплекса и отрицательно влияет на качество воды, биологическую продуктивность водоемов и рекреационное использование рек. Покрытие же пиков нагрузок тепловыми и атомными электростанциями, как уже указывалось, нецелесообразно.

Выход из создавшегося положения специалисты многих стран ищут 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), а также гидроэлектростанция с обратными агрегатами, работающими попеременно в насосном и турбинном режимах, и трубопроводы, соединяющие оба бассейна со днами ГАЭС. В период пиковых нагрузок в энергетической системе энергии тепловых и атомных электростанций используется для подкачки воды из низового бассейна в верховой бассейн ГАЭС. В период же низких вод 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 вставки и обвалования (как пра-

вило, по всему периметру бассейна). По мере развития ГАЭС и увеличения их установленной мощности (до 2 млн. квт) стали использовать в качестве низового бассейна естественные ссады или водохранилища эксплуатируемых гидроэлектростанций. В Советском Союзе в настоящее время эксплуатируется Киевская и проектируется Кайндорская 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 низовый бассейн. Забор и теплые сток десятков миллионов кубических метров воды в верховой бассейн и сброс ее снова в низовое водохранилище оказывают существенное влияние на режим урентей, течения, а следовательно, и на все гидрологические процессы и водные. Так, например, создание Кайндорской ГАЭС приведет к ежесуточным колебаниям уровня Каунасского водохранилища в пределах 55—60 см, что в 2 раза превышает максимальные колебания уровня за сутки на этом водохранилище за все время его эксплуатации. В месте сброса воды на верховой бассейн существенные изменения претерпевает режим и скорость течений. 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 почвы.

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

6. 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 происходят в рыбном хозяйстве в бассейнах ряда рек мира (Волга, Днепр, Мюсисипи, 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 сужения запасов рыб и их условий весьма условны, а количественная оценка влияния гидростроительства на рыбное хозяйство развита 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 выхота половодья вызывают сокращение нерстовых площадей, несвоевременное образование полей, пригодных для нереста, тибель ткры и производителей на перестилицах, сокращение сроков пребывания молоди на местах откорма, в связи с чем она прерывается скатывается с перестилиц. Отрицательные последствия зарегулирования стока водохранилищами для рыбного хозяйства особенно сильно сказываются в маловодные годы. Для сохранения стада производителей проходных рыб следует обеспечить использование перестилиц, расположенных выше плоту гидроузлов. В этом отношении большие значение имеют рыболоды и рыбоподъемники. Большой известностью пользуются успешно работающие рыболоды для пропуска лососевых рыб на реках Колумбия, Тулома и рыбоподъемники для осетровых на р. Волге. Эффективна также перевозка в специальных судах-рыбопакетителях производителей, скапливающихся в шхунных бассейнах 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 условия рыбы в водохранилищах обьчно возрастают во много раз по сравнению с условиями на этих же участках реки в бытовом состоянии. Образование водохранилищ создает условия для организации новых прогрессивных форм ведения рыбного хозяйства на внутренних водоемах с уаправленным формированием промыслового стада путем зарыбления водохранилищ молодько осетровых рыб, сига, леща, судака, сазана и др., а также путем акклиматизации ценных рыб (в СССР, например, норвежская налим, карась, радужная форель, толстолобик, белый амур и др.).

Расположение обьчно 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 экономическое 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 искусственный 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, из которых многие окупаются за 1—2 года: строительство рыболовных заводов, рыбопитомников, нерестово-якорных хозяйств¹ и организации в заливах водохранилищ товарных рыбных хозяйств для выращивания наиболее быстро-растущих рыб (кара, пелядь, ряпуха, нельма, чир, толстолобик, белый амур и др.). Большие перспективы сулит разведение растительноядных рыб. Для укрепления кормовой базы необходимо в широких масштабах осуществлять акклиматизацию мидий, моллюсков 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, гидро-биологический, гидротермический режим водохранилищ), в изучении эффективности устанавливаемых запретов и льгот на лов рыбы и применении различных типов орудий лова, в изучении 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 тузовых рыб.

Относительно небольшая доля речного транспорта в общем грузообороте многих стран объясняется сезонностью его работы, несправедливостью в некоторых районах внутренних водных путей с основным направлением грузопотоков, изолированностью речных бассейнов, как правило, малыми глубинами на незарегулированных участках, «ступенчатостью» глубин в пределах одного и того же бассейна, наличием перекатов и порожистых участков с большими скоростями течения, неустойчивостью судоных фарватеров и другими причинами. Устранить многие из перечисленных недостатков внутренних водных путей можно лишь при строительстве гидрозолон 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 строительству 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 судоходный ход прокладывают не по руслу реки, а практически по любой трассе. За счет спрямлений дна судоходного хода на водохранилищах по сравнению с длиной хода по реке сокращается в среднем на 5—15%. С созданием водохранилищ в несколько раз увеличиваются ширина судоходного хода и радиусы закругления. Это дает возможность повысить скорость движения судов на 10—15%.

Водохранилища служат эффективным, а иногда единственным средством улучшения естественных 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 вверх по течению, более ранний ледостав и более позднее освобождение водохранилищ от льда в северных районах.

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

¹ Неизбежная эффективность существующих ПХХ объясняется тем, что молодь выпускают из шлюзов прямо в реки или в каналы в водохранилища. Большое количество молоди так уничтожается хищниками, что для гибели из-за недостатка пищи. Молодь надо вывозить и доращивать на мелководных участках (Семанов, 1969).

Длительность ледостава на продолжительность навигации часто не влияет. Ноборот, с созданием водохранилищ в некоторых районах появилась реальная возможность организации круглогодичной навигации с использованием ледоколов. Физическая длительность навигации на водохранилищах по сравнению с ее продолжительностью до создания водохранилища не уменьшилась, эксплуатационный период при регулировании стока даже увеличился, так как ослепло 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 гарантируемых глубин; иногда резкие посадки уровня воды приводят к авариям. Особенно велики затруднения водного транспорта из-за недельного регулирования, так как с уменьшением полусков в выходные дни резко снижаются глубины, в связи с чем невозможно в полной мере использовать повышенные полуски в остальные дни недели. Отрицательное влияние суточных и недельных колебаний расходов проявляется также в резком переформировании перекатов и быстротечности судовых пропусков.

Работа водного транспорта осложняется также в период перекрытия русла в первоначальном заполнении водохранилища. Перекрытие русла вынуждает прекращать судоходство на несколько дней, недель, а иногда и на больший срок. Навытия значительных объемов стока на первоначальном заполнении водохранилища также затрудняют судоходство. Работу речного транспорта осложняют и отдельные нарушения режима.

Несмотря на указанные отрицательные последствия, преобразование режима рек водохранилищами в СССР в комплексе 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 Калининграда протяжением 364 км. Обеспечение достаточных и относительно единообразных глубин позволило перейти на Волге, Днестре и других реках к эксплуатации самоходных судов большей грузоподъемности вместо использовавшихся ранее барж. Внедрение телеходов 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 совершали 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 превозмогут отрицательные. Себестоимость перевозок грузов по водохранилищам в зависимости от увеличения гарантируемых глубин по сравнению с себестоимостью перевозок по реке в естественном состоянии уменьшится в 1,5—5 раз, а капиталоинвестиции в речной транспорт — в 1,2—3 раза.

Для хозяйства некоторых стран большое значение имеют перевозки леса по рекам. Препращение 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, в следовательно, и судоходной способности рек (в результате создания Камского водохранилища судоходная способность Камы возросла вдвое); в обеспечении более постоянных уровней в период паводков; в возможности укрощения стихоточия формировочных режисов, что позволяет повысить механизацию и автоматизацию рейсовых работ. Большое значение для улучшения сплота лесу имеет снижение скоростей течения на притоках и местах выклинивания подпора. Зарегулирование стока приводит к ликвидации мелевого сплава, при котором происходит большие потери древесины, и создает возможность для перехода на тракторную перевозку леса в котлах, 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, быстро исполняемые условия сплава, сокращение длительности

КЛАССИФИКАЦИЯ И ТИПОЛОГИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

ности навигации, резкое снижение скорости движения плотов вниз по течению, сложные условия прохода и переформирования плотов при суточных и педельных 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 водонепроницаемых типов плотов секционной конструкции, обеспечивающей с наименьшими затратами времени провозку 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 разнообразными глубинами и с большой шириной судного хода и более постоянными уровнями на всем протяжении сплава.

Восьмая перспектива перевозки леса в судах; при этом практически полностью ликвидируется аварийность, потери древесины и задержка его водохранилища, 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 вышпортов, отпадает необходимость в рейдах формирования плотов, в плотоубежищах; в ряде случаев отпадает необходимость в просушке леса.

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

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

Учитывая требования к формально-логическим построениям, к которым относится и вопросы систематизации, необходимо также установить наиболее общее родовое понятие и соподчиненные понятия и дать их определение. 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 плотины, долгие отверстия в нижней части плотин, насосные станции). Водобмен прудов в основном определяется природными факторами и лишь иногда частично регулированием сброса воды. Однако существуют некоторые типы прудов, например рыболовные, которые оборудованы регулирующими сооружениями и обеспечивают полное управление запасами воды.

В разных странах приняты разные количественные критерии, отличающие водохранилища от прудов. В США водохранилищем (reservoir) называется водоем, созданная регулирующая емкость которого превышает 5 тыс. акрофутам (6,167 млн. м³, Тимпая, Насбек, 1966). Водоемы, имеющие малый полезный объем называются прудами (pond). В большинстве стран Западной Европы и в водохранилищах 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 промышленные предприятия (например, гидроэлектростанции) или централизованные подорожки 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 перерезан плотинной, а искусственные водоемы, аккумулирующие сток временных паводков, неадекватно от их размеров отнести к прудам, с нашей точки зрения, недостаточно обосновано. В странах с жарким 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.

Водохранилищам, по нашему мнению, следует считать искусственные и естественные (озерные) водоемы с замедленным водосменным объемом более 1 млн. м³, уровень режим которых искусственно паводков и постоянно регулируется (контролируется) гидротехническими сооружениями с целью накопления и последующего хозяйственного использования запасов воды. Следует отметить, что использование воды водохранилищ не обязательно связано с ее безаварийным изысканием 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 от-

личия и в размерах. Бассейны и резервуары обычно гораздо меньше водохранилищ, хотя искусственные 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 направления 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, перерезанных плотинами (в том числе и расположенные на притоках подтоках); зарегулированные озера (озера-водохранилища); наливные водохранилища, водохранилища в местах выхода грунтовых вод и в карстовых районах; водохранилища, созданные в прибрежных участках моря и эстуариях, отдаленных от них дамбами (Аляски, Шарана, 1977).

Во всем мире наибольшее количество водохранилищ расположено в долинах рек, перерезанных плотинами. Их размеры по площадям колеблются от десятков до нескольких тысяч квадратных километров. Среди водохранилищ, созданных в речных долинах, наибольшие по площади водохранилища Волжца, 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 субэкваториальном 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 питающих 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 широтах в пределах субэкваториального 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 запасах; 3) водоемы в ценовых участках ирригационных систем, являющиеся коллекторами сбросных вод.

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

Особую группу водоемов, связанных с эксплуатацией каньонов, 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 плотин на реке, вытекающей из проточного озера. В некоторых случаях сооружаются не одна, а несколько плотин, которые позволяют направлять запасы аккумулятивной 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 реестром и другими подобными изданиями.

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

К озерам-водохранилищам можно отнести водохранилища, образованные в результате подпора озер при относительно небольшом изменении основных параметров этих естественных водоемов. С определенной долей условности можно пренебречь, 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 Окари, Виллмер, Нилхот в Канаде, Онежское, Топозеро, Пелозеро, 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 позво-

ляет обеспечивать водоснабжение, пропашку, поливку воды для улучшения судоходства, а в предгорьях лесной зоны также попуски в период мочевого сплава леса. Многие небольшие, но глубокие горные озера превращены в энергетические водохранилища и речных горных странах на всех континентах.

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

Передви случаи, когда озера находятся в местности, затопляемой при сооружении водохранилища, в результате чего озеро становится составной частью акватории нового водоема — озером 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 — плесом протопленного в Белозерский плес Шекснинского водохранилища. В качестве примера, когда «ископченное» водохранилищем озеро находится в средней части водоема, можно указать Верхнетуломское водохранилище, в состав которого входят зарегулированные Нотозеро и Туломозеро. Некоторыми водохранилищами «ископскими» по несколько озер; примерами могут служить Иояское, Верхневожское, Верхнетуломское водохранилища в СССР, водохранилища Черчилл, Катл-Репидс и др. в Канаде, Гурдон и Тасманит и др. Особенно характерным примером может служить водохранилище Черчилл на п-ве Лабрадор, созданное на водоразделе рек Гамильтон, Уайтфаш Фолс, Норт Ривер, Портленд-Крик в результате строительства нескольких десятков плотин и дамб. В акваторию водохранилища Черчилл вошли озера Мешикан, Сентер и др.

При запасах 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. Волгные животные и растения таких водоемов составляют основу биотопы, из которого затем формируется биотоп нового водохранилища, что важно принимать во внимание при гидробиологических исследованиях и прогнозах.

К специфической (по генезису создания) категории относятся водохранилища, питающиеся подземными водами (в частности включающие в качестве емкостей 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 Врбац II, Кокин-Брод, каскады водохранилищ на реках Мережица 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 эстуариях и водохранилища среди полысеров. В обоих случаях соленая и солоноватая вода постепенно вытесняется пресной, пригодной для технического водоснабжения.

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

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

Типизация по географическому положению. Водоохранилища — объекты зональные. В зависимости от тех или иных потребностей народного хозяйства водохранилища можно соотносить с любой географической зоной, тем где это возможно условия рельефа и стока. Однако не 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. Водоохранилище может быть создано в условиях как сильной, так и умеренной расчлененности рельефа в пределах возвышенностей, холмистых равнин, предгорий, плато, плоскогорий, горных долин и каньонов. Характер рельефа местности, где создаются водохранилища, определяет площади затопляемых 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 по водохранилищам равнин, предгорных и плоскогорных территорий,

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

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

Водоохранилища предгорных и плоскогорных областей имеют следующие отличительные особенности: большая максимальная (до 70—100 м и более) и средняя (до 35 м) глубины; 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 экватора и небольшой затопляемой землей, редко превышающей десятки квадратных километров; чаще всего большими глубинами (нередко более 100 м); очень большой глубиной сработки (до 100 м и более); небольшим измещением площади водного зеркала при сработке; отсутствием значительной переработки и подтопления берегов, склоновых водоторных скальных породами; интенсивным затоплением наносов в связи с большой величиной твердого стока горных рек и обильными деформациями берегов.

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

Таблица 14
Классификация водохранилищ по высотному положению

Тип водохранилища	Климатические пояса				
	Субарктический	Умеренный		Субтропический и тропический	Субэкваториальный и экваториальный
		Самый холодный	Холодный		
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
Расчлененные	—	Выше 1500	Выше 2000	Выше 2500	Выше 3000

ложены, приводятся в табл. 14 (предложена М. А. Фортунатовым).

Предлагаемая схема может рассматриваться как черное 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 данными по классификации озер.

Наиболее распространена схема разделения водоемов земного шара на несколько типов по числу полных циркуляций водной толщи, особенностям их термического режима и расположению в различных зонах и высотных поясах, предложенная Хитчинсоном и Лофлером 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 микстические водоемы, состоящие из покрытых льдом. Невозможность полного перемешивания верхнего слоя меромиктического озера (миксомелия) с нижним слоем (меломелия) объясняется повышением содержания в воде нижнего слоя минеральных веществ. Поэтому градиент плотности воды в хемоклии на границе этих слоев всегда виден, тем градиент, обусловленный разницей температуры воды в разные сезоны. Меромиктические водоемы (озера, фиорды и внутренние моря) встречаются в разных районах земного шара, их распространение глобально.

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

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

тических водохранилищах Кариба, в результате бурного развития в толще воды микрочеток и ослабления процессов циркуляции образуется мощный слой воды, содержащий сероводород. Поэтому данное водохранилище сходно с меромиктическими озерами, характеризующимися 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 дополнения. 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 Кузнецкое, Кременское, Иовское, Кяхинское, Космодемьянское) создаются устойчивые стратификации водной толщи, промежуточные между реками и озерами.

На ряде крупных водохранилищ в начале лета формируется резко выраженный слой температурного скачка, который позднее часто разлагается на три слоя: теплый, холодный и теплый. В конце лета и осенью в пределах большей части акватории чаще всего наблюдается голомиктическое распределение температур. В тех водохранилищах, площадь зеркала которых невелика, а глубина и колебания уровня незначительны, главной причиной нарушения расслоения водной толщи является не ветровое перемешивание, 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, условиям природной среды

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

У широких асероидных 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 асероидных водохранилищ с чрезвычайной извилистой береговой линией, большим количеством островов и заливов расположено в районах, ледяшафты 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 ППУ долины притоков превращаются в глубокие извилистые заливы и поронкообразные эстуарии.

Очень сложную конфигурацию имеют некоторые водохранилища с отдельными асероидными 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 вылообразной 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 остаются постоянными, а значительно варьируют 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 акватория покрыта льдом.

При сопоставлении объема водохранилищ с объемами зарегулированных озер (асероидных 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 полезный прирост (также весьма условным).

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

Таблица 15
Классификация водохранилищ по размерам

Категория водохранилищ	Полезный 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
Уменьшающиеся	0,1—0,01	20—2
Малые	Менее 0,01	Менее 2

Обобщенной классификации водохранилищ по глубине до настоящего времени нет; при сопоставлении же необходимо пользоваться едиными 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 озеро Байкал (1620 м), подпертое плотной Иркутской ГЭС, далеко выходит за пределы шкалы. В то же время большинство глубоких зарегулированных озер мира, таких, как Онежское (121 м), Венерн (100 м) и многие другие, по глубине вполне сопоставимы с водохранилищами, образованными высокими плотинами. К 1970 г. наиболее глубокими водохранилищами мира считались Гранд-Данксанс (высота плотины 284 м) в Швейцарии и Вайонт (262 м) в Италии. В ближайшее время глубочайшим в мире станет Иуревское водохранилище в СССР, сооружаемое на р. Вахит (высота плотины 300 м).

Таблица 16
Классификация водохранилищ по глубине

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

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

По характеру регулирования стока принято различать водохранилища многолетнее, сезонное, годовичное, недельное и суточное 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 относятся к числу важнейших показателей их гидротехнического режима. Колебания 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 уровневому режиму, приведенная в табл. 17.

Классификация по показателю водообмена. Для характеристики водообмена и степени пропускности водохранилищ, в озер разномыслии авторами применяются разные показатели.

Большая часть этих показателей схематически отражает мгновенную пропускность водоемов. Одним из основных и наиболее удобных массовых показателей для характеристики смысла воды, аккумулятивной в водохранилищах, можно считать осредненную водообменность. Практическое удобство этого показателя обуславливается 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 классификации уровня	Амплитуда, м	Примеры
Малая	Менее 1	Харьковское, Белгородское, Адаманское, Гальское, Сарытское, Дингарское, Тахнашское; водохранилища каскада Волга—Дон, Рейн—Майн—Дунай и др.
Небольшая	1—3	Волгоградское, Усть-Иванское, Горьковское (СССР), Ашах (Австрия)
Средняя	3—10	Рыбинское, Кузнецкое, Цимлянское, Братское, Бухаринское, Вильямское (СССР), Зальце (Швейцария)
Большая	11—30	Черкейское, Ханайское, Краснинское, Минусинское (СССР), Кантагирское, Инсерталь (Швейцария), Тюринское, Зальцетт (Австрия)
Очень большая	31—100	Адаманское, Туринское, Тонтогульское, Чирокское (СССР), Пасифильское, Можебское (Австрия), Гейсерахаль, Люендер (Швейцария)
Исключительно большая	Более 100	Град-Джаме, Мопулен (Швейцария), Телль-Розелли (Франция), Дингарское (СССР)

Таблица 18
Классификация водохранилищ по водообмену

Степень водообменности	Показатель водообменности в годах и долях года*	Примеры
Исключительно большая	Менее 0,10	Сарытское, Джарджаринское, Киньинское, Угличское (СССР), из Франклина Рузвельта, Лейк-Валлиа, Мак-Пери (США)
Очень большая	0,10—0,24	Кузнецкое, Волжское, Новосибирское, Канское (СССР), Биг-Бенд (США)
Большая	0,25—0,49	Кайракунское, Кременлугское, Каспийское, Черкейское (СССР), Форт-Ралли (США)
Средняя	0,50—0,99	Усть-Ижское, Свинское, Рыбинское, Краснорское (СССР)
Небольшая	1,0—1,99	Цимлянское, Минусинское, Тонтогульское, Братское (СССР), Оаке, Поуэла (США)
Малая	Более 2,0	Бухаринское, Катмаринское, Кузнецкое, Веленское, Пролетарское (СССР), Форт-Дж. Мил (США)

* Водообменность крупных водохранилищ СССР выражена в пределах от 0,05 до 4,5 года в США выражается в годах, выражая частоту лет (или долей года), в течение которых происходит обмен 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 показателю 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 ардных районах, этот показатель псевдоулетворителен и связан 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 ардных 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 дождевых вод суши по количеству растворенных в них минеральных веществ, соотношению между главными группами ионов, особенностям талового режима, качественной и количественной характеристике находящихся в воде органических веществ.

В СССР распространена классификация природных вод по их минерализации, согласно которой природные воды делятся на следующие четыре группы (Алексин, 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 слабосоленатыми водами. Однако в заливах водохранилищ многолетнего регулирования, расположенных в ардных областях, концентрация растворенных минеральных веществ в определенные времена может приближаться к солености воды в пельного опресненных внутренних морях.

По классификации О. А. Алексина (1952), воды суши по преобладающим анионам делятся на три основных класса: гидро-

карбонатные ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$); 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 эвфрейз каскада водохранилищ формируется при взаимодействии зональных, азовальных и интразональных факторов (Фортуналов, 1970). Среды 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, и далее, в зоны степи и полупустыни (водохранилища Волжско-Камского и Днепро-Донского каскадов в СССР).

Важность сравнительной характеристики количества и состава растворенных в воде органических веществ для типизации и районирования водоемов отмечалась многими авторами. Однако вопросы оценки содержания органических веществ и природных водах относятся к числу методически сложных, так как в природных водах присутствуют органические вещества различного происхождения и в различных формах: растворенной, коллоидной, взвешенной, комплексных соединений. Наиболее распространенный способ оценки содержания органики — определение величин окисляемости — бихроматкой и перманганаткой. 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 окисляемости.

Для классификации водохранилищ по степени окисляемости воды может быть использован шкала, (Фортуналов, 1959б), разработанная на примере водохранилищ Волжского каскада:

Группа	Степень окисляемости	Шкала, градусы
1	Почти бесцветные окраски	менее 20
2	Слабоокрашенные	20—30
3	Среднеокрашенные	40—50
4	Интенсивно-окрашенные	60—90
5	Темноокрашенные	100—200
6	Почти полностью темнокрашенные	более 200

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) окраска воды в водопроводных сетях городов и промышленных поселков не должна превышать 20 градусов цветности. Величина окраски воды принадлежит к числу признаков, характерных для отдельных географических зон и ландшафтных условий бассейна водосбора. Из-за отсутствия расчетных методов прогноза судить о вероятности окраски проектируемого водохранилища можно путем сравнения с соответствующими водоемом аналогом.

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

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

В основу типизации водохранилищ может быть также положен показатель сапробиости, устанавливаемый по характерному видовому составу животного населения вод, в соответствии с которым выделяются олигосапробиальные, α - и β -мезосапробиальные и полисапробиальные водохранилища.

Подобная типизация также представляет интерес для проектирования и эксплуатации водоснабжающих 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 из них, непрерывно поступающих с притоком, поддерживается в чаше водохранилища (завление); 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 и роль антропогенного фактора.

В основном научные исследования водохранилищ как природных комплексов проводились 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 проявляется три фазы: первая — всланишь трофия, вторая — трофической депрессии и третья — вплоть постепенного повышения трофии. Високт сию, к подчас весьма значительным, коррективы в эту схему антропогенная евтрофикация водохранилищ, в процессе которой в водоемы поступают избыточные количества биогенных веществ. Экосистемы сатрофированных 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 лишь проценты.

Можно также типизировать водохранилища по признаку их эволюции (динамики) на основе интенсивности проклинения и развития геодинамических процессов (переработка берегов, подпаласия, форхироваиис ложа, развитие отложений, обрушения больших масс пород, в результате проислов и т. д.). Развитие этих геодинамических процессов происходит в результате взаимодействия внешних (сток, климат) и внутренних (рельеф, состав пород ложа и берегов) факторов. Большое, а в ряде случаев и определяющее влияние на интенсивность протекания геодинамических процессов на водохранилищах оказывают антропогенные факторы, и прежде всего режим эксплуатации.

Можно привести немало примеров, когда изменение режима сработки водохранилищ нарушало сложившиеся относительно равновесие и активизировало геодинамические процессы. Более подробно все эти вопросы рассматриваются в гл. IV. Здесь лишь укажем, что с учетом развития геодинамических процессов в работах 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 устойчивые 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 установившийся характер (при постоянном режиме эксплуатации эта стадия наступает через несколько десятилетий после создания).

4. Геодинамически зрелые водохранилища, заключающиеся в нихосами, со сформировавшейся береговой линией.

О типологии водохранилищ

Ранее были рассмотрены вопросы систематизации (типизации и классификации) 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 отражение научно-прикладное значение, определяемое прежде всего поставленными задачами (проектирование, эксплуатация, прогноз).

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

Прежде всего следует уточнить смысл понятия «типология водохранилищ», так как этим термином обычно называют условные, разветвленные (гетерогенные) типизации водохранилищ, что с иной точки зрения не совсем верно отражает суть проблемы. В соответствии с определением общего термина «типология» будем называть «типологией водохранилищ» систематизацию искусственных водоемов по общности (схожести) 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 равенством признаков на каждой последующей ступени «типологического descenta». В типологических построениях, если быть до конца логичными и последовательными, придется приложить во внимание множество признаков, характе-

разующих водохранилище как природный комплекс, экосистему (биогеоценоз), вмещающие водный ресурс определенного качества, хозяйственный объект.

Ясно, что построение такой всеобъемлющей (универсальной) многомерной классификации водохранилищ дело весьма трудное, так как при этом приходится во многом 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 сами по себе сложность их построения еще не гарантирует практической и научной ценности, даже если формально поддержаны 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 приписании 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 ищется в двух направлениях. Первый заключается в создании отраслевых типологий водохранилищ (финанско-географических, гидрологических, биологических), а второй — в разработке «книжной карточки» водохранилищ по важнейшим признакам, которые можно было бы унифицировать, нанести 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 позволяет 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 (жилохер-ных) типологий водохранилищ.

ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФИИ ТЕРРИТОРИИ

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 специализированы. Например, подробно исследовались на ряде водохранилищ США и Индии заплевание (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 Н. С. Сметаннича (1974)), в том числе ряд монографических обобщающих работ (Авакий, Шаралов, 1962, 1968, 1977 и др.; Кибальнич, 1965; Печеркин, 1966, 1969; Румянцев, 1966; Буторкин, 1969; Вендров, 1970; Влияние водохранилищ лесной зоны, 1970; Планирование географических проблем..., 1972; Минералка, Хоскташьян, 1974; Дьяконов, 1975; Российский, 1975; Финаров, 1974; Шпрокля, 1974; и др.) и работ по комплексной характеристике крупных водохранилищ (Водохранилище Волжский ГЭС..., 1968; Комплексные исследования водохранилищ, 1971; Киевское водохранилище, 1972; Рыбинское водохранилище..., 1972; Ветром и др., 1973). В зарубежной научной литературе известны лишь несколько работ близкого типа (Man-Made Lakes, 1966, 1973; Data in Africa, 1966; 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 воднохозяйственного строительства на природную среду: а) район самого водохранилища (его чапа 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 нему 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 (протопытые каналы, обводняемые реки и т. п.).

Изменения природных процессов в верхних бьефах гидроузлов определяются 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 (Авакий, Шаралов, 1968, 1977; Вендров, 1970; Матарзин, 1971; Широков, 1974; Вендров, Дьяконов, 1976; Fels, 1965, 1967; Töndury, 1969; Link, 1970; Darrell, 1971; Trefelthen, 1972; Chetel, 1973; Dulbic, Ostrofsky, 1975; Chadwick, 1976). Это воздействие может быть постоянным и временным, положительным или отрицательным (схема 2).

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

Если не учитывать таких гигантских озер, как Каспийское, Аральское, Балхик, 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

Классификация последствий создания водохранилищ
(по А. В. 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 Волата она увеличилась 3,5%), Нигерия, Замбия, Южная Родезия, Египет, Ирак, Иран, Индия, ИОАР, 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, Средней Азии) водохранилища — практически единственные постоянные пресноводные водоемы, так как вода вымывается 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. спадло 322 водохранилища общей площадью почти 600 км², что равноценно площади такого крупного в Альпах Жемского озера; примерно половина этой площади появилась в результате антропогенной территории (остаток приходится на площадь естественных озер, оказавшихся в подпор).

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-

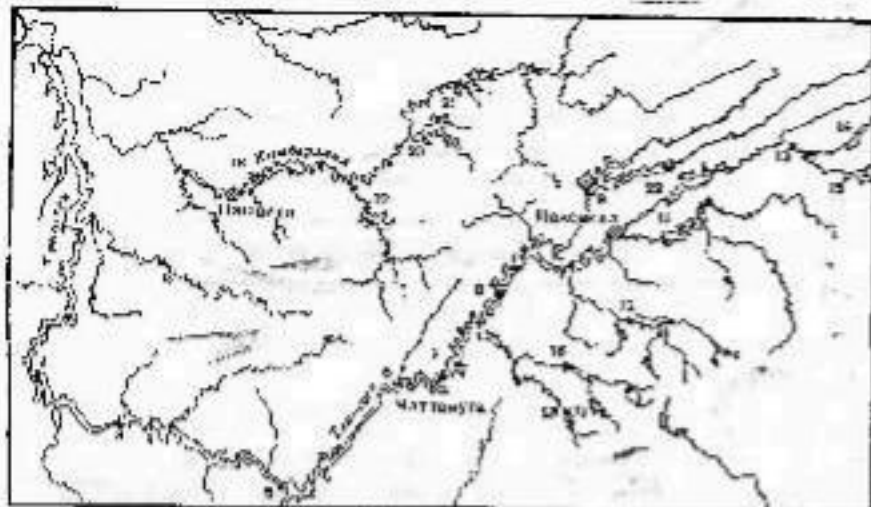


Рис. 14. Система водохранилищ в бассейнах рек Теннесси и Камберленд (Man-Made Lakes, 1973)

Водохранилища: 1 — Кентукки; 2 — Пенуэл-Лэндинг; 3 — Уилсон; 4 — Уэлкер; 5 — Ганксвилл; 6 — Хейлс Бор; 7 — Чоккеттс; 8 — Уэллс-Ривер; 9 — Паррик; 10 — Форт-Дорсетт; 11 — Дуглас; 12 — Фостан; 13 — Бэн; 14 — Саут Холстон; 15 — Уинго; 16 — Адамсвилл; 17 — Митчелл; 18 — Камберленд; 19 — Сентер-Хилл; 20 — Дойл Холлоу; 21 — Велф-Уик; 22 — Чероки; 23 — Блу-Ридж.

мостов, максимальная ширина — 20—40 км и более, площадь водной поверхности — иногда тысяч, а по крупным озерам водохранилищам — десятков тысяч квадратных километров. При этом во всем показателями на первых местах оказываются в исключено равнинной последовательности одна 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 искусственными плотинами в узких долинах.

Большие водохранилища, со значительной площадью и значительным объемом воды, уровень которой поднят 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 системы водохранилищ на главной реке и ее крупных притоках, не образующих каскадов, но значительно преобразующих сток рек. Примерами непрерывных каскадов могут служить каскады на Волге, Днепре, Нижнем Выге, Конде, Везере, Майне, Рейне выше Цюриха, Влтаве, Темзесе (рис. 14), Колумбии (рис. 15) и ряде других рек. Примерами каскадов с перерывами участками реки между некоторыми водохранили-

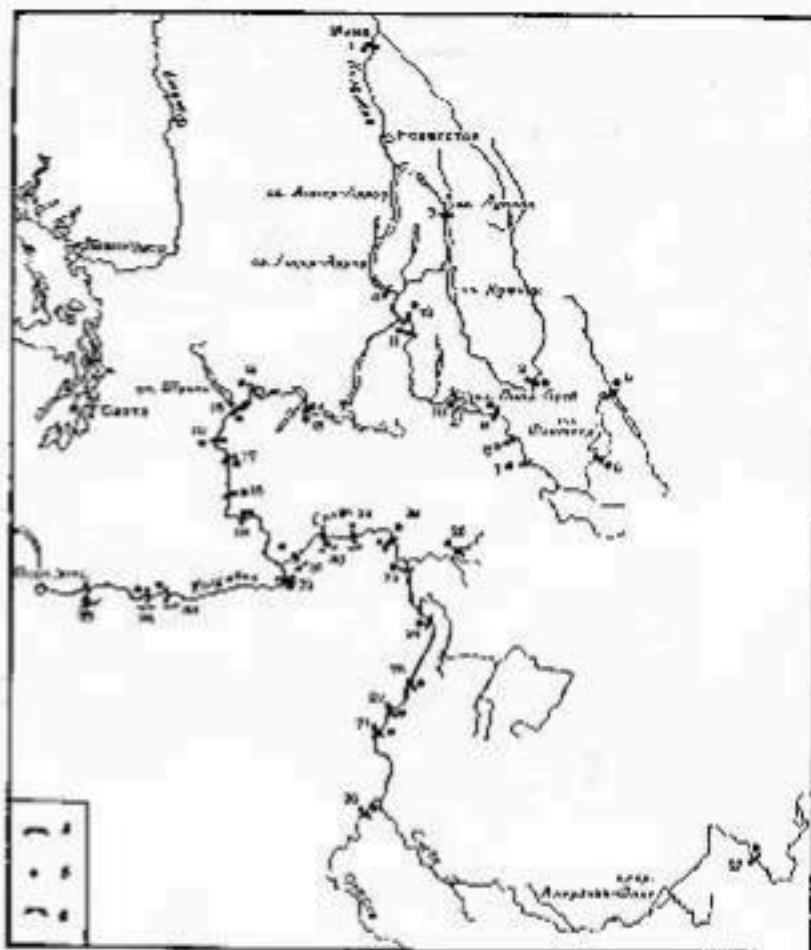
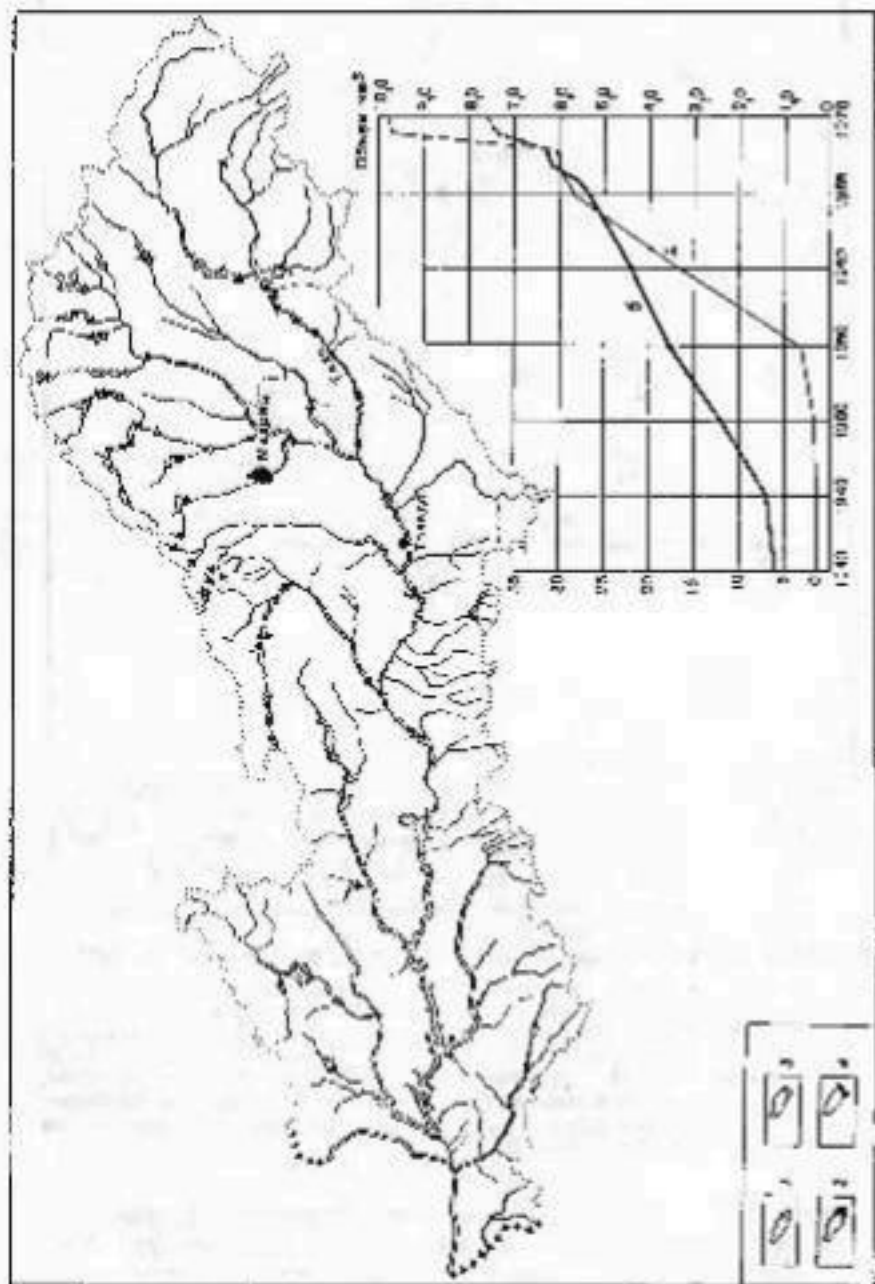


Рис. 15. Система водохранилищ в бассейне р. Колумбии (Grisay, 1974)

С — плотины; Б — гидроэнергетические; В — регулируемые плотины. Водохранилища: 1 — Мина; 2 — Гиббс; 3 — Дунаш; 4 — Арройо; 5 — Хангри-Холл; 6 — Харт (Финикс); 7 — Редд, Бент; 8 — Бентон-Ривер; 9 — Даббелт-Гориз; 10 — Пена-Среф; 11 — Вуддари; 12 — Понетт; 13 — Грэнж-Кули; 14 — Чиф-Джонсон; 15 — Шилла; 16 — Рикс-Тач; 17 — Бен-Аллен; 18 — Уингтон; 19 — Прест-Манн; 20 — Свайл; 21 — Брайли; 22 — Оксбей; 23 — Хейлс-Холл; 24 — Хай-Маунтин-Шил; 25 — Астори; 26 — Питерс; 27 — Пайнхилл; 28 — Лью-Гранд; 29 — Литл-Уиз; 30 — Глоуэр-Монументал; 31 — Аль-Хайбор; 32 — Мел-Норт; 33 — Лисон-Дей; 34 — Те-Далл; 35 — Бентон.

щами могут служить каскады на Сырдарье, Дунае, Тахо (рис. 16), Дуэро, Евфрате, Оранжевой, Сисеке, Миссури, Колорадо, Грималье, Рио-Гранди, Сан-Франциску, Тибете 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 исключить 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 пудельных водохранилищ и переброски 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 такому 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 Тиса, Кубань, Рио-Пит, Аракс, Рона, Рейн, По, Муррей, Сакраменто, Делавэр, Рио-Негро и т. д.

Весьма существенные изменения в гидрографию 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 Калус, строительства мангистских водохранилищ, канала Волга-Дон, водохранилищ в бассейне Кубани и др. Местами переброски речного стока осуществляются в ряде речных бассейнов Исландии, Франции, ФРГ, США, Канады, Мексики, Бразилии, Аргентины, ЮАР и т. д. Так, значительно 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 излучи-

Рис. 16. Стояна каскада водохранилищ на р. Таго (Образ тейлорас, 1969)

Гидроэлектрические государственные: 1 — строящиеся, 2 — существующие и строящиеся. Водохранилища частного капитала: 3 — строящиеся, 4 — существующие и строящиеся. По графикам — динамика роста за период 1949—1968 гг.: а — объема водохранилищ и б — мощности водохранилищ.

Таблица 11

Суммарные данные по некоторым каскадам водохранилищ

Река	Страна	Кол-во ступеней	Объем, км³		Гидроэнергетический потенциал, тыс. кВт	Средняя длина плотины, км	Среднее количество водохранилищ
			полный	используемый			
Европа							
Волга	СССР	9	142,6	70,6	20,5	2000	ЭСИРА
Днепр	"	8	48,8	18,4	7,0	910	ЭИСРБ
Нижний Вят	"	5	6,7	1,2	1,3	150	ЭС
Днестр	"	3	1,0	0,2	0,1	140	Э
Сулак	"	4	3,8	1,7	0,1	60	ЭК
Арда	Болгария	5	1,0	1,0	0,1	...	ИЭ
Влтава	Чехословакия	7	1,3	0,8	0,1	200	ЭСВ
Тахо	Испания	11	7,6	0,0	0,3	500	ИЭ
Дуэро	"	5	2,3	1,1	0,1	300	ЭИ
Азия							
Ангара	СССР	3	276,3	97,4	40,3*	1500**	ЭСЛ
Наран-Сардар	"	6	30,1	21,4	1,8	250	ИЭН
Кура	"	3	18,8	8,8	0,7	125	ЭИИ
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	138,0	88,0	0,0	650	Э
Манитоба	"	5	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	57,0	33,4	4,9	360	ИЭС
Темпекан	"	15	32,4	16,0	3,5	1240	ИЭСВ
Нис-Плейн-Ривер	"	7	6,6	6,6	0,4	Нет данных	ЭВН
Кларк	США, Мексика	11	78,2	60,6	1,8	1400	ИЭН
Гуанахуато	Мексика	4	16,2	Нет данных	Нет данных	300	ИЭ
Южная Америка							
Парана с Параназубой	Бразилия	5	75,4	То же	3,8	500	Э
Риу-Гранди	"	5	51,0	"	3,0	Нет данных	Э

Примечания: * С учетом сб. сброса;

** С учетом притока.

важные 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 планность, где водные связи связаны каналами все крупнейшие реки Польши, ГДР, ФРГ, Франции, а в переселенные появившиеся 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 своего 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, Волга—4500, Каспий—3500, Караба—3150 км и т. д.).

В результате регулирования стока водохранилищами многократно 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, зарастанию или зарастанию прежних проток и пойменных озер, как это наблюдается в дельтах Дона, Сырдарьи, Или, Памы, Саяно-Енисей и ряда других рек. Участки горных рек ниже плотин, обеспечивающих забор воды в деривационные каналы и туниса, нередко совсем лишаются поверхностного стока и несут только фильтратные расходы.

ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК

При создании водохранилища изменяется гидрологический режим реки как выше плотин (в пределах распространения подпора), так и ниже ее. Используемые в работе термины, касающиеся уровня режима, применяются на рис. 19. Изначальный гидрологический режим водотока в верхнем бьефе определяется подпором реки плотинами и состоит прежде всего в значительном повышении уровня воды (в тридцатилетних 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 к объему

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 приводятся коэффициент регулирования, 55 водохранилищ имеют коэффициент регулирования (т. е. отношение полезного объема к среднегодовому стоку) 0,5 и более (из них 2 и более — у водохранилищ Мид, Форт-Пек, Конгукки, Флеминг-Гордж, Тринити, Элефант-Блот, Руавенхт 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 режим стока почти все водохранилища, предназначенные для водоснабжения, ирригации, борьбы с наводнениями, аккумуляции воды, и многие гидроэнергетические водохранилища.

Водность 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 описаны в советской литературе (Бахтаров, 1961; Кусков, 1964; Попов, 1965; Калинин, 1968; Буторм, 1969; Вендров, 1970; Грин, 1971; Реяшковский, Рубинштейн, 1974; Россинский, 1975; Аванян, Шаратов, 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.

Уровневый 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 летней или полноводья (в умеренном и полярном поясах), летнего паводка (в экваториальных районах с ледниковым питанием рек) или в конце многоводного периода (лиждевого периода в тропическом поясе, периода дождей в областях хусского климата и т. д.); затем после некоторого спада на отметке НПУ уровень водохранилища начинает понижаться, причем на разных водохранилищах сроки, продолжительность и величина спада уровня различны в за-

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

Водохранилища:
а — Горьковское (зимнее);
б — Куйбышевское (летнее);
в — Рыбинское (многолетнее)

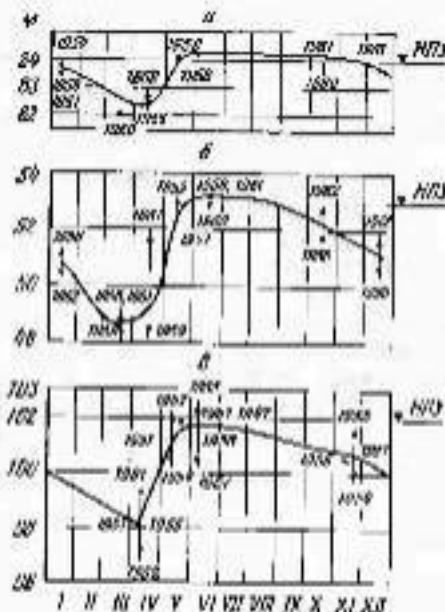
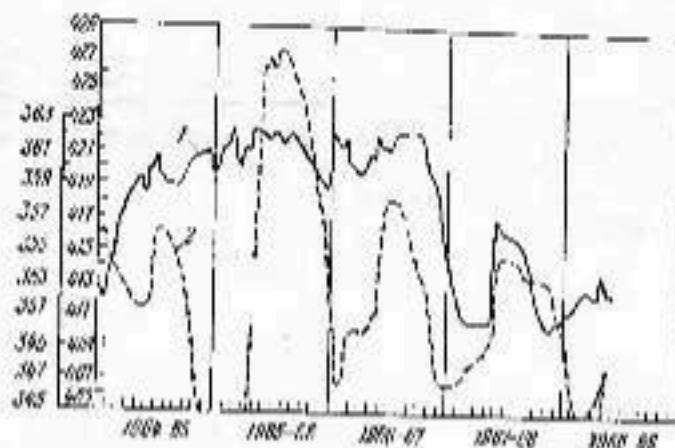


Рис. 22. Режим уровня водохранилища на р. Гладисе (Образ реализован..., 1969)

Водохранилища:
1 — Гладис на Соге;
2 — Синире



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 искусственные теплоходы и в том числе электрических и промышленных предприятий. Степень сработки гидроэнергетических водохранилищ весьма неодинакова в зависи-

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

Различные сочетания природных условий и видов использования водохранилищ создают большое разнообразие соотношения плохого и полезного объемов, а также их уровней 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, орошения, волнового 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	Регионы	Количество водохранилищ	Объем водохранилищ, км ³		Соотношение полезного объема к полному, %
			Общий	Полезный	
СССР	Всего	202	1137,3	540,9	47
	В том числе:				
	ЕЭС (кроме Северного Кавказа)	103	318,1	161,3	51
	Средняя Азия и Казахстан	30	115,1	61,0	54
	Кавказ	35	60,2	32,4	54
США	Сибирь	15	555,6	237,5	43
	Всего	1187	560,6	443,4	88,5
	В том числе:				
	Тихоокеанский Северо-Запад	123	48,9	23,9	69
	Северо-Восток	203	19,3	18,9	97
	Юго-Запад (штаты Техас, Нью-Мексико, Юта)	139	48,9	45,7	93

В целом по США на 425 водохранилищ емкостью более 100 млн. м³ (Martin, Hanson, 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 мет-

ров 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 (Прайс-Бос, Дампел-Джонсон, Бухтарминское, Кобан, Гордоя М. Хрум, Волта г др. 6—8 лет, Иркутское и Насер — 4 года и т. д.). Такие длительные заподельные обуславливают ряд затруднений при подготовке ложа этих водохранилищ.

Многолетнее регулирование стока вызывает и такую особенность режима уровня водохранилищ, как стояние их в разные годы на разных отметках. Это приводит к известным осложнениям для судоходства, эксплуатации водозаборов, причалов, уне-личивает капиталоотложения в их строительстве.

В соответствии с указанными особенностями сработки многие водохранилища зарубежных стран в целом имеют более значительные, чем в СССР, колебания уровня в течение года и водообъем, 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 эволюции, переформировании берегов и дна. Эти изменения обычно учитываются при проектировании различных мероприятий. Но в некоторых развивающихся странах местное население было недостаточно информировано об измениях режима реки, в результате чего она терпела материальные потери и моральный ущерб. Характерным примером может служить гидроузел Кариба.

Существенные изменения претерпевает режим расходов и уровня реки ниже регулирующих водохранилищ в сезонном, многолетнем, декадных и суточном аспектах. Сезонное и многолетнее регулирование речного стока вызывает большее или меньшее уменьшение паводковых расходов и соответствующие спадание уровней, которое приближается ниже крупных водохранилищ на протяжении сотен километров (Волта ниже Вашингтонского гидроузла — 500 км, Замбези ниже плотины Кариба — около 300 км), ниже меньших водохранилищ — на десятках километров, а на беспроточных участках больших рек — даже на протяжении более тысячи километров (Иртиш ниже Бухтарминского водохранилища, Нил ниже водохранилища Насер) (Hurst, 1966). Влияние естественного 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, волнорой, термический и ледовый режимы, и известной нам зарубежной литературе освещены

скудно. Представляется, что эти измещения в целом не выйдут за пределы аналогичных изменений в водохранилищах СССР. Очень важная и сложная проблема за рубежом — проблема водопользования в водохранилищах, поскольку в индустриально развитых и плотно населенных странах (зарубежная Европа, Северная Америка, Япония, некоторые страны на других материках) реки сильно загрязняются; фактор водообъема учитывается при определении и параметрах 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 тропических зонах земного шара с поверхности водохранилищ испаряется слой до 2000 мм и более (Zupke, 1961), а на большей части территории СССР слой испарения не превышает 800—1000 мм. Для примера можно сказать, что из 6 крупнейших водохранилищ Африки (Насер, Карна, Кабора Васта, Вилта, Каланджи и Косу) ежегодно испаряется более 35 км³, что соответствует суммарному полному объему таких водохранилищ, как Косу и Каланджи. На величину испарения с водохранилищ влияют, помимо географической широты и высоты местности, в частности, наличие и режим эксплуатации вытекающих водохранилищ. Так, после создания емкого водохранилища Пууал на р. Коморидо испарение с акватории расположенного ниже водохранилища Мид уменьшилось с 2170 до 1910 мм; причиной этому было поступление из водохранилища Пууал более холодной воды, чем до его создания (Hoffman, Lopez, 1973). Аналогичное явление наблюдается на Усть-Каменигорском 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 луга 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 Сушун (КНР) очень большие сложности при эксплуатации ГЭС вызвало образование зажоров и затворов. Разнообразные ледовые явления наблюдаются в нижних бьефах ряда канадских гидроузлов, что привело, например, к изменению термического и ледового режимов р. Нельсониты, 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 летние 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 Карка, Вилта, Каланджи, Брикленд, Уболрата и др. (Кинауи, Меллуда, 1975; Dan's in Africa, 1968; Cheret, 1973; Inevbore, 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 снижение качества воды гипса и других пород на Камском водохранилище (Печеркин, 1969). Такое же явление наблюдалось на водохранилище Шоуида в Южной Австралии (Cheret, 1973), на некоторых водохранилищах Югославии и 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 межениных 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 18 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-биологической оценки и прогнозирования излучения и масштабов этого явления, а также для планирования мероприятий, направленных на предотвращение нежелательных последствий. Советскими и зарубежными учеными (М. Г. Алтушин, Г. В. Зилотарев, Е. Г. Качугин, Н. Е. Кондратьев, М. А. Мостков, Л. В. Розовский, Л. Я. Раткович, Н. В. Рослова, Г. И. Шамов, Х. Абиджитов, И. Бачев, I. Bujoi, Brice, J. L. Fugate, F. Orth, J. C. Stevens и др.) были разработаны методы прогнозирования формирования рельефа берегов и дна.

В последние десятилетия в результате обобщения материальных данных и массовых наблюдений на водохранилищах советскими и зарубежными учеными (Н. В. Буторин, Н. Г. Варзашвили, С. М. Вендров, Л. Б. Иконников, Ю. М. Матарзиди, Е. Л. Минерина, И. А. Печеркин, В. М. Широков, Г. Р. Хуситанович, Abdel Asis Ahmed, Christiansen S., Heyndrickx G. A. T., Linhart J., Roife B. N., Rasmussen J. G., Vetter C. P., и др.) выяс-

являлась необходимостью более тесного и комплексного подхода к проблеме формирования ложа водохранилищ, чем традиционный су-
губо 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

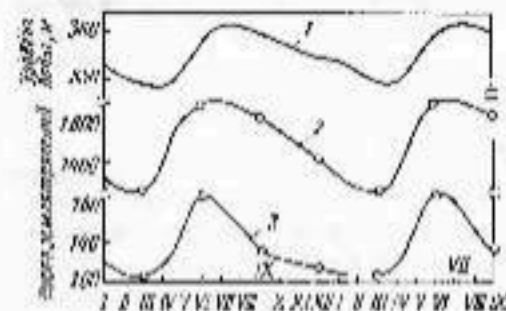


Рис. 23. Сравнение уровня воды водохранилища Мид с количеством землетрясений в его районе за период 1939—1973 гг. (Man-Made Lakes, 1973)

1 — среднегодовой уровень воды;
2 — число зарегистрированных землетрясений (приблизно эквивалентно числу землетрясений, ощущаемых населением);
3 — число ощущаемых землетрясений (данные получены по 5-минутным интервалам)

возникновении землетрясений в период заполнения и эксплуатации водохранилищ. По инициативе 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), Кириба (Африка), Майлаз, Койла, Курба (Азия), Кремста, Марафон, Белеча, Грапино, Молдавыр, Каньялес (Европа); в СССР локальная сейсмичность проявилась в районе Нураевского 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 — наличие разломов в земной

коре. Обычно при заполнении других 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 (Пикольев, 1973; Bengelsdorf, 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 «наследственными» и трансформированными природными условиями.

Берегами водохранилища становятся поверхности или уступы пойменных и подпойменных 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 волнений 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 в 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 топографии района водохранилища. У горных

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 размораживании); 3) различные глинистые, песчанко-вые, слабые карбонатные, известняковые и др., размыв которых зависит в основном от степени дисперсности; 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 неразрушаемыми.

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.

Близко к формированию берегов физические и химические свойства воды. Так, явлением 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 южных 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 водохранилища, так и косвенно. К таким косвенным мерозрительным можно отнести создание в береговой зоне пригребельно-дренажных систем, организацию сбора или, наоборот, концентрирования сброса ливневых и сточных вод, облесение, залужение и другие меры, изменяющие форму и устойчивость берегов.

Интенсивность и характер формирования берегов неодинаковы на различных участках каждого водохранилища. С. М. Вендров (1959) 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 аккумуляруются только на глубине, за пределами зоны сработки.

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

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

4. Зона инкливирования 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 залыживание их материалом, сносимым с берега.

Вследствие многообразия сочетаний указанных факторов в условиях формирования берегов водохранилищ протекает как разных водохранилищ и различных участках одного и того же водохранилища весьма неодинаково. Имеются, по всей видимости, четкие зональные различия, однако они практически не освещены 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 плывухами, за 4,5 года отступил на 750 м. В других случаях берега практически остаются неизменными. Материал, поступающий с берегов и приносимый вдольбереговой течением, накапливается на прибрежных мелководьях и в заливах, имеющих некую гидродинамическую активность; здесь формируются прибрежные аккумулятивные формы: отмели, косы, пересыны. В результате размыва одних участков берега и аккумуляции материала в заливах береговая линия водохранилища постепенно становится более кривой и плавно-й. 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 аккумуляции вследствие малых уклонов, защищенности от волн островами, мысами или мелководьями или ввиду большой прочности слагающих берег пород.

Создание водохранилищ влияет также на характер и интенсивность геоморфологических процессов за прошедшим злго непосредственного переформирования берегов. Особо следует отметить существенное понижение базиса эрозии, создание устьев и заметное уменьшение площади водосбора небольших оврагов и ручьев, падение 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 обшайные, усшьные, эрозийные, оползневые, плавучие, солифлюкционные, карстовые, торфяные и др. Аккумулятивные берега можно разделить на эолово-дюнные, дельтовые, пересыпные, илово-соляные, спланиро-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, углублений под воду, затрудняет развитие прибрежной растительности и, следовательно, способствует абразии во время следующих стадий развития берега.

На второй стадии процесса 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 штурмовыми 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 развивающихся вдольбереговые потоки наносов, заметно возрастает значение педикловых 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

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 и его бассейне. Сдвиги в характере и интенсивности этих процессов, обусловленные изменением водохозяйственных функций водохранилища, тектоническими движениями, климатическим изменением гидрометеорологических условий и т. п., могут оказать процесс формирования берегов. Поэтому некоторые авторы считают, что формирование берегов не имеет, как правило, резко выраженного заглавающего 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 сдвинуться периодами их интенсивного прироста (Печеркин, 1969; Вендров, 1970; Мазарак, 1971; Широков, 1974).

Сложившиеся процессы развития берегов водохранилищ, расположенных в различных природных условиях, позволяют выделить ряд специфических особенностей. Абразия берегов водохранилищ в зоне развития ледниковых жерновов (север азиатской части СССР, США, Канада) происходит совместно с процессами оттаивания, просадок и солифлюкции. Поступающие в прибрежную зону водохранилища наносы подвергаются систематическому промерзанию, что увеличивает размер отелей. 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 отелей определяется характером вдольбереговых потоков и волновой деятельностью.

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 илистого материала, приносимого ветром. Прибрежные отели интенсивно заболачиваются и засоляются, вдоль уреза формируется пояс тростниковых или камышовых зарослей.

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

мами и трещинами. В связи с малыми объемами наносов, поступающих в горные водохранилища с берегов, их вклад в береговые потоки развит слабо; например, аккумулятивные отсыли у закавказских водохранилищ занимают лишь 3% береговой линии (Минералы, 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 гидродинамической водоема. При каскадных регулировании наиболее часты непериодические всплески процесса переработки берегов, связанные в первую очередь с форсировкой уровня воды выше ППУ, пропуском через систему водохранилищ больших расходов и людом в каскад новых подных объектов. В результате с учетом непериодических увеличений водности реки конечная стадия развития берегов может быть продолжительнее, чем у одиночных водохранилищ.

Закладке 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 4—10% от всех поступающих наносов сбрасывается в нижний бьеф и, следовательно, не менее 90—95% идет на формирование донных отложений. Источники поступления материала И. В. Буторин и др. (1975) подразделяют на 5 групп: 1) поверхностный сток; 2) размыв берегов и дна; 3) эродирование фитоценоза и высшей водной растительности; 4) физико-химические процессы в водоеме и 5) основные процессы.

Если у естественных внутриконтинентальных водоемов в бассейне 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 превысило 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 разрыве 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 фитоценоза 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 тропическим и субтропическим климатом, очевидно, может быть и больше. Можно предположить, что в водохранилищах образуются и хемогенные взвеси, однако о роли их в балансе отложений в настоящее время нет никаких данных. У водохранилищ арктической 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 холодного климата.

Таблица 21

Количество наносов, поступающих в водохранилища из основных источников (Шариков, 1974; Буторин и др., 1975)

Водохранилище	Годы эксплуатации	Сток наносов	Размыв берегов и дна	Продукты фитоценоза и высшей водной растительности	Всего
Ишимское	1937—1968	8250	14 450	1150	21 840
		28,2%	68,1%	5,3%	100%
Угличское	1940—1968	7160	10 700	530	18 410
		38,9%	58,1%	3,0%	100%
Рыбинское	1941—1963	18000	87 600	2400	108 000
		17,5%	79,8%	2,7%	100%
Новосибирское	1957—1968	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
		40,7%	40,4%	3,9%	100%

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

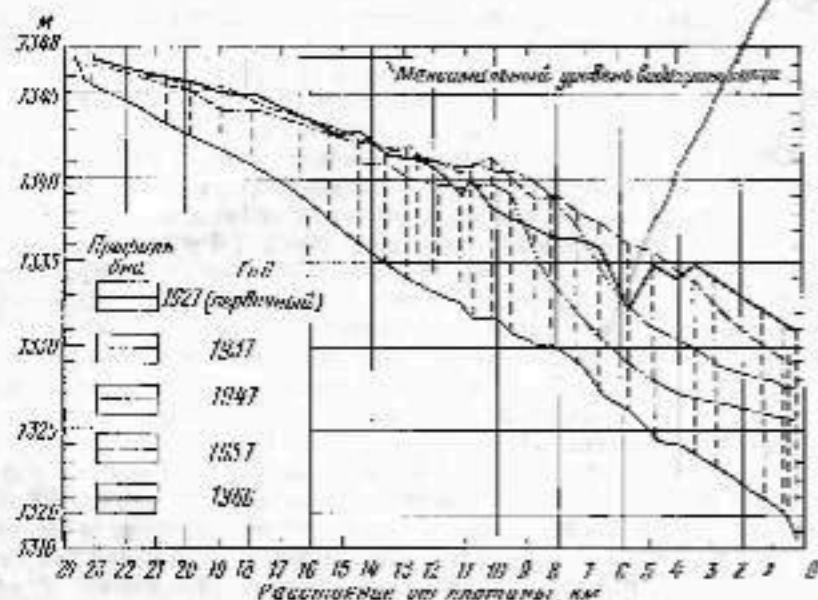


Рис. 26. Занесение водохранилища Горгон из р. Норр-Шлейх (США) (Man-Made Lakes, 1973)

лодного 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 замены этого водохранилища были построены новое, но оно за 13 лет потеряло 95% емкости.

Поступающие в водохранилища наносы распределяются по его дну и формируют грунтовый комплекс отложений. Средняя мощность их годового слоя равна у Иваньковского 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 — волнения.

Н. В. Буторин 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, ил, образования которых предшествует предварительная сортировка их частиц, и отложения из макрофитов).

Галечники, гравелистые и крупнозернистые пески развиты преимущественно в торных и предгорных водохранилищах, в основном в дельтах впадающих в водохранилище рек. Пески по образованию можно разделить на русловые, прибрежные и пески открытых пространств. Илстые пески образуются на границе распространения песков, где наблюдаются изменения гидродинамической активности. Илсчанистые и серые илы делятся по происхождению на аллювиальные и местные; первые образуются из наносных в водохранилище аллювиальных наносов, и местный ил накапливается в зонах аккумуляции подпора, а жесткие илы формируются в осевых на продуктах размыва берега и ложа водохранилища. В формировании всех классов 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 заполнением 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. Плавотрасса для как и мелководной, так и глубоководной зоны происходит за счет отложений наносов и понижения рельефа.

Из зоны аккумуляции взвешенный материал поступает в открытую часть водоема, где и оседает на дно, образуя слой песчано-иловых или иловых отложений. Наибольшая мощность их наблюдается в замкнутых котловинах (затопленные овраги, старицы и межречные низменности). С удалением от берега и по направлению к плотины 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-

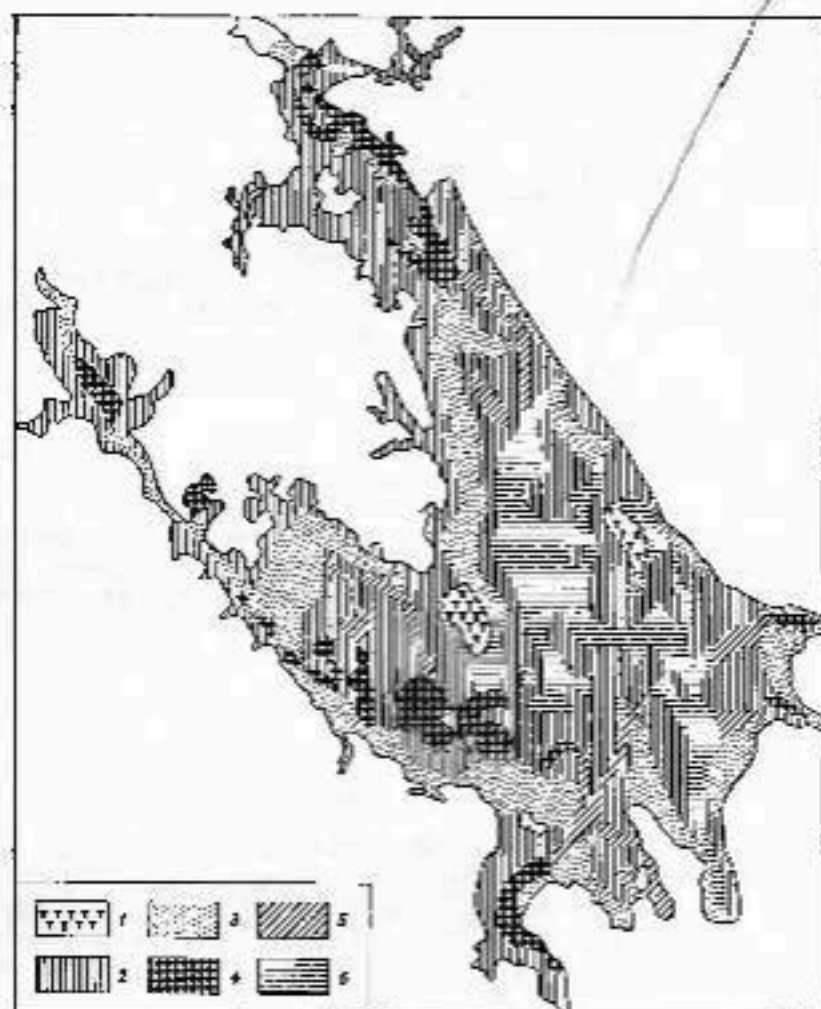


Рис. 26. Схема распределения длинных отложений на Рыбинском водохранилище (Буторин и др., 1975)

1 — чистый торфяной ил; 2 — песок и гравийный песок; 3 — осевший серый ил; 4 — торфяной ил; 5 — переходный ил; 6 — торфянистый ил

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

Таблица 22
Распределение длинных отложений в верхневольских водохранилищах,
% от площади водохранилища
(Буторин и др., 1975)

Тип грунта	Водохранилища		
	Ивановское	Угличское	Рыбинское
Несмытые илы	41	19	55
Пески и гравийные пески	10	17	20
Осевшие серый и гравийный илы	45	64	8
Торфянистый ил	—	—	13
Переходный ил	—	—	4
Оглозженный по дну ил	4	<1	<1

Во вторую стадию также интенсивно обрываются приглубые берега и формируются основные элементы рельефа дна; в районах мелководий начинается полное 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 дна водохранилища принадлежит процессам перемещения наносов вдоль берега, отложения и занесения эллингов; происходит также медленное зарастание мелководий, завершается формирование комплекса донных отложений. Во время второй стадии рельеф дна водохранилища формируется в результате накопления аккумулятивного материала все дальше от берега, что способствует постепенному отчуждению некоторых районов водохранилища и выравниванию рельефа дна. Продолжительность этого этапа может достигать нескольких сотен лет.

Значительные изменения в формировании донных отложений и, следовательно, рельефа дна происходят в случае расположения водохранилища 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 извне 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

напосов, поступающих в дельты или устья. Уменьшения 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 разрыв дельты - размываются основания эллиптических дамб, опоры мостов, территория береговых населенных пунктов и т. п. (Кисляук, Шенула, 1975; Man-Made Lakes, 1973).

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

Создание водохранилищ вызывает существенные изменения почвы, растительности и животного мира. Первопричина изменений заключается в трансформации климата, характера и степени увлажнения поля. 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 (завлаживания), умеренного подтопления, слабого подтопления, активного климатического влияния и антропогенного климатического влияния. Основной причиной изменения природы в нижнем бьефе служат зарегулирование стока и преобразование гидрологического режима реки, причем из них наиболее важными — снижение паводкового и повышение межениного уровня, а также изменение продолжительности затопления поймы и режима поступления наносов.

В конфигурации и размещении зон влияния водохранилища и верхнем и нижнем бьефах гидроузла существуют значительные различия. В первом случае зоны влияния обычно располагаются с указанной последовательностью 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 сопоставимы с площадью зеркала водохранилища. Ширина отдельных зон влияния колеблется от нескольких десятков метров до нескольких десятков километров. Протяженность полос влияния в нижнем бьефе у некоторых водохрани-

лищ 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; Ретюком, 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. Матараика (1971), площадь зоны климатического влияния такого большого водохранилища, как Камское, 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 теплоскостью 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 перепадами. 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. Изменяются практически все элементы микроклимата акватории и прибрежных территорий.

Веской водохранилища оказывают охлаждающее влияние на прибрежные территории, а во второй половине теплого периода (до ледостава), отдавая накопленное тепло, оказывают отопляющее воздействие. Под воздействием водохранилищ в прибрежной полосе, как правило, уменьшается континентальность климата: ход температур становится более плавным, суточные амплитуда температур воздуха уменьшается, влажность воздуха увеличивается, весенние заморозки прекращаются и более ранние сроки, осенние заморозки наступают позже и т. д. Снижение континентальности климата в результате создания водохранилищ отмечалось в ирригационных районах Северной Африки, Западной Азии, Мексики, Австралии, в некоторых районах умеренной зоны (СССР, Северная часть Китая, Канада, Северная Европа) и во всех горных районах (Cherel, 1973; Кинауи, Шенуда, 1975; Tondury, 1969; Link, 1970; Man-Made Lakes, 1973). Так, водохранилища Локка и Портшампта должны, по мнению Casteln (1961), оказать смягчающее влияние на местный климат, создание водохранилища Вакра привело к уменьшению летнего максимума и повышению зимнего минимума температур (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 и районе водохранилища Вольта (Cherel, 1973). За счет испарения с увеличившейся водной поверхности возрастает относительная и абсолютная влажность воздуха, что особенно заметно складывается в ирригационных и субиригационных зонах, например на водохранилищах Насер, Вольта, Камбоджи, Табка и др. Увеличение влажности воздуха и частоты туманов при подпоре озер установлено в Швеции (Cherel, 1973).

Создание обширных водных поверхностей приводит к значительному увеличению скорости и повторяемости ветра и к увеличению продолжительности штормовой погоды. В районах всех крупных водохранилищ отмечаются ветры у берегов. Так, на Иракском водохранилище скорость дельных бризов у земной поверхности достигает 3—4 м/с, на Камском — до 3,5 м/с, прилив в сторону суши бризы проникают на расстояние 2—3 км, захватывая по высоте зону в 100—250 м (на Волгоградском водохранилище — до 300 м) (Матаранж, 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, волею их относительно малой величины весьма незначительна по территории и по высоте воздушного слоя.

В нижних бьефах гидроэлектростанций внутриодоевое 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 октябрь-ноябре — даже на 4—8°С, причем отодвигающее влияние складывается на расстоянии десятков и даже сотен километров (Макаров, 1969). Аналогичные изменения наблюдаются и в нижних бьефах гидроузла Сунхуи и ряда гидроузлов в Канаде, США и других странах. 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 Пуэблито, 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 понижения 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 залегания и сброса 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 жилых сооружений и сельскохозяйственных земель. На крупных же равнинных водохранилищах в развивающихся странах процесс повышения уровня грунтовых вод, несомненно, наблюдается, однако он не привлекает, по-видимому, еще внимания из-за слабой осведомленности большей части побережий таких водохранилищ и относительно небольшой длительности их эксплуатации. Кроме

того, полное или почти полное опорожнение многих водохранилищ, в первую очередь хранилищных, противопаводковых и аккумулирующих стока в целях осуществления пусков, не создает условий для стабилизации процесса повышения уровня грунтовых вод; также 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 водохранилища Ваоцзюань на р. Янцзи (Szotuczynski, 1974) и Зетже на р. Нарве (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 (Cheget, 1973); при создании и эксплуатации водохранилища Джердан на Дунае пришлось осуществить ряд мероприятий, направленных на уменьшение фильтрации через противопаводковую дамбу и подтопления прилегающих земель (Cheget, 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 проторных реках Альп. Как положительное явление рассматривается подъем уровня грунтовых вод на берегах водохранилищ на реках Эмс, Дунай и Траун в Австрии (Кранц, 1964; Dornat, 1965; Krahlwerkbau, 1964). Очень часто в зарубежной практике подпор уровня грунтовых вод при создании водохранилищ рассматривают как средство для обогащения запасов грунтовых вод и целей 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 выполнения водохранилищ до проектных отметок НПУ, как, например, Храбского водохранилища в СССР, некоторых водохранилищ в Югославии и других странах. Так, водохранилище Глатталль в Швейцарии наполняется только до отметки 849,5 м (при НПУ 855) из-за

палачия 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 закислых форм железа. Ширина этой полосы определяется в основном наклоном поверхности и амплитудой колебаний уровня воды. Интенсивность процесса подтопления зависит от частоты и продолжительности затопления.

В зоне подтопления наводнения в почвенном покрове происходит вследствие поднятия грунтовых вод. В подзоле сильного подтопления (с глубиной затопления грунтовых вод менее 1 м) уровень грунтовых вод нередко доходит до поверхности земли. Подходящий поток почвенного раствора схематически устоившим 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 исторично 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 ослепления подзолистых почв. Его характерные признаки — понижение содержания гумуса, азота, фосфора, кальция и соединений железа, появление в верхнем горизонте почвы окислых пятен и прожилок и уменьшение кислотности в нижнем слое под действием грунтовых вод, имеющих нейтральную реакцию. В переувлажненных почвах может происходить рассоление, оумаскивание, например, на берегах Цемлянского и ряда других водохранилищ. На участках с более близким к поверхности залеганием грунтовых вод указанные изменения химических процессов усиливаются и приближаются к уже описанным процессам ослепления почв; дерново-подзолистые почвы могут переходить в подзолисто-глееватые. Можно предполагать, что в аридных районах в этой зоне почвы могут вторично засоляться.

Положение уровня грунтовых вод на глубине 2—3 м, характерное для зоны слабого подтопления, вызывает увеличение подвижности тухлых веществ и железа и ослепление 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 почвы, и известной мере условное. Это объясняется тем, что степень увлажнения почвы определяется также характером и величиной капиллярного подъема. Величину его в зависимости от механического состава грунта можно колебаться от 0,5—2,0 до 6,0 м при насыщенности капилляров до 75—80%.

цвета. В зоне климатического влияния изменился и почвенный покров: 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 многолетнее регулирование, характеризующееся большой амплитудой многолетних колебаний уровня, влияние их на почву менее постоянно, так как в годы с низкими уровнями признаки заболачивания и оглеения на многих участках исчезают или ослабевают (Успенская, 1966). Большой сработке некоторых водохранилищ сезонного регулирования в безледостатий период также уменьшает воздействие подтопления на почву.

В нижнем бьефе гоченный покров изменяется дифференцированно. Это объясняется своеобразием трансформации гидрологического режима реки — более сильную и продолжительную увлажнением прирусловой части поймы и уменьшением поверхностного увлажнения ее остальной территории. Поэтому в узкой прирусловой полосе изменился и почвенный покров: преобладают в интенсификации процессы заболачивания или солончания и аналогичным образом в зоне подтопления вокруг водохранилища. На большей части территории поймы, где уменьшается или прекращается увлажнение водой 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 водосов в нижний бьеф. В условиях аридных районов ежегодные поступления наливка подерживали плодородие пойменных земель. Так, например, во время ежегодных разливов Пила 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 и гол. Однако и для 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 зерна и 30% уменьшения количества кормовых единиц в нем — следствие снижения количества плодородного ила. Ранее ежегодно стлавившегося во время паводка.

Постоянное и глубокое (более 1,5—2 м) затопление территории приводит к полной гибели существовавшей ранее наземной растительности. В зоне мелководного постоянного за-

топления (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 пш. На Дамповском водохранилище шовке заросли развиваются нормально даже на участках, вот уже много лет затопленных на глубину до 1 м в течение большей части вегетационного периода. На водохранилище Зейке в Полтаве наиболее устойчивыми в зоне затопления оказались дуб (Cherch, 1973). В субтропических аридных районах древесная растительность в зоне затопления, как правило, не сохраняется.

В зоне кратковременного мелководного затопления и в нижней и средней частях зоны временного затопления формируется полоса гидрофильных и гигрофильных ассоциаций. Вдоль берегов водохранилищ в зоне умеренного влияния при глубинах менее 2—2,5 м формируется кося из тростника, камыша или рога. В более глубоких местах обильны рдсты, урути и другие плавающие и погруженные водные растения.

На развитие гидрофильной и гидрофильной растительности большое влияние оказывает уровеньный режим водохранилища, защищенность берегов от волнения, характер и состав прежней растительности, а также рельеф и грунт дна, химизм воды, наличие в водохранилище растительных рыб и т. п. На водохранилищах с большой высотой воли зарослей водной растительности на открытых участках береговой почвы нет. Не развивается растительность также и у криглубых берегов, при большой сработке особенно в вегетационный период и при чередовании лет с высокими и низкими уровнями наводнения, 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 эфемерных видов растений. Для многих водохранилищ в субтропических, тропических и экваториальных поясах земного шара характерно бурное распространение водных сорняков (рис. 27), особенно водного гиацинта (*Eichornia crassipes*, E. aztec), водного папоротника (*Salvinia auriculata*), мильского салая (*Pistia stratiotes*) и др. Однако на водохранилищах с большой сработкой водный гиацинт, папоротник и мильский салат распространены незначительно. Практически нет этих водных растений на водохранилище Насер, хотя в пойме Баули Нила они занимают огромные площади (Cherch, 1973; Leentvaar, 1975).

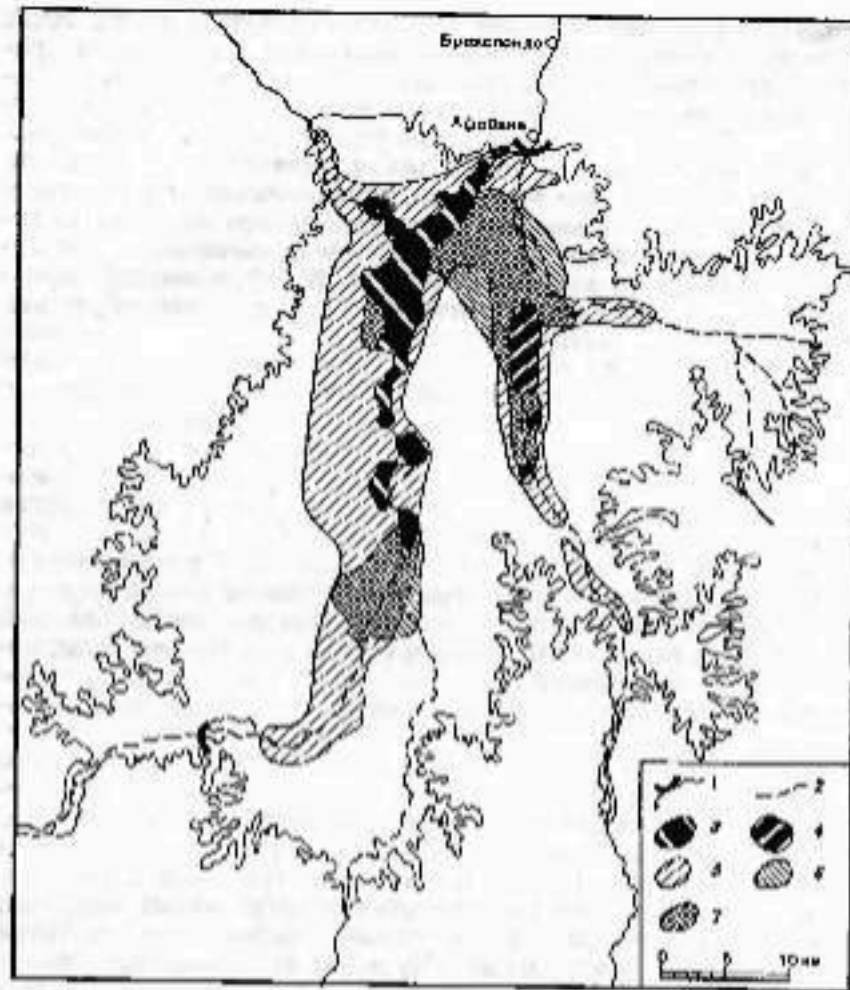


Рис. 27. Схема размещения водохранилища Братское (Суринск) (Map-Made Lakes, 1973)

1 — паводки; 2 — возмущение русла рек; 3 — распространение водной тинницы в 1964 г.; 4 — то же, тростника; 5 — распространение водной тинницы в 1966 г.; 6 — то же, тростника; 7 — зоны распространения разных видов растений.

В зонах подтопления (сильного, умеренного и слабого) древесно-кустарниковая и травянистая растительность по-разному реагирует 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 кроны, разрежении древесного и скелетного их строения. Однако приспособленность различных древесных и кустарниковых пород к подтоплению различна. По наблюдениям на берегах Цимлянского и Волгоградского водохранилищ большую устойчивость при подтоплении, кроме ив, показали вяз мелколистный, ясень зеленый, гледичия, скухия 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 обильнее; из травостоев выпадают многие ценные в кормовом отношении виды трав, например бобовые и многолетние 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 осики, щучки 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 травостоев таких трав, как коостер безостый, овсяница красная, ковыль белая, мятлик, клевер, тимфеевка, лядвенец 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 реки и ее притоков в значительной степени обуславливает изменения в характере растительности, соответствующие сдвигам в увлажнении почвенного покрова. Благоприятная растительность остается в узкой прирусловой полосе, а на большей части поймы развиваются менее влаголюбивые сообщества. Сильнее, вплоть до опустынивания, это сказывается в аридных районах, где весенние или осенне-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 поймы и долины 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 долине, 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, низшем Иртыше и т. д., умеренное сокращение продолжительности затопления долей благоприятствует увеличению биомассы растительности. В Приамурье, Прикорье и в северо-восточных районах Китая пойменные земли затопляются частью в разгар вегетации луговой растительности, что приводит к ее гибели, а иногда и к полной гибели.

На поймах болышинства речных долин зоны умеренного климата при зарегулировании стока переформируются латентно-растительные комплексы. На пойме высокого уровня развиваются 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 сокращаются элементы пойменного ландшафта.

В субтропических и тропических поймах 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, Вольги и др. Вместе с тем уменьшение проточности пойменных водоемов приводит к их быстрому зарастанию тицином, Капоротником и др. (Cherel, 1973).

На поймы и растительность пойм влияют также значные затопления. Так, наледи 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 (Валковский, 1962).

Появление нового искусственного водосма — водохранилища — приводит к существенным изменениям в животном мире обширного района. Во влажных лесах (умеренных, тропических и экваториальных) 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 (Нижегородско-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 непосредственного или косвенного ухудшения 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 популяции их обычно уменьшаются.

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

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

Влияние водохранилищ на животный мир начинается еще до заполнения их — при лесосеверке и лесочистке лозы, строительстве дорог и т. д., когда нарушаются места обитания и кормовые угодья.

Во время наложения водохранилища, особенно если оно происходит быстро, наблюдается массовая миграция животных. Многие животные, убежав 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 зон затопления приводит к неблагоприятным последствиям для человека (уничтожение посевов скопившихся в большом количестве животных, повышение 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 многоплатных и птиц сильно влияют колебания уровня воды; численность грызунов на берегах Рыбинского водохранилища в годы с различным уровнем воды изменяется в 3—10 раз (Калеская, 1957).

Сработка уровня весной приводит к обсыханию икры у многих ямных рыб, 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 под ледом. В результате на ряде водохранилищ отмечено переселение этих животных за его пре-

делу (Ретсум, 1968). В то же время при зарастании мелководий, на заболочиваемых берегах, на вливающих и прибитых к берегу горбыльках нерелки создаются благоприятные условия не только для водонаводящих птиц, но и для грызунов. Значительно возрастает количество беспозвоночных.

В нижних бьефах водохранилищ изменения животного населения обуславливаются в основном изменением почвенно-растительного покрова и заключаются в сокращении численности популяций животных и гнездящихся в пойме птиц. Резкое ухудшение условий жизни индустрии произошло в дельте р. Или после создания Калчинского водохранилища, в дельте р. Или также водохранилища Гордон М. Хрум (Капала) и в нижних бьефах ряда других гидроузлов. Так, в дельте р. Или, расположенной примерно в 1100 км ниже указанного водохранилища, сокращение расхода весеннего половодья с 8700 до 3000 м³/с снизило уровень 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 Нафрало численность охотничьих животных 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 отнесенных изменений природных условий при создании водохранилищ постепенно образуются новые, сбалансированные по условиям жизни биотопы. На водохранилищах с небольшими колебаниями уровня биотопы более богаты и быстрее формируются, чем на водохранилищах со значительной сработкой. Наиболее неблагоприятны в этом отношении водохранилища мультяетного регулирования.

Влияние создания и эксплуатации водохранилищ 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 (Авакиш, Шаратов, 1968; 1977; Дюш, 1975).

Общезвестны 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 существуют и негативные последствия создания водохранилищ — ухудшение эпидемиологи-

ческой 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 заслуживают изученные влияния водохранилищ на изменение природных условий обитания возбудителей и переносчиков некоторых инфекций. Как известно, с водными факторами 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 бактерионосителей;

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

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

Обстановка, связанная с возникновением 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 эпидемиологической обстановкой, высокая плотность населения во временных лагерях и поселках строителей, недостаточный уровень профилактических мероприятий, коммунально-бытового обслуживания, общественного питания (Black, 1975; Imsvborg, 1975). Усугубление действия этих факторов обычно вызывается их сочетанием с климатическими особенностями субтропического и тропического поясов, как, например, при строительстве плотин и создании водохранилища Камбоджи в Индонезии. За 4 года с начала строительства участвовало более 20 тыс. рабочих и специалистов, размещенных с семьями в специально сооруженных поселках; кроме них, к зоне строительства тяготеет 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 водохранилищных мероприятий, надежности санитарной охраны зон питьевого водозабора, эффективности обработки воды при централизованной водоснабженки, т. е. от факторов, обычных для несанитаризованных водоемов. Однако высказываются соображения о менее интенсивных процессах бактериального обсеменения зарегулированных водотоков и в качестве примера приводятся данные о мало выраженной заболеваемости холерой (лишь несколько случаев) населения на берегах водохранилища Каинджи во время эпидемии 1971 - 1972 гг. (Ishenbort, 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 1960 г. группой экспертов ВОЗ обращалось внимание на необходимость принятия экстремальных 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. (Deont, 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 гнатостомоз. Обводнение обширных территорий в сочетании с рынком Индокитая создало весьма благоприятные условия для развития первичных и вторичных переносчиков этих заболеваний (моллюсков, рыб). В то же время обывки 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 Каинджи в Африке. Район этот и до созда-

ния 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 создания водохранилища резко сократились участки территории, подходящие для выпаса кошки-переносчика. В результате заболеваемость онхоцеркозом значительно снизилась, хотя около 10 прибрежных деревень появилось около 70 новых селений (Deont, 1975; Ishenbort, 1975).

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

Распространение этого заболевания приобрело серьезнейшее значение в Африке после завершения строительства водохранилищ (Насер, Сенгар 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 в среде населения ривьеры Джезира в Судане после строительства плотины Сенгар на Голубом Ниле. Системы ирригационных каналов и здесь послужили идеальным местом развития улиток — промежуточных хозяев возбудителя болезни.

Создание водохранилищ способствует ликвидации речных порогов — мест размножения мушки, однако она может сохраниться (или образоваться) на быстрых реках, впадающих в водохранилища. В качестве примера можно привести африканские водохранилища Волта и Кариба.

Возможность расширения пресной обитания другого насекомого — мухи цецы — переносчика смертельно опасного тропического — кожной болезни, также отмечена при создании некоторых водохранилищ Африки. Многочисленны примеры появления у водохранилищ докучливых как новых очагов выплода переносчиков малярии — комаров-анофелесов, нуждающихся в мелководьях для периода развития личинок. Успешная борьба с малярией в Советском Союзе, завершившаяся практически полным 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 еда 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 связанными прямой связью 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.

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

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

За рубежом многолетние и разносторонние микробиологические исследования проведены на водохранилищах Вальтского каскада в ЧССР (Straškrabova et al., 1973) и на водохранилище Вольта (Biswas, Ruth, 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 равны ни 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 багрянцевидных в водохранилищах

Водохранилище	Год исследования	Объем воды, куб. м	Глубина, м	Длина водохранилища, км	Площадь водосбора, км ²	Средняя глубина, м	Плотность, шт./га	Источники
Озипотрофные								
Иркутское	1956—1959	46,5/—	24	III, 1953—II, 1959	—	0,45	—	Кожан, 1970
Кайракумское	1956—1959	4,2/12,0	—	—	—	0,4—0,75	0,5—1,120,4—0,75	Богданов, 1975
Штеховце (ЧССР)	1946	0,01/0,3	240	VI—IX, 1963	—	0,59	—	Strakosova et al., 1973
Мезотрофные								
Сланы (ЧССР)	1954	0,3/—	9	VI, 1953—VI, 1954	—	0,53	—	Procházka et al., 1973
Братское	1961—1967	159,3/31,0	0,5	V—IX, 1961—1970	—	0,85	0,77	Кожан, Мазон, 1973
Тяньцзунское	1956	0,08/0,8	9—12	III, 1956—V, 1960	—	—	1,1	Янбасинга, 1966
Уити Кингто-горское	1954	0,6/17,0	23	V—IX, 1950—1963	—	1,5	0,71	Гуаня, 1975
Рыбнае	1947—1947	25,4/5,6	1,9	V—XI, 1961—1968	250	1,42±0,18	—	Романенко, 1972

Таблица 23 (окончание)

Водохранилище	Год исследования	Объем воды, куб. м	Глубина, м	Длина водохранилища, км	Площадь водосбора, км ²	Средняя глубина, м	Плотность, шт./га	Источники
Евтрофные								
Гаракетское	1955—1957	10,0/0,4	—	V—X, 1967	—	1,7	0,37	Таракан, 1973
Хуяшешское	1955—1957	56,0/0,0	4,4	V—X, 1965—1972	—	1,8—2,7	—	Матис, 1975
Саратское	1958	43,4/7,3	15—18	V—X, 1971—1973	—	1,8	—	Дубовик, 1975
Постогорское	1953—1960	31,4/10,2	7,7	V—X, 1937—1963	—	1,85	—	Донченко, 1970
Духтеринское	1971—1977	49,0/9,0	0,3	V—X, 1961—1969	1300	2,1	1,74	Гуаня, 1975
Вране (ЧССР)	1955	0,01/4,4	300	VI—IX, 1963	—	2,12	—	Strakosova et al., 1973
Валата (Гана)	1964	146/18,0	—	1961—1979	—	—	—	Riswas, Ruth, 1972
Евтрофные								
Ивановское	1937	1,1/3,4	13,6	V—XI, 1973—1974	200	3,0	—	Стефанов, 1978
Кокотское	1964—1966	4,6/4,0	5—12	V—X, 1965—1969	250	4,22	3,34	Уан, 1975
Кривинское	1953—1961	13,5/0,0	2,3—4,0	IV—XI, 1965	42	3,51	1,53	—
Дендрозер-жанское	1963—1965	2,5/1,3	4,3	IV—X, 1968	17	3,44	2,20	—
Запорожское	1946	3,3/5,0	12—14	IV—X, 1965	49	3,68	2,10	—
Калашинское	1955—1958	49,2/5,4	2—3	IV—X, 1955—1959	100	5,40	4,10	—
Дубосарское	1955	0,5/6,5	18	IV—X, 1958—1959	64	6,06	4,86	Димитрова-Кри-стова, 1964

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 Иртышского, Дубоссарского и Волыя приведены полученные нами средние данные о численности и биомассе бактериопланктона и числа 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 0,4–0,8 млн. клеток на 1 кл., 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 число 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 прикидывать во внимание их общую численность, а не биомассу, так как при определении последней некоторые авторы учитывали коэффициенты усыхания бактериальных клеток на фильтрах (Кожога, 1970; Гуляя, 1975), другие же приписали 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 (Гал, 1975), этот показатель довольно значительно меняется в разных водохранилищах в разные сезоны (табл. 24).

Есть попытки классифицировать водоемы по отношению числа бактерий, растущих на богатой среде, к числу бактерий, растущих на бедной среде. Это отношение называли аукоотрофным индексом I_A :

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

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

Таблица 24

Средний объем бактериальных клеток в воде водохранилищ Днепра (нм³/клетка) в 1968 г.

Водохранилище	апрель-мáj	июль-август	сентябрь-октябрь	Среднее значение (на основании сезонных данных)
Кременчугское	0,63	0,58	0,44	0,55
Днепропетровское	0,63	0,64	0,50	0,59
Запорожское	0,48	0,49	0,13	0,33
Киевское	0,35	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 Испанни (Gonzalez et al., 1975) установили, что:

- для олиготрофных водоемов $I_A < I_m$, $b > m$, $a < p$;
- для мезотрофных водоемов $I_A \approx I_m$, $a \approx p$;
- для евтрофных водоемов $I_A > I_m$, $a > p$.

Значения индексов, полученных для водохранилищ Сиурана, Риву-Декальос и Сау (в Испании), хорошо согласуются с этими условиями. Аукоотрофный и психрофильный индексы соответственно равны: для водохранилища Сиурана — 3 и 3, для Риву-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 водохранилища с последующим снижением ее до исходных значений и даже или несколько ниже (рис. 28). Это явление обычно объясняют евтрофирующим воздействием вымытых в воду биогенных элементов донного ложа водохранилища.

На водохранилищах Днепра наблюдалось позростание 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 днепропетровских водохранилищах последующее снижение концентрации бактерий связано, как это мы парадоксально, с их дальнейшим евтрофированием, которое привело к сильному «цветению» воды синезелеными водорослями. Доминирование в фитопланктоне этих малосъедобных для фильтрующего зоопланк-

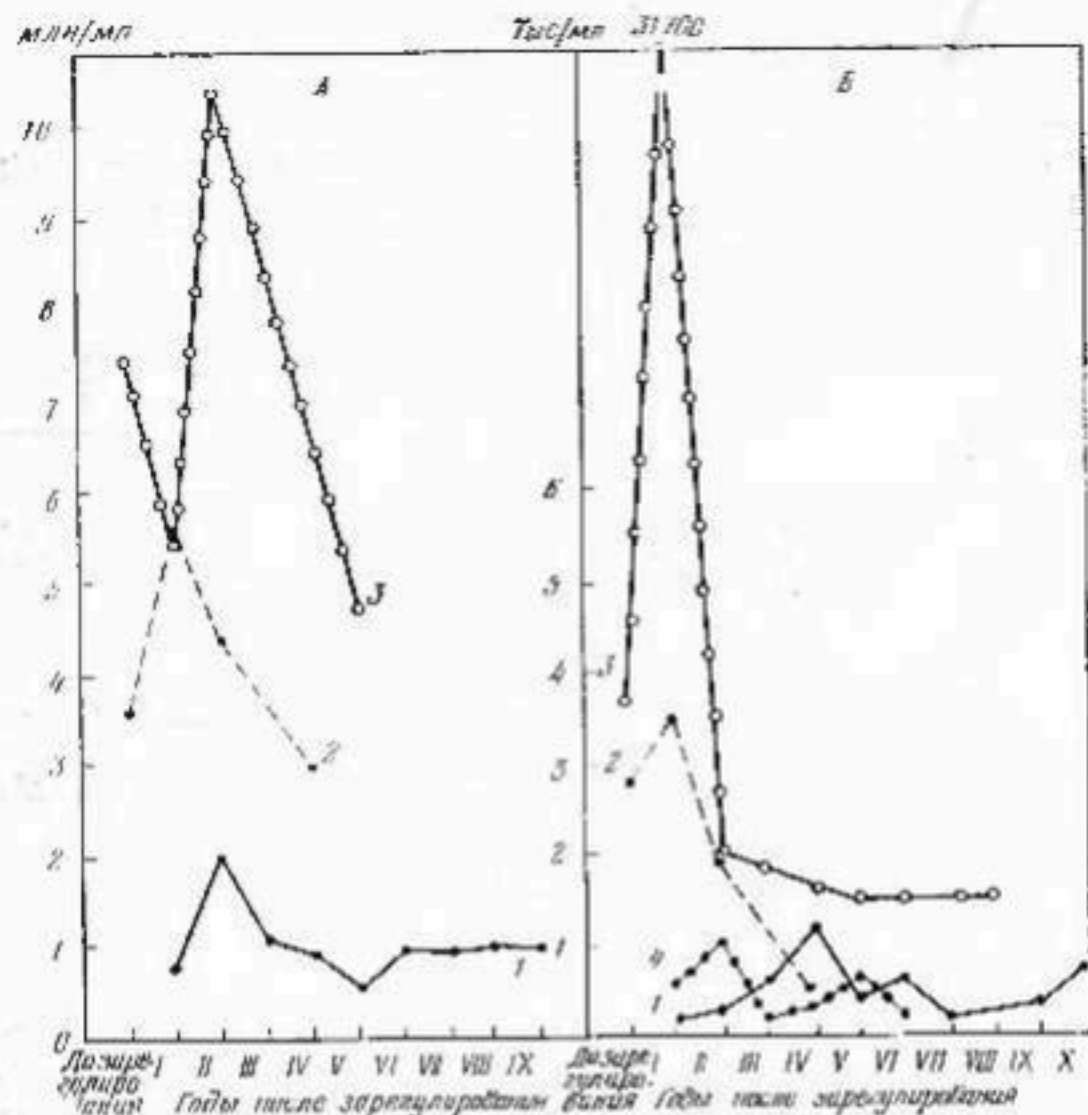


Рис. 28. Формирование микробиологического режима водохранилищ
А — общее количество бактерий (млн. кл./мл); Б — численность гетеротрофов (тыс. кл./мл)
1 — Братское; 2 — Киевское; 3 — Кременчугское; 4 — Волга

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. Иякиной (1975). Общее число бактерий в Кременчугском, Диспроджержинском, 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 численности¹.

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 БПК₅, ХПК в поверхностных водах водохранилища Слапы наблюдалось через 2—4 года после создания выше по течению водохранилища Орлик (Procházková 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.

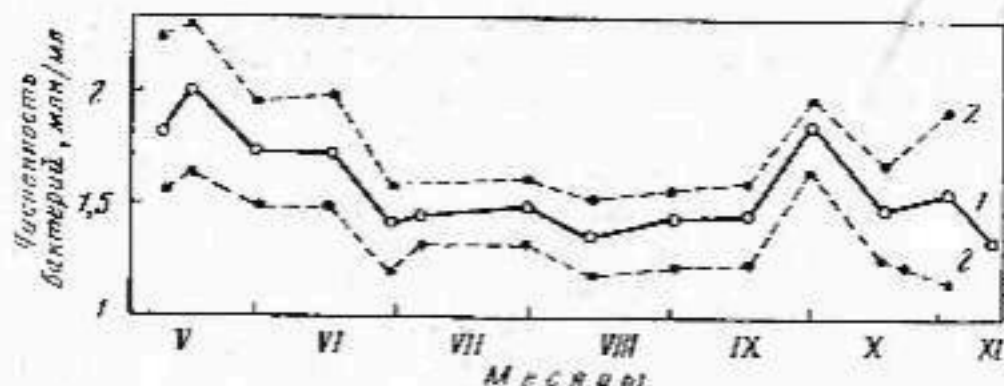


Рис. 29. Сезонная динамика численности бактериопланктона в Рыбинском водохранилище (Романенко, 1972)

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 склянках, 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 D в воде водохранилищ

Водохранилище	Период исследования	K , (P/B) сут ⁻¹	P , г/м ³ сут ⁻¹	D , г С/м ³ за сезон	Источник
Иркутское	III—X, 1950—1960	0,27	0,21	122	Кожова, 1970
Славы (ИССР)	V—X, 1964	0,45	—	315	Straškrabová, 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	—	Дзюба, 1975
Братское	1965—1972	0,55	0,43	420	Кожова, 1973
Милгечаурское	VII—X, 1958	0,55	—	—	Салмалов, 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 волновой 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

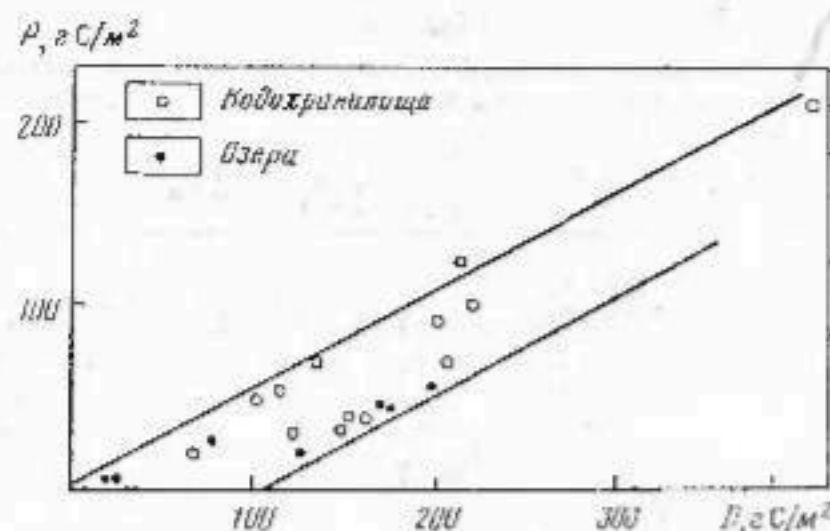


Рис. 30. Отношение продукции бактериальной биомассы ($г\ C/m^2$ за вегетационный сезон) к деструкции органического вещества (в тех же единицах)

P — продукция; D — 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 водосема. 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 $г\ C/m^2$, 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 $г\ C/m^2$ 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 не кормовыми растениями (крупными колонизальными 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 альгофлор 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 одним 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. Kuetzingiana*, *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 эуфитных водорослей, обитающих на мелководьях (Андреевская, 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 пелагопланктонных 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 hanitzschii*, *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 несной 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 lepticulatus* 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 *Dinobryon*. 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 массы рассматриваемого водохранилища.

Межгодовые изменения фитопланктона. Необходимо иметь в виду однонаправленность изменений, связанных с перестройкой биомы 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 пеламопланктонных комплексов, когда фитопланктон имеет смешанный характер с одинаковым значением в его структуре экологически различных видов; б) вспышка, увеличение численности синезеленых видов *Melosira*, пиррофитовых 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, Бернальд, 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/м^3 , 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 пусках воды.

Срок «созревания» фитопланктона в водохранилище, т. е. время прохождения первых двух стадий и наступление 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 пеламофильный, чем лимнофильный характер.

На разных участках Братского водохранилища перестройка речных биоценозов в лимнопланктон происходила не одновременно и зависела от скорости наполнения водосма, которое про-

должалось 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 выщелачивания веществ из затопленной почвы и растительности.

На стадии стабилизации образующийся «монотонный» лимнофильный комплекс остается весьма чувствительным к загрязнению, 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 молодых 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 км^2) всей поверхности. Однако на других водохранилищах и озерах Западной Африки подобных вспышек развития сальвинии и водного гиацинта (*Eichhornia crassipes*) не наблюдалось. После сооружения плотин 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 рыбозаведению, 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, Ивановское, 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*), ситника 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; исключения составляют Ивановское, 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 значительным в растительном покрове заросли камыша озерного (*Scirpus lacustris*), которые значительно слабее представлены в водохранилищах Волги. В верхне-

волжских водохранилищах (Ивановское, Угличское, Рыбинское, Горьковское) очень интенсивно развились хвощатники (асс. *Equisetum fluviatile*), которых в других водохранилищах фактически нет. Для ряда средних- 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 tabernaemontani*). 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 (*Nymphaea alba*) и чистой (N. candida), кубышки желтой (*Nuphar lutea*), рдеста плавающего (*Potamogeton natans*), рдеста разнолистного (*P. heterophyllus*), изредка водяного ореха (*Trapa natans*) и болотноцветника щитолистного (*Nymphoides peltatum*). Сообщества горца земноводного распространены в большинстве днепровских и волжских водохранилищ; фитоценозы нимфейных встречаются в верхних частях днепровских водохранилищ, расположенных главным образом и пределах лесостепной зоны, а также в Ивановском, 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 уровень 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 площади (Киевское, Кременчугское, Ивановское и др.). Заросли рдеста блестящего (*P. lucens*) также встречаются во многих во-

дохранилищах; достаточно широко распространены фитоценозы роголистника темно-зеленого (*Sagittophyllum 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 вallisнерия 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 «испыски» 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, уровень 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 воджских 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. Корсакиной (1976), В. А. Экзерцева, В. В. Экзерцевой, А. П. Белявской, Т. Н. Кутной (1966), Б. В. Девкин (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 интенсив-

ным 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 ценоотическом отношении видами растений, но не достигших оптимальных показателей в продуцировании фитомассы; характерны интенсивно протекающие процессы смен, направленные в основном на вытеснение ценоотически слабых сообществ, значительно меньшее участие «переживающей» растительности и гораздо более медленные темпы зарастания новых мелководий.

III этап характеризуется господством на больших площадях относительно устойчивых, ценоотически 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 корневидной растительности и др.) начинаются процессы заболачивания, что проявляется в образовании славин. 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 славин констатируется во многих случаях в нескольких типах растительных сообществ: манника большого — на Иваньковском водохранилище, тростника и рогоза узколиственного — на Киевском и Каховском, телореза алоэвидного — на Киевском. Вновь сформированные за счет растительности славин не следует смешивать со старыми славинами, 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 уровня 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 толщ 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 Волта, 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, Брокпондо) 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 Евразийского континента (Дон, Днепр, Днестр, Волга, Обь, Енисей) *Keratella quadrata*, *K. cochlearis*, виды родов *Asplanchna*, *Synchoeta*, *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*, *Limnosedra frontosa*, *Leptodora*, *Bythotrephes*, *Eudiaptomus gracilis*, *E. graciloides*, *Heterocope appendiculata* (Лазубан, Ривьер, 1976). В американ-

Таблица 27

Относительное количество видов основных групп зоопланктона в некоторых водохранилищах, %

Водохранилище	Местоположение	Группы зоопланктона			Бiomасса зоопланктона, г/м³	Источник
		Ротифоры	Сиднейеры	Сирофиды		
Иваньковское	Центр	38	35	26	1,2	Елагин, 1975
Горьковское	»	38	40	22	1,0	Плагин, 1975
Кубышевское	Повольное	48	32	20	0,73	Небоксина, 1976
Саратовское	»	47	28	25	Нe данно	»
Волгоградское	»	36	42	22	»	»
Кавнаеское	Прибалтика	42	40	18	»	Печихов, 1970
Цолякское	Северный Кавказ	51	34	18	»	Мирошников и др., 1970
Каттагавское	Кавказ	64	22	14	2,7	Мусина и др., 1978
Красноярское	Сибирь	44	34	22	0,6	Веденин, Червильская, 1970
Катинбургское	Средняя Азия	57	36	7	1,2	Мухомедов, 1970
Пачкаризовское	Тянь-Шань	50	28	13	»	»
Тудузуйское	»	63	26	11	»	Чухрина, 1972
Куюкларское	»	68	19	13	0,31	»
Озген	Куба, предгории	53	38	14	0,84	Перес Габриэ и др., 1977
Заль Десеро	Куба, горное	58	22	22	0,01	»

ских водохранилищах (Beaver, Bull Shouls) на р. Белой (Литат Арканьяс) доминируют те же *K. cochlearis*, *Bosmina longirostris*, *Chydorus 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*, *Phyllocladopus blanci* (Мельников, 1966; Чухрина, 1972).

Для предгорных и горных водохранилищ Тянь-Шаня и Памира специфичны *Acanthocyclops* — *claptonus denlicornis*, *D. rubicundus* — виды, обычные в высокогорных озерах этой области (Мирошников, 1969).

Водохранилища юва Куба свойственны тропические и субтропические виды Американского континента: *Daphnia ambigua*, *Moinodaphnia maculata*, *Diaptomus salinus*, *Thermocyclops hyalinus*. И здесь встречаются виды — ксенохориты — общие для субтропиков Евразийского континента, такие, как *Ceriodaphnia*

rigaudi, *Diaphanosoma brachyurum*, *Moina micrura* (Bicchino, 1976).

Распределение зоопланктона в водохранилищах. В верхних частях водохранилищ, сохраняющих черты речного режима, зоопланктон беден и однороден, распределен от поверхности до дна. По мере снижения скорости течения и приближения к плотине количество зоопланктона увеличивается, вертикальное распределение становится тестеренным. Такая картина наблюдается в самых различных водохранилищах (Вершинин, Червильская, 1970; Ривьер, 1976; Varley, Albert, 1971).

Колебания уровня и обсыхание больших площадей в водохранилищах оказывают на зоопланктон меньшее отрицательное воздействие, чем на бентос и рыбное хозяйство. В низовьях Волги после зарегулирования срок существования популяций 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-Секи в Альпах). Скорости при сбросе настолько велики (≈ 1 м/с), что планктонные ракообразные пассивно уносятся потоком из водохранилища, не успев отложить покоящиеся яйца. Происходит перестройка зоопланктонного сообщества, где начинают преобладать виды с более коротким жизненным циклом (Pecheniet, 1961). В проточных водохранилищах умеренного пояса создаются благоприятные условия для обитания зоопланктона во всей толще воды. Однако в глубоких затопленных пойменных озерах (о. Видогош на Ивановском водохранилище), в слабо проточных, сильно егтрофированных водохранилищах умеренного пояса (Пудзашское, Кремленское) наблюдается непродолжительные периоды, когда создается дефицит кислорода в гипоксических и анаэробных условиях 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 большую часть толщи воды. Так, на водохранилище Кариби термоклин образовался сразу после зарегулирования и сероодородная зона, лишняя жизнь, располагается от глубины 20—30 м и до дна (хвостовая глубина 123 м) (Harding, 1966). Аналогичная картина наблюдается на водохранилищах Брокенлод и Вольта, где кислород присутствует всего до глубины 3—4 м (Lentz, 1966; Ewer, 1966). Как уже указывалось, южные тропические водохранилища зарастают водным гиацинтом (*Eichhornia*). В его зарослях фотосинтез угнетен, кислород отсутствует, зоопланктон практически нет.

В припотошных частях водохранилищ умеренного пояса, где увеличивается прозрачность, численность бактерий в процессе самоочищения водоема снижается и складывается пелагический зоопланктонный комплекс с доминирующими 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 — гибнут, что снижает процесс самоочищения водоема (Богданов, 1968; Дзюбак, Ривьер, 1976; Margolf, Oshtup, 1972). Крайняя степень такого процесса наблюдается на участках водохранилищ, где проводятся большие гидростроительные работы или долгие отложения интенсивно размываются при прохождении судов и работе шлюзов. Так, в Вытегорском и Новинкинском водохранилищах (Волго-Балтийская водная сеть) прозрачность составляет 10—40 см, количество бактерий 6—7 млн. кл/мл, фильтраторы-зоофиты отсутствуют, встречаются лишь отдельные особи мелких *Cyclops* и *Acanthocyclops*. Отсутствие фильтраторов и формирование зоопланктона из светлых форм происходит в некоторых мутных мелководных водохранилищах Кавказа (Кутубидзе и др., 1970).

В водохранилищах прерий (Минтепурском, Кайракумском, Зеравшанском и др.), куда поступают богатые минеральными частицами воды горных рек, фитопланктон и зоопланктон бедны и по числу видов, и по биомассе (Лиходеева, 1963; Спещанкова, 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 *Claudosea* (сначала *Bosmina*, затем *Daphnia*) и *Dipteromidae*. 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 коловра-

ток, снижением интенсивности размножения босмин. В зоопланктоне в это время доминируют крупные ракообразные: *Daphnia*, *Diaphanosoma*, *Limnosa*, *Lepidodora*, *Bythotrephes*, *Mesocyclops*, *Limnocalanus*, в массовом количестве размножаются *Chydorus sphaericus*. Летняя депрессия в развитии зоопланктона происходит в период штилевой погоды, максимальных температур, увеличения прозрачности воды, некоторого спада численности бактерий, развития «цветения» сине-зеленых 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 (Каливские водохранилища, 1964; Киевские водохранилища, 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 при ветровом воздействии (Чуприна, 1972).

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

Начальный период формирования зоопланктона водохранилищ характеризуется расширением видового состава, нарушением экологического соответствия отдельных групп, присутствием и пелагическими факультативно-планктонными видами и увеличением общего количества планктонных животных (Лухарова, 1963; Дзюбак, 1965; Казахские водохранилища, 1964; Мельников, 1966; Mordekhai-Boltovskoi, et al., 1972).

Быстрее всего процесс формирования зоопланктона происходит в озеровидных водохранилищах (например, Рыбинском, Цимлянском) и озерных плесах слабопроточных, сложных по конфигурации водоемов (в нижних плесах Горьковского, Угличского и Тетюшского плесов Кузнецкого, и т. д.). В озерных водохранилищах и озеровидных плесах экологическая обстановка меняется коренным образом, что способствовало более быстрому становлению пелагического комплекса по сравнению с русловыми, проточными водохранилищами, продолжающими сохранять речные черты.

В процессе существования водохранилищ изменения их гидробиологического и гидробиологического режимов продолжают. В период массового развития сине-зеленых водорослей угнетается

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

Значительное влияние оказывает на зоопланктон сброс промышленных и бытовых загрязнений. Акватории, подверженные 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 ветвистые и колониальные; вблизи сбросов сточных вод зоопланктон отсутствует (Исцова, 1970; Гольд и др., 1976).

Южные водохранилища, расположенные в районах интенсивного земледелия, особенно загрязняются илохимикатами. Количество зоопланктона при этом снижается, многие виды исчезают вовсе. Такая картина наблюдается на водохранилищах Северного Кавказа, расположенных в речоводческих 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 водослой-охлаждающих ТЭС и АЭС внесло новые изменения в их экологию. Сброс подогретых вод толкает температуру на значительной акватории, прилегающей к станциям. Это вызывает изменение 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 Cerioda — ценные в кормовом отношении для рыб, травмируются и гибнут (Ривьер, 1975; Contant, 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° (Елагина, 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 13,35 г/м³, в Горьковском — 19,26 г/м³ и Волгоградском — 23,8 г/м³. В южных водохранилищах продукционные процессы

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

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

Водоохранилища тропического пояса могут характеризоваться невысокими биомассами фито- и зоопланктона, но очень высокой продуктивностью, так как при высоких температурах интенсивность размножения на всех трофических уровнях очень велика (Перес Ейрис и др., 1977). Продуктивность тропических водоемов определяется характером окружающей 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 больше, чем водохранилища умеренного пояса.

После зарегулирования стока и создания водоема количество зоопланктона возрастает во много раз по сравнению с рекой, это способствует увеличению численности и широкому распространению 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 зоопланктона-фильтратора в этом процессе еще мало изучена.

ЗООБЕНТОС

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

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

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

Таблица 28

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

Водохранилище	Общая биомасса	По составу группы организмов				Прочие
		Олигохеты	Толстые ракообразные	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	0,04	1,3	23,7	0,04
Волгоградское	30,0	1,3	0,04	0,3	28,0	—
Каховское	98,4	0,83	0,01	1,3	96,8	—
Ижевское	72,9	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
Клязьминское, 1970 г.	7,2	0,06	1,6	0,34	3,45	0,85

* По данным Гиренковой (1972), Билибинской (1976), Васькиной (1977).

Подвижные высшие ракообразные присутствуют в бентосе далеко не всех водохранилищ и представлены расселенными естественным путем или коллекциями формами каспийской реликтовой фауны, арктическими или сибирскими реликтами. Среди моллюсков лишай для рыб служат сфериды, отдельные брюхоногие, моллюды 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 (Нирожников, 1971; Константинов и др., 1976) в помских водохранилищах колеблется в пределах 2—10 г/м² (Иланьковское — 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 пенившие формы, составляющие бентос водохранилищ, могут быть разбиты на следующие группировки.

1. Фильтраторы: а) потребители взвесей из придонной воды, чаще — малоподвижные формы (дрейссены, ряд видов хирономид), а также подвижные (укиды), 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 считает фильтрацию либо с собиранием с поверхности — моллюски сфериды, ряд хирономид, либо с потреблением растительной пищи грызущим, скобливающим способами — брюхоногие моллюски, ряд гаммарид.

2. Детритофаги (субираторы): а) потребители детрита с поверхности грунта — улитки хирономиды, а также подвижные ракообразные — ряд гаммарид, кумовые; б) потребители толщ грунта — олигохеты, полихеты, отдельные виды хирономид.

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

Фауну бентоса можно считать насыщенно, 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) фильтраторы инфавы монодакны, собиратели инфавы полихеты, а также малочисленные в волжских водохранилищах подвижные фильтраторы — высшие ракообразные. Наименее насыщена фауна бентоса ирландских водохранилищ; в первые годы их существования она состоит почти исключительно из хирономид (Petr, 1972; Мусатов, 1974).

Уровень биомассы организмов различных трофических группировок в водоеме в значительной степени определяется обеспеченностью их пищей. Развитие дошлых и придонных детритофагов в большей мере зависит от распределения органического углерода в грунтах. Потребление в пищу осевшей бедной 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 невысокой, несмотря на достаточно длительный срок их существования, и находится на более низком уровне по сравнению с изсрами равной трофичности (Мордухай-Болтувской, 1971).

Бентос в таких водохранилищах распределяется неравномерно. Наиболее продуктивные русла рек, где оседает приносимая аллювиальная органика. Затопленная суша заселена нежной слабее, в основном хирономидами и в меньшей степени олигохетами, роль которых постепенно растет с увеличением затапливания дна.

По руслам почти всех водохранилищ доминируют полихеты, так как здесь происходит основное осадкообразование за счет аллювиальной органики. Роль олигохет в донном растении грунтов. Численность тубифидов прямо зависит от содержания органического вещества в илах. Олигохеты — потребители органики толщ грунта в большей мере, нежели другие группы бентоса, — развиваются за счет приноса аллювиальной органики.

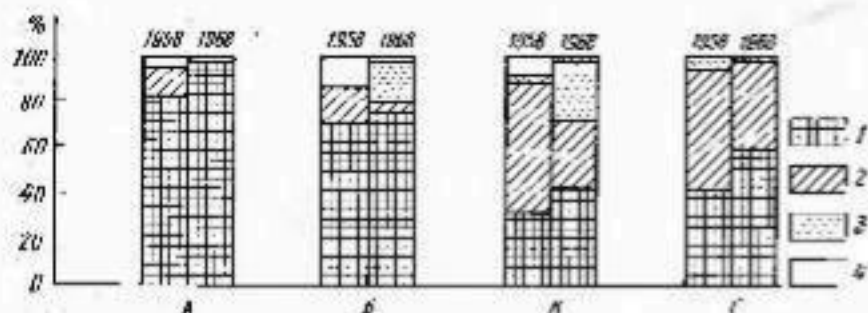


Рис. 31. Составление групп бентоса в % из разных групп в Рыбинском водохранилище (Путорск и др., 1975)

А — озеро и мелкий пруд; Б — мелководная лужа; В — торфяное озеро; Г — река и пойменная река; 1 — олигохеты; 2 — гидробионты; 3 — моллюски; 4 — рыбы

Распределение детритофагов вдоль продольной оси водохранилища зависит от гидрологического режима и определенного им характера осадконакопления. Это можно видеть на примере Кутулунского водохранилища, где приносимое аллотонное вещество оседает в верхних и убывает по направлению к плотине (Бородин и др., 1974). В Братском водохранилище (Кожова, 1974; Кожова, Топилов, 1973) при средней биомассе бентоса 16 г/м^2 олигохеты господствуют в профундали, причем в верхней части водохранилища их биомасса достигает 100 г/м^2 , а без олигохет биомасса едва достигает $3-4 \text{ г/м}^2$. Распределение олигохет в водохранилище четко очерчивает зону оседания приплотной органики. В транзитной части водохранилища биомасса олигохет достигает 10 г/м^2 . В лиморали Братского водохранилища, где создается условное органическое вещество, преобладают хироноиды ($60-80\%$).

В Воткинском водохранилище особенно много олигохет в верхней загрязняемой части водохранилища — 29 г/м^2 , или 99% массы бентоса (в зоне прямого органического загрязнения — до 600 г/м^2), а средняя по водохранилищу биомасса их составляет $12,2 \text{ г/м}^2$, или до 80% общей биомассы (Дзюбан, 1975), т. е. превышает уровень развития олигохет в таком кормном водохранилище, как Цюльганское. С уменьшением попадания органических загрязнений при устройстве очистных сооружений биомасса олигохет снизилась до $4,2 \text{ г/м}^2$, в то время как биомасса других групп бентоса не изменялась. В последние годы доминирование олигохет ($58-63\%$ биомассы бентоса) характерно для евтрофизуемого Ивдельского водохранилища (Дзюбан, 1975). Зарастающий макрофитами Шошинский лес этого водоема имеет наименьшую долю олигохет, здесь преобладают хироноиды. В профундали водохранилища преобладают олигохеты, доля которых выше в

зависимым приплотным участкам и ниже в периферическом проточном (Подлубная, 1974).

Характерно, что в Саратовском водохранилище, имеющем высокую проточность и слабую степень аккумуляции органического вещества, олигохеты играют подчиненную роль, возрастая к плотине (Яковлева, 1975). Аналогичная картина характерна и для высокопроточного Новосибирского водохранилища (Благоузова, 1976).

Низкое содержание органики в грунтах, определяющее низкий уровень развития организмов — детритофагов, например, в водоемах водохранилищ, не сказывается на состоянии (фильтраторе) дрейссены, условия обитания которой в этих водохранилищах благоприятные, в особенности в биотопах обрабатываемых (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 (бентостый 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 водоема макрофитами, но и с показателями трофичности водоемов. Количество аллотонной органики, ко-всего, релаксирующий фактор.

Таблица 29

Зарастаемость макрофитами и биомасса бентоса в водоемах водохранилищах (по данным Экзерцева, Дробни, 1974; Константинова, 1976)

Водохранилище	Доля макрофитов в бентосе, %	Зарастаемость водоема, %	Плотность продукции макрофитов, г/м^2 с выщипом	Коррелирующая биомасса, г/м^2
Иваньковское	45	17-20	75	9
Рыбинское	25	1,3	7	2,5
Гришинское	57	1,4	6	3
Куйбышевское	60	1	—	4

Обнаружена зависимость общей биомассы бентоса от содержания органического вещества в наиболее продуктивных серых плазах водохранилищ. В евтрофном Иваньковском водохранилище процент органического вещества в сухом виде составляет $8,2$, а биомасса бентоса — около 9 г/м^2 , в мезотрофных Рыбинском и Куйбышевском эти величины составляют соответственно $3,9\%$ и

2,5 г/м² и 3,2–5,6% и 3 г/м² (Гусева, Максимов, 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 гидротехническая структура водных масс и их режим. В крупнейших африканских водохранилищах с обширной зоной бескислородного гипоксического распространения бентоса ограничено глубиной энтелихиона, т. е. относительно мелководной зоной (Мусатов, 1974). При неустойчивом водном режиме развитие бентоса может ухудшиться в результате запыления илов песком или, наоборот, промывки илов и их выноса течением в нижний бьеф вместе с донными организмами (Благовилова, 1976).

В крупных мелководных водохранилищах озерного типа (Рыбинское, Куйбышевское) неблагоприятное воздействие на развитие бентоса оказывают ветер и волны. Донные отложения часто намываются на глубинах до 10 м. Это приводит к увеличению площади дна, покрытого нестационарными фракциями, и к сокращению площадей продуктивных илов. На Рыбинском водохранилище — наиболее типичном примере катевских переработки дна — под действием волнения на обширных площадях ухудшаются условия питания ценных бентосодонных 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 урочищ и промерзание донца обуславливают невысокий уровень развития бентоса осушной зоны. Сработка урочищ и осушение мелководий и первой половины лета приводит к зарастанию этих участков калезными травами, дающими субстрат для икры рыб и терригенный биогенный материал, который обуславливает богатое развитие бентоса зоны мелководий в защищенных от действия ветров заливах. В целом бентос осушной акватории остается по составу и структуре «мелочным и несмещающимся», 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 значительная роль обрастаний в крупных африканских водохранилищах Каяба и Вольты, 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 десятков килограммов на 1 м².

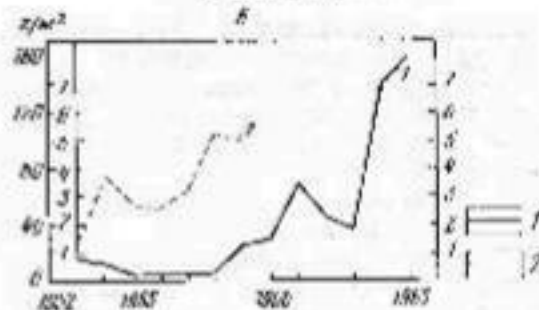
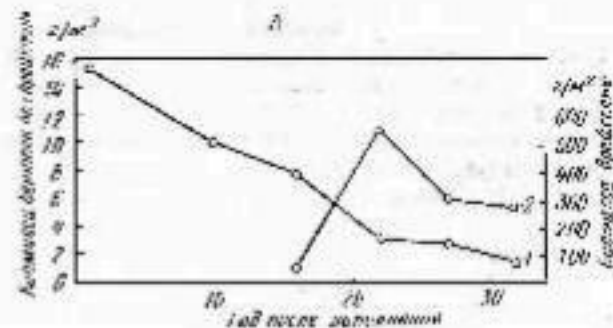


Рис. 32. Динамика среднестатистической биомассы бентоса, г/м²

А — Угличское водохранилище (по Саволовской, 1973): 1 — бентос без дрейссены, 2 — биомасса дрейссены; Б — Цивильское водохранилище (по Липинскому, 1969; Мордухай-Болтовской, 1971): 1 — общая биомасса бентоса, 2 — без дрейссены.

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 биоскопозов в первое лето при массовом заселении нового яруса — затопленного 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 ила и характера приспособленного течения 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 (вожжские, диспровские, Цимлянское, Дубоссарское), в результате чего наблюдается рост общей биомассы бентоса. В Новосибирском водохранилище произошло аналогичное расселение моллюска *Apodonta* (Благовидова, 1976). Доля дрейссены и экогенты (беззубки) может достигать 70–90% общей биомассы бентоса. В ряде водоемов на благоприятных грунтах биомасса дрейссены достигает сотен грамм на 1 м².

В Камчатском водохранилище (Ветыхина, 1977) постоянно возрастает роль акклиматизированных форм каспийской фауны: хизид, гаммарид, монодакты. Направленное заселение пищевых цепей с целью обогащения кормовой базы для рыб получило в СССР большой размах. В Цимлянском, Куйбышевском, Камчатском водохранилищах акклиматизированные мизиды и другие формы вошли в рацион промысловых рыб.

В ряде водохранилищ, не испытывавших евтрофирования, со временем наблюдается общее повышение биомассы бентоса (без моллюсков). 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 замещены видами, характерными для водоемов с меньшей трофичностью (Изюкова, 1975). Н. Ю. Соколова (1971, 1973) полагает, что водохранилища умеренного пояса проходят путь от евтрофности к мезотрофности и противоположность озерам, которые проходят через фазу олиготрофности к мезо- и евтрофности. Для водохранилища Карбы также характерны замечания от евтрофности к мезотрофности. В водохранилище Волга в первые годы бентос был не насыщен и представлял исключительно хирономиды; с истощением первоначальной величины обеспеченности биогенными элементами понизилась и биомасса бентоса: 1964—46,6 г/м², 1967—1968—5,7 г/м² (Рейт, 1972).

При евтрофировании растет биомасса детритофагов-олигохет (собирателей нафуны), несколько снижается доля хирономид, способных к фильтрации, 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 (Мирошникенко, 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 и 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 биопроодуктивности в придонной 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 производиться сработка уловов заполнения водохранилищ, менее благоприятны для воспроизводства, и численность рыб снижается. Например, в Куйбышевском водохранилище численность поколений колеблется в зависимости от условий воспроизводства, создаваемых уровнем режимной.

Величина родительского стада имеет особое значение для формирования поколения в первый год существования водохранилища при благоприятных условиях размножения, когда эти способности хорошо реализуются, то может, по некоторым данным, брать свое значение в последующий период с неблагоприятным для рыбного хозяйства уровнем режимной (Лукин, 1970; Танасичук, 1970). В ряде крупных водохранилищ СССР фаза максимума падает на годы промышленной эксплуатации 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 уловов промысловых рыб в силу ряда неблагоприятных причин в фазе стабилизации снижается.

В водохранилищах СССР промышленный улов рыб, а также биомасса промысловых пелагических сельдевых рода *Dorosetta*, составляющих основное население пелагиалы, увеличивается с возрастом этих водохранилищ (рис. 33), и величина их за-

всплыв из илосады водосбора, протяженности береговой линии, общей минерализации (Мисс-Мадс., 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

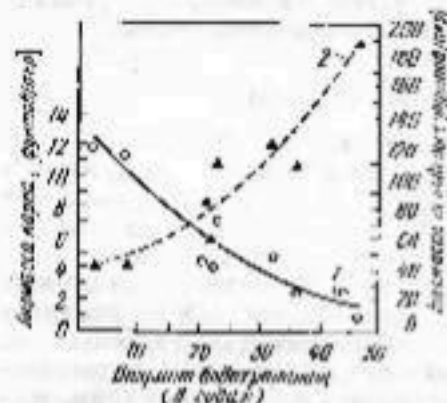


Рис. 38. Зависимость биомассы карпа и сазанца в водохранилищах Южной Карелии (Желтых, 1969)

1 — карп;
2 — сазанец

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 тилapia, которые составляют 60—80% промыслового улова в водохранилище Вольта и 50—60% в водохранилищах Насер, Аймос и др. Столь же важное значение рыбы второго трофического звена имеют в мелких пригатионных водохранилищах, озерах и прудах стран Юго-Восточной Азии, Индии, Индонезии, Шри-Ланки. К ним относятся тилapia, рыбы пядийского комплекса (пиррия, хришель, камбасу) и рыбы китайского комплекса: белый амур и толстолобик.

В большинстве водохранилищ США пелагиаль населяют преимущественно мелкими непромысловыми пелагическими сельдевыми рыбами рода *Dorosoma* (40—70% общей биомассы рыб). Взрослые — рыбы преимущественно второго трофического звена. Они питаются в основном: детритом, планктонными водорослями, медузами — зоопланктоном и макробентосом и являются посредниками, утилизирующими пелагический канал, так как служат пищей хищным рыбам. С увеличением возра-

ста водохранилищ и численности планктона растет биомасса сельдевых рыб.

В водохранилищах Африки (Карива, Вольта, Каланджи) пелагиаль заселена мелкими непромысловыми стайными сельдевыми: *Limnotilapia*, *Cynotilapia*, *Pelotilapia* — потребителями фито- и зоопланктона, а также бентоса и молодых 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 молодыми рыбами, а также взрослыми рыбами-планктофагами: синцом, уклейкой, елецком, чебаком. Использование зоопланктона таким промысловыми рыбами, как лещ и плотва, более существенно в водоемах с высокой биомассой бентоса, например в волжских водохранилищах, где он играет существенную роль в питании рыб. Массовое развитие рыб-посредников — только во многих водохранилищах Днепра и Волги сделало ее важным потребителем зоопланктона. Сырьевая база только довольно устойчива, поскольку ее воспроизводство не зависит от уровня режима. Однако в большинстве случаев численность судака, главного потребителя только, невысока, и только остается в основном «слепым звеном» в формировании хозяйственно-ценной продукции. Усиление «плотного канала» формирования рыбопродукции за счет короткоциклового пелагического рыб и пелагических хищников могло бы быть эффективным путем освоения биопродукции водохранилищ.

Преобладание рыб-бентофагов, таких, как плотва, лещ, густера, обуславливает формирование рыбопродукции преимущественно за счет бентоса. Так, например, формируется 70—90% рыбопродукции в Волгоградском водохранилище. Крупный процент — также преимущественно бентофаги — составляет сырьевая промышленной 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.

Однокотлы играют меньшую роль в формировании рыбопродукции, хотя в волжских водохранилищах их роль неизмеримо выше, чем в прочих¹. Поэтому нам представляется, что расту-

¹ В последние годы в Волгоградском и Саратовском водохранилищах резко возросла численность однокотлов.

щего актрофирования водохранилищ и повышение биомасс бентоса большей частью за счет олигохет относительно меньше повышает кормовые возможности донных рыб, чем этого можно было бы ожидать. Особенно незначительна кормовая роль олигохет в зонах их максимальной численности, где дефицитное содержание кислорода и прочие условия среды недостаточно благоприятны для пагула рыб.

Плохи утилизируются ценными рыбами организмы, населяющие бентосоземные прибрежные зарослей, продукция которых также растет с актрофированием водоема. В Иваньковском водохранилище (Дюбляк, 1975) при биомассе бентоса в зарослях 19—27 г/м² (ка 50—95% состоящего из хирономид) в силу недостаточности этой фитофильной фауны лещ старше двух лет вынужден переходить на питание зоопланктоном и детритом. Рыбам малодоступен и микробентос, который используется через промежуточных питателей эвенто, в первую очередь через личинок хищных форм хирономид.

Численность ценных хищных рыб (щука, судак) и 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 (родом латес, элестес, гидроцион и др. составляют до 15—20% улова. Велика численность хищников (форель, кумжа, окунь белый, черный ушастый, 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, обеспечивающее эффективное использование кормовой базы. Рост леща при этом ухудшился. С выбыванием по возрасту этого многочисленного поколения из промысловой эксплуатации запасы леща в водохранилище соответственно уменьшились, но обеспеченность рыб кормом улучшилась, что отразилось на повышении темпа роста леща.

Условия пагула рыб в водохранилищах в отличие от условий их воспроизводства остаются относительно благоприятными, что отражается на ускорении темпа роста рыб, их большей утилизации.

Приблизительно к мезотрофным водоемам водохранилищам существуют две различные точки зрения на степень использования кормовой базы для рыб. По одним представлениям в этих водохранилищах имеется недовоспользование кормовой базы

Таблица 30

Промысловый улов, остаточная биомасса кормового бентоса, соотношение F/B как показатель использования кормовой базы в ряде водохранилищ

Водохранилище	Улов F , т/м ²	Биомасса		Промысловый улов F , т/м ²	В % от общей массы бентоса в том же слое	Остаточная биомасса B , т/м ²	Соотношение F/B
		В т/м ²	F/B				
Иваньковское	4,2	9	4:7,5	4,5	3	2,4	4:3,5
Угличское	0,7	9	1:1,5	4,5	6	1,4	1:6
Рыбинское	0,5	2,5	1:5	1,25	2	1,0	1:20
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	6	500—1000	1:100—200	250—500	50—100	10	1:50—100

* По данным А. С. Казанковича и др. (1970); Н. И. Лазарева (1970).

** Рыбоуловы в соотношении $F/B=1:2$, остаточная биомасса бентоса в среднем составляет 10% от общей массы бентоса.

*** Промысловый улов любительского вылова рыб в промысловом.

Г — улов, Н — бентос, В — водоем.

из-за недостатка рыб (Полдубный, Ильина, 1965), а по другим — кормовая база используется очень интенсивно и недостаток корма вызывает замедление роста рыб¹.

Оценивая степень использования кормовой базы бентосоядными рыбами по такому весьма несовершенному показателю, как коэффициент Аггуса F/B (отношение промыслового улова к остаточной биомассе бентоса), на первом изгибе можно было бы сделать вывод о сильном недовоспользовании донных кормов (табл. 30). Однако с учетом любительского вылова на водохранилищах, сниженного 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 «кормовым» по сравнению с большинством) бентос в значительной степени «недовоспользуется». Поэтому предлагается рассмотреть в него рыб-моллюсков. В Цимлянском водохранилище даже с учетом

¹ Однако в том и другом случае необходимо дальнейшее повышение невоспользованных кормовых баз водохранилищ.

производного к 1972—1974 гг. снижения продукции бентоса в 5—10 раз и при возрастании роли олигохет, полихет и хирономид убедается лишь 1/4—1/5 часть общей продукции бентоса; олигохеты и полихеты потребляются на 1—5%, хирономиды — на 50%, мшленики — 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 уровнем режима в условиях комплексного водопользования и использования водохранилищ. В крупных водохранилищах СССР численность рыб формируется за счет естественного воспроизводства; эффективность создания 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 пусковых вод для нужд сельского и рыбного хозяйства в поймах и дельтах рек.

В случаях, когда сработка уровня водохранилища исключает возможность развития вышней растительности, пригодной для нереста фитофильных рыб, запасы рыб снижаются. Наблюдения на Куйбышевском водохранилище показали, что наибольший эффект в воспроизводстве дают малководные 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 приходится на годы повышенной водности Волги, т. е. на 1963, 1966, 1970 гг. По данным Махотина (1977), уловы рыбы 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.

Урожайный режим в водохранилищах комплексного назначения в период нереста часто полностью лишает природной системности процессов и природной частоты появления урожайных и неурожайных лет, в результате которых многоводные годы приводят к появлению в водоеме высокоурожайных поколений рыб. В природе урожайные поколения рыб должны появляться с меньшей частотой, чем длительность промысловой жизни поколения, но не реже, чем через 3—4 года. Если они появляются реже, то численность стада переходит уже на более низкий уровень. Это наблюдается в сформировавшихся водных водохранилищах, в которых численность популяций рыб каменисто-

ниже, чем в озерах соответствующей трофности, расположенных на той же широте. Эта разница усиливается 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 уровня 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 уровня 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 Паракониско 1972; Мухомов, 1974; Гук, 1975; Константинов и др., 1976; Кудренко, 1977; Jenkins, 1969)

Водохранилище	Средняя плотность, экз./га	Первичная продукция, т/га в год	Всплывающая биомасса, г/м³	Бентосная биомасса, г/м²	Приростковая рыбопродукция (улов), г/м²
Ильинское	7	0,7	2,3	9	1,2
Угличское	4	0,5	—	—	0,7
Рыбинское	8	0,8	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	1,8	0,45	1	2	0,25
Волгоградское	1,1	0,5	2,5	2,5	0,73
Днепропетровское	2,9	Нет данных	2,4—7,6	7,2	2,5—8
Днепродонецкое	5,0	»	4,7	16	2,5—3
Кременчугское	7,8	»	1,4—7,7	50	2,5—3
Киевское	21	»	2—8,0	1—15	3,5—4
Цимлянское	Нет данных	»	Нет данных	7	3,5—4
Новосибирское	»	»	»	1	0,4
Братское	»	»	»	Нет данных	0,68
Кариби (Замбия)	»	»	»	»	3 (60—90) *
Водохранилища США	»	»	»	»	1,1

* В круге — все площади, в скобках — в пределах мелководий.

форсирование улова на 20—30 см для обеспечения условий перераста в многолетние годы и некоторое летне-осеннее понижение уровня воды для развития луговой растительности.

Промысловая рыбопродукция и общая рыбопродукция ихтиоцены. Промысловые уловы в водохранилищах мира в основном за счет растительноядных рыб различаются на 2 порядка — от 1 кг/га в холодноводном Брауском до многих десятков и более соти килограмм на 1 га в небольших водохранилищах Индии, юго-восточной Азии. За счет растительноядных рыб формируется основная рыбопродукция крупных африканских водохранилищ. В водохранилище Карфила промышленный улов и пересчете на площадь мелководий составляет 60—90 кг/га. Для водохранилища СМД промышленный 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 Цимлянском и дисперсных водохранилищах (25—45 кг/га). Еще более высок улов в небольших лужных водохранилищах — Хауданском (Туркменская ССР) — 60 кг/га, Шенджийском (Краснодарский край) — 52—309 кг/га, где преобладают растительноядные рыбы (75—80%).

Отношение промыслового улова к общей продукции ихтиоцены, величина которой может быть рассчитана весьма приблизительно, меняется в зависимости от интенсивности промысла. По имеющимся оценкам рыбопродукции (Сорокин, 1972; Небольсин, 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 спранных рыб, облов полигазип и т. д.).

В свою очередь, в конечной продукции естественных водных экосистем водохранилищ обычно утилизируются десятки 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. Вытескавание в первую очередь относится к водохранилищам, находящимся под мощным антропогенным воздействием.

ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ПОНЯТИЯ

Обеспечение чистоты воды водохранилищ — одна из urgent 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 водопользователей, не заинтересованных в определенном качестве воды. Кроме того, существование самого 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 из водосбора, 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 нужд¹ нормативы, лимитирующие состав воды, определяют ее высокие органолептические свойства, эпидемиологическую 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 явостей; 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 определяются требования этого вида водопользования.

хозяйственные потребности, однако степень ее минерализации играет здесь немалую роль для сохранения плодородия почвы. 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 в исследуемой водоем, в том числе от стока основной реки и боковых притоков, состояния заливого ложа (в первые годы формирования водохранилища), промышленных и бытовых стоков, стоков с полей минеральных удобрений и агрохимикатов, рекреации, растворения продуктов эрозии берегов и дождевых отложений, атмосферных осадков. Отметим, что роль осадков, выпадающих непосредственно на зеркало водохранилища, 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 водохранилища.

Для вновь созданных водохранилищ характерны два периода формирования качества воды: период наименьшей стабильности состава воды в первые годы их существования, что связано с изменением почв ложа, и период относительной стабильности состава воды, если антропогенный процесс на водохранилище не пре-

терпевает 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 способность расширения кислорода в различных слоях и самоочищения воды. В последние десятилетия все более существенным становится влияние антропогенных факторов на качество воды водохранилищ. Сбросы неочищенных или малочищенных промышленных и коммунальных стоков, повсеместный сток с сельскохозяйственных угодий и животноводческих ферм и комплексов усиливают процессы самоочищения, приводят к эвтрофикации 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, связанные с процессами их десорбции с донных отложений и за счет деструкции организмов, аккумулирующих загрязнения. Антропогенное загрязнение водохранилищ стало острой проблемой, требующей значительного усиления водоохраных 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) преобладают интенсивный вынос растворимых солей. Наибольшее растворимое вещество — хлористый натрий, гипс — здесь в основном вымываются, а в тропической и тундровой зонах выносятся и углекислый кальций. Речные, озерные, почвенные и грунтовые воды оказываются в связи с этим слабоминерализованными. Речные воды тропической зоны в основном имеют

минерализация 30—60 мг/л, зоны тундр — 25—80, а в лесной зоне — 100—200 мг/л, в последней преобладают кальций и гидрокарбонаты (Максимович, 1955).

В недостаточном увлажненных зонах (лессовых, степь и полупустыня) выпад осадков незначителен, но минерализация вод здесь выше. Выпесчанивается 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 луча, преобладают не только 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. Алексеева (1955). Следует, однако, отметить, что она далеко не единственная. Всплывают таксономические единицы делятся 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 применяется проточная и инертная зональность, причем Г. А. Максимович (1955) выделяет для почвенных растворов делить проточных фаций.

Минерализация первых вод меняется в миллионы раз — от $6 \cdot 10^{-4}$ до 37,13%. В проточных и малопроточных озерах из раствора могут выпасть и накапливаться наименее растворимые вещества, жизнедеятельность организмов вызывает выпадение веществ в органической 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 глубинных 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 реки тропиков (субтропиков), богатых органическим веществом (тропические реки Южной Америки, Африки, Индии, Индокитая, Флориды и Северной Америки) характерны выпадение большого количества осадков и малая водопроницаемость почв. Отмечается малая минерализация воды с преобладающим слаборастворенного кремнезема или гидрокарбонатов, богатым органическим веществом и железом. Последние обуславливают бурую и даже черную окраску речной воды.

Для горных рек замечаются три вертикальные зоны гидрохимических фаций: 1) зона преобладания кремнеземных и гидрокарбонатно-кремнеземных гидрохимических фаций — зона альпийских лугов; 2) зона преобладания гидрокарбонатно-сульфатных и гидрокарбонатно-сульфатных гидрохимических фаций — зона горных склонов; 3) зона преобладания сульфатных гидрохимических фаций — зона предгорных степей.

Следует отметить, что, кроме вертикальной зональности, важный фактор, обуславливающий пожелтение гидрокарбонатной гидрохимической фации, это антропогенная. Реки, протекающие среди мощной толщ известняков, также относятся к гидрокарбонатным гидрохимическим фациям. Появление сульфатных гидрохимических фаций связано с гидрогеологическими особенностями, например впадением в реку серпентинных 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 влияет на состав и концентрацию ионов в составе воды и концентрации солей, однако при этом сохраняются особенности состава воды того водотока, из которого создано водохранилище. Так, например, для водохранилищ верхней Волги показательно сравнительно небольшое содержание солей в воде и наличие гуминовых веществ, свойственных зарегулированной Волге; для Камских — высокая минерализация и разнообразный состав солей по отдельным участкам как результат воздействия многочисленных впадающих в Каму притоков; для водохранилищ на Амур — 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 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 водоемности.

При малых значениях этой величины (меньше 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 водобоемла выражена в таежно-лесной, меньшей — в лесостепной и степной, наименьшая — в полупустынной и пустынной зонах. С увеличением водобоемла различия в содержании органических веществ в воде водохранилищ и рек снижаются примерно в такой же степени во всех природных условиях.

В первые годы существования водохранилища существенное значение в формировании качества стока 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 источников, захоронений и других потенциальных источников загрязнения во многом зависит влияние ложа на качество воды в водохранилище. В первые годы сохраняется влияние и затопленная древесная растительность. Отмечено отрицательное влияние торфов на качество воды. В начале существования водохранилищ характерно повышение значений таких показателей качества воды, как БПК, окисляемость, щелочность и снижение уровня содержания растворенного кислорода. Это влияние больших затопляемых территорий древесно и постепенно терит значення.

Процессы формирования качества воды во вновь созданных водохранилищах 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 гидрохимические, гидрохимические и другие факторы, активно протекают геоморфологические и иные процессы, формируются водные массы нового качества; оказываются в контакте озерные и речные биоценозы, происходят вымывание значительных количеств аллювиального 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 аллювиальные органические вещества.

Исследования, проведенные на крупнейших 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 извешенных частиц, формирующих дноище отложения.

На формирующийся и сформированный 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 Рэндол	1951	1951	1955	1956	1957
Жесткость					
Выше среднего	271	257	246	242	245
Ниже	250	240	230	234	235

Однако в первые годы существования водохранилища возможно и нарастание уровня минерализации воды. Имеются данные о начальном периоде формирования качества воды водохранилища Блэкстрей (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 почв 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 перекрывание 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 фонный.

САМООЧИЩЕНИЕ ВОДЫ

Важнейший внутриводоемный процесс формирования качества воды в водохранилищах — ее самоочищение. Под «самоочищением» природных вод принято понимать совокупность физикохимических, гидрофизических, гидрокимических и биохимических процессов в воде, направленных на восстановление свойств и качества, 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 низких 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 обуславливает устойчивость седиментационных процессов и улучшение по мере пролонгации воды во водохранилище таких показателей ее качества, как прозрачность, цветность, минерализация, бактериальная загрязненность (табл. 33).

Таблица 33
Улучшение качества воды в водохранилищах
(по Грининг и Кубальчик, 1973)

Уменьш. загрязненности	Куйбышевское		Каховское			Центральное	
	Прозрачность, см	Количество взвешенных веществ в 1 м ³	Количество взвешенных веществ в 1 м ³	Количество взвешенных веществ в 1 м ³	Количество взвешенных веществ в 1 м ³	Прозрачность, см	Количество взвешенных веществ в 1 м ³
Период	70—90	1800—1723	16180—53200	4000	10000	10—18	16200—25000
Центральное	150	700—1635	100—300	300	750	23—28	8000—12000
Припосыпное	150	29	10	500	10—100	25—36	6000—8000

* Куйбышевское — количество бактерий, группа кишечной палочки в 1 л воды.

На ряде водохранилищ (Клязьминское, Учинское и др.) качество воды в припосыпной части водоемов приближается к качеству воды, очищенной на водопроводных сооружениях, и иногда даже не требует специальной очистки от извесей. Осветленные воды в водохранилищах значительно облегчают и удешевляют 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
Куйбышевское (по средним данным, Дринес, 1961)

Водоем	Средняя глубина, м	Число бактерий в 1 л воды
Пруды	До 1	10 ⁸ —10 ⁶
Водохранилища:		
Шахское	75	100—5000
Клязьминское	88,5	100—10000
Ильинское	1420	100—1000
Рыбинское	25430	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 рекой. Эта величина зависит от объема водохранилища и в известной мере может быть характеризована таким показателем, как соотношение объема водохранилища и притока (C/I). С увеличением этого соотношения растет и процент задерживаемых водохранилищем наносов.

Расчет показателя C/I для волжских и днепровских водохранилищ показывает, что его величины могут находиться в пределах 0,05—0,15 (Саратовское, Иваськовское, Учинское, 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 и специальных отстойных водохранилищах детально изучались А. В. Францезым в Учинской лаборатории Московского водопровода и четко сформулированы в работе, посвященной очистному эффекту Учинского водохранилища и путям его повышения (Францез, 1961).

Отстой воды способствует также дисперсионному уменьшению запахов, вызванных процессами скисения и распада органических веществ. Например, в Клязьминском водохранилище запахи уменьшаются в 2—3 раза по сравнению с водой р. Клязьмы; в

Узинском, получающем отстаивающуюся в Пестовском водохранилище воду, — на 9—19%; значительно уменьшается сильный «землистый» запах воды после отстоя в Фархадском водохранилище. С процессами отстаивания воды в водохранилищах связаны и некоторые снижения 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 Фархадские водохранилища уменьшилось приблизительно в 10 раз в мае и в 20—40 раз в июле. В некоторых водохранилищах (на загрязненных стоками водах) санитарно-бактериологические показатели качества воды в зимнее время приближаются к нормативным для питьевой воды.

Р а з л о ж е н и е. Объем водохранилищ, его форма, рельеф, глубины, площадь и расположение впадающих притоков также имеют значительный отпечаток на ход и характер процессов разложения и самоочищения в водохранилищах.

Образование застойных масс воды на отдельных участках водохранилищ приводит к дефициту кислорода на глубинах свыше 3—5 м и, следовательно, к анаэробизации и придонных слоев (Топалевский и др., 1974). Ряд исследователей справедливо считают, что водохранилища обладают ограниченными возможностями самоочищения, а в результате спуска в них стоющих вод и накопления токсических веществ затрудняется использование воды для водоснабжения и орошения (Жалил, 1967; Мельников, 1973а, б; Фелип, 1973).

Отрицательные последствия загромождения стока связаны с замедлением скорости 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 стоющих вод от места их впадения и их разбавление замедляются вследствие уменьшения течения, причем стоки иногда поднимаются ветром вверх по течению и могут разбрызгиваться до середины водохранилища или до противоположного берега, как это наблюдается в нижнем участке Казанского водохранилища (Костомаров, Рахов, 1975). Может даже возникнуть необходимость переноса водозаборов, которые в естественных условиях располагались выше по течению места впадения стоющих вод, чтобы избежать опасности загрязнения.

Разложение органических веществ. Этот процесс в основном биохимического характера и связан с жизнедеятельностью сапрофитной микрофлоры, главным образом гетеротрофов. Покрытие энергетических затрат и синтез новых углеродистых соединений для построения клеточных структур осуществляются группой микробиоты за счет углерода готовых ор-

ганических 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 загрязняющие вещества 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, достаточная температура и достаточное количество растворенного кислорода (что обеспечивает приобретение окислительных процессов и ускоряет минерализацию органического вещества).

Кислородный режим, определяющий уровень окислительно-восстановительных процессов в водоеме, и его самоочищающая способность в значительной степени зависят от структуры водных масс, определяемых особенностями пригонности, климатическими факторами, глубиной и режимами водоема, рельефом, степенью проточности.

Условия самоочищения в реках и водохранилищах сильно различаются. Если по ряду показателей (цветность, мутность) условия самоочищения водохранилищ имеют ряд преимуществ по сравнению с реками, то по степени насыщения воды кислородом и по показателям ХПК и БПК самоочищающиеся 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 :

$$K = 1/t \lg x_t / (x_0 - x_t),$$

где x_t и x_0 — потребление кислорода за время t и $2t$.

В последние время предложено использовать и качество индекса самоочищения водоема показатель Φ/D (соотношение первичной продукции фотосинтеза Φ и деструкции D). При величине Φ/D больше единицы качество воды предлагается оценивать как хорошее, ниже единицы — как показатель ухудшения качества воды (Жульинский и др., 1976). Следует, однако, иметь в виду, что соотношение Φ/D в большой мере зависит от степени трофики водоема и доли приносимого извне аллотрофного органического вещества.

Показателями самоочищающей способности признаны также отношение числа сапрофитных бактерий к общей численности

бактерий, ферментные тесты, оценивающие протеолитическую, каталазную и дегидрогеназную активность воды, а также процент легкорастворимого органического вещества, минерализуемого за сутки.

Однако для водохранилищ и их участков, испытывающих значительную нагрузку загрязненными минеральными веществами и особенно биогенными элементами, растворимыми органическими веществами и токсичными соединениями, большинство исследований отмечает ограничение возможности самоочищения, причем водохранилища с большими трудностями перерабатывают эти загрязнения, несли реки, где, как правило, условия насыщения кислородом более благоприятны.

Для водохранилищ процесс эвтрофирования, т. е. повышения уровня трофии, новообразованного 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 галечным дном и с воздухом. Все это способствует, с одной стороны, проявлению адсорбционной способности дна 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 протекающего в них круговорота веществ и энергии (Буторин, Фортунатов, 1976). Так, в расширенной части полесских 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 водной воды в плесных участках водохранилищ замедлено в 2—3 раза. Так, на большинстве незарегулированных участков р. Полтава за сутки минерализуется 20—30% деструктурируемых веществ, а в районах замедленного стока — 5—10% в сутки (Кяховские водохранилища, 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 отсутствуют резкие сезонные температурные различия, сказывающиеся на стратификации и перемешивании, которое бывает выражено слабее.

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 разности температур может приводить к расслоению водных масс на эпимикцион, метамикцион (термокликс), гиполимнион. Важно подчеркнуть, что первый из них трофогенный, а нижний — трофоптический, в котором происходят процессы деструкции органического вещества. Соотношение мощностей этих слоев существенно влияет на процессы самоочищения водоемов.

Для оценки интенсивности биологических процессов в водоемах могут быть использованы такие показатели, как соотношение объемов эв- и гипolimниона, соотношение количества кислорода в эв- и гиполимнионе, дефицит кислорода, обусловленный площадью гиполимниона, процент площади дна, занятого гиполимнионами. Отметим, что под воздействием донного и озерного перемешивания вертикальный и горизонтальный зональности исчезают; то же наблюдается в ряде водоемов летом при сильном ветровом перемешивании. Чем больше процент объема водоема занимает эпимикцион, тем его продуктивность в целом выше. Степень водообмена эв- и гиполимниона и устойчивость вертикального расслоения водоема в большей мере зависят от степени термодиссипации между слоями. Низкий градиент температур говорит о слабой устойчивости расслоения и высокой интенсивности обмена между слоями. Водоемы высокой термальной стабильности отличаются меньшей по глубине гиполимнионом, большим термоградиентом в слое скачка. Так, в табл. 35 приведены данные о северо-американских водохранилищах; судя по этим данным (из отношения глубины термокликса к средней и максимальной глубинам), водохранилища Минд, Булл-Шелс, Ф. Рузвельта характеризуются большей термальной устойчивостью, чем, например, Оахе и Норрис. В ряде случаев, как, например, в водохранилище Мадлен-Лейк (зона Панамского канала), высокостабильный вермикликс играет роль «второго дна». Градиент плотности воды замедляет погружение донного вещества в гиполимнион и поддерживает высокую продукцию эпимикциона.

По гидрологической структуре, типу стратификации водных масс и положению слоя скачка В. И. Абросян (1971) предложена следующая классификация озер СССР.

1. Тепловодные, однородные, перемешиваемые и прогреваемые до дна. Гиполимниона нет (Пальмьн, Неро).

2. Тепловодные, разнородные со слоем скачка только в отдельных участках с наибольшей глубиной. Эпимикцион занимает большую часть профундали (песра Псковско-Чудское, Себенж),

Таблица 35
Некоторые показатели глубин ряда крупных водохранилищ США
(Jenkins, 1969)

Водохранилище	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м	Глубина термоядра, м	Отношение глубины термоядра к средней глубине
Мид	160	60	24	0,33
Салем	90	18	21	1,18
Пауэрил	51	17	*	—
Будд-Шамс	60	20	9	0,45
Ф. Рузвельта	60	24	9	0,43
Тексас	35	9	*	—
Кентукки	18	5	*	—
Тейси Рок	68	18	9	0,47
Норрис	80	18	25	1,4
Уитни	13	7,5	*	—

* Стабильный термоядро не образуются

3. Умеренно холодноводные — зона температурного скачка ниже средней глубины. Большую часть профундали занимают мета- и гипсомитон (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 разной глубиной, большинство крупных равнинных водохранилищ бассейна Волги, Днепра по этой классификации могут быть отнесены к категории «тепловодных разнородных», в которых большую часть профундали занимает эпиплимнион (табл. 36).

Процент глубин от 0 до 5 м в волжских водохранилищах примерно одинаков, за исключением наиболее мелководного Ивановского. 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-июле и постепенно ослабевает, исчезая со второй половины августа на песчанно-зимний период. Сходная картина отмечена и для Горьковского водохранилища (Эдельштейн, 1968).

Легко вследствие неуровного перемешивания стратификация в волжских водохранилищах наблюдается редко. Зимой и весной

Таблица 36
Максимальная и средняя глубины и процент площади в пределах глубин до 5 м в некоторых равнинных водохранилищах европейской части СССР

Водохранилище	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м	Процент площади с глубиной, 0—5 м
Ивановское	19	3,7	78
Рыбинское	30	5,0	48
Горьковское	17	5,5	45
Кузнецкое	51	8,2	36
Саратовское	30	6,9	47
Волгоградское	44	10,1	37
Камское	24	6,2	50
Воткинское	15	9	35
Днепропетровский	17	4,3	60
Днепровское	44	8	64
Каховское	38	8,4	22
Павловское	30	8,8	30

со срабаткой 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 термоядро 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 гипсомитон занимает большую часть профундали, причем идущие и гипсомитонные процессы сказывают 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 распределение толщи вод в мае выражается в изменении с глубиной O_2 , Fe^{+1} , pH; в июне — Ca , NO_3^- , PO_4^{3-} ; в июле — t , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Fe^{2+} , CO_2 , pH; в сентябре — t , NO_3^- , PO_4^{3-} . При этом наиболее характерны низкие температуры.

Снижение содержания кислорода наблюдается и в глубоких водохранилищах США. Этот процесс, связанный со стратификацией, рассматривается в США как форма загрязнения водохранилищ, снижающая их самоочистительную способность по сравнению с рекой. Для оценки этой формы загрязнения применяется

так называемый популяционный эквивалент (Kutskel et al., 1965), т. е. величина дефицита кислорода приравнивается к такому, возникающему в результате загрязнения от сброса в водоем бытовых сточных вод города с населением соответствующей численности. Так, в водохранилище Катамба (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 гипolimнитоне сероводорода, металлов, 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 destratification осер и водохранилищ с помощью скаковых водовозов (Топачевский и др., 1975) либо взрывом гидролимина без destratification водоема (Spence, 1971).

АНТРОПОГЕННЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

К антропогенным 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, нефтехимию, пластмассы и др., сточные воды которых содержат труднорастворимые вещества, не устранимые даже на современных сооружениях биологической очистки.

Антропогенное загрязнение водохранилищ усугубляется специфичной гидрохимическими условиями, способствующими накоплению отложений вредных компонентов сточных вод с большим удельным весом (целлюлозно-бумажные, гидролизные и другие производства). При этом весьма неблагоприятный фактор — вторичное загрязнение водоема этими веществами.

Из качества 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., в связи с чем для повышения процесса самоочищения водоема важно рассмотрение его вместе с водосбором.

Отношение водосборной площади к объему водоема I , в известной мере показатель, отражающий вклад водосбора в баланс приносимого и создаваемого в водоеме органического вещества,

а также процессы продукции и деструкции. Этот коэффициенту газван Шиндлером (Schindler, 1971) индексом трофии. Расчет этого коэффициента I для ряда водохранилищ СССР показывает, что здесь возможны широкие колебания величины. Так, для водохранилищ Волжско-Камского каскада I достигает 100 (Саратовское), находится в основных пределах 25—50 (Угличское, Рузское, Волгоградское, Ивельковское, Куйбышевское, Горьковское). Величины I для водохранилищ Днепровского каскада несколько ниже, а именно: для Днепродзержинского водохранилища — 180, Днепровского — 140, Киевского — 64, Кременчугского и Каховского — 27—28.

Обнаруженное снижение выноса минерального фосфора и извешенного 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, явившегося накопителем фосфатов, можно привести водохранилище Толькин по Флориде. В речных условиях месячное потребление фосфатов составляло 62 т, со стоком выносилось 106 т. После зарегулирования реки в условиях водохранилища соответствующее потребление фосфатов составило 76 т, при стоке — 24 т в месяц.

Особенности гидрохимических и биологических процессов в водохранилищах определяют перераспределение в них биогенных элементов. Показано, в частности, что в прибрежных зонах полкостях и днепровских водохранилищах 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 состоит в этих процессах оказывается решающей: они потребляют соединения фосфора и поглощают их из водной среды, а при гибели в последующем разложении выделяют обратно. Поэтому считается, что удаление высшей водной растительности и состоит — важное средство устранения избытка биогенов.

«Цветение» воды. Избыточное поступление с площади водосбора в водохранилище биогенных элементов, в первую очередь азота и фосфора, при определенном сочетании гидрохимических 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 соучаствовали чисто природные факторы.

Однако в настоящее время эти процессы и значительной мере вызваны именно антропогенным вмешательством в состояние интраводоемных 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 углекислого 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, карбоновые соединения, андотоксины и другие биологически активные вещества. При гибели и распаде водорослей выделяются фенолы, меркаптаны, альфа-кетокислоты, присутствие которых делает воду не пригодной для питьевых целей, а также для существования макробиотов.

«Цветение» воды водохранилищ и других водных объектов в настоящее время, как уже указывалось, является формой эвтрофикации, когда точно и точно сбалансированные природные механизмы оказываются нарушенными, в частности когда водоемы уже не могут справиться с процессом загрузки биогенных элементов, аэромикробов 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, Вермисе, Мичиган, Гурон), озера Канады, Швеции, Швейцарии (например, Цюрихское, Женевское), Венгрии (Балатон), Балтийское, Азовское и Черное моря. Однако «цветение» воды в водохранилищах, создаваемых для многотраслевого использования и особенно для питьевого и технического водоснабжения, часто особенно опасно 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 тем-

пературами 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 (Толачевский 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 повышение ее прогресса. Указанные условия взаимосвязаны. 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) посевы 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 ввести фосфор в нерастворимую форму. Фосфор поглощается взвесью или частицами глины. Например, эвтрофикацию в озере Монд (Австрия), происходившую 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 гнить. 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 удобрений. Реализация этого предложения будет способствовать уменьшению затрат на борьбу с «цветением». Использование же биомассы сестона в качестве подкормки сель-

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 исеменение Piscivorous рыб.

Донные отложения. Одна из характерных черт формирования химического состава водохранилищ заключается в весьма сложном взаимодействии между водной массой и донными отложениями; последние выступают в роли аккумуляторов минеральных элементов, в частности азота и фосфора, в тандем 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 (Укубова, 1967). В озерно-водохранилище Окичиби (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 биологическая способность грунтов проявляться 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 — Киселевое и Кременчугское. Так, в 1970 г. в каскад днепровских водохранилищ с промышленными и бытовыми стоками шло 36 400 т азота и 3600 т фосфора (что примерно равно их поступлению с естественным стоком) поступило 3—6 т хрома и по 1 т цинка и меди (Денисов и др., 1976). А. Н. Денисов, Е. П. Нахашин, А. К. Паламарчук считают, что благодаря большой поглощательной 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, Hg^{2+} , Li^{+} , Bi^{3+} , W^{6+} , Mo^{6+} , Hg^{2+} , Sc^{3+} , Sr^{2+} , Sb^{3+} , Te^{2+} , Fe^{3+} , Ti^{4+} , Cl^{+} , 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 (Шахматова, 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 небольших количествах в придонных слоях. Перераспределение Mn в толще воды связывается с усилением циркуляции водных масс в период вскрытия и разрушения ледового покрова. Параллельно уровня содержания кислорода в осенний 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 высококонцентрированные, богатые органическим веществом грунты (черные и пещинистые илы) при определенных условиях служат источником вторичных загрязнений воды марганцем. Там, где процессы вымывания железа выражены, а почвы имеют предельно бедный состав грунтов, наблюдается вынос Mn из водной толщи в грунты. В ряде исследований связывается увеличение концентрации Mn в воде водоема с размножением фитопланктона (Шахматова, 1977). Учет последнего в круговороте марганца подтверждает и резкое снижение его растворимых форм в период наиболее интенсивного развития фитопланктона.

На характер направленности процессов адсорбции — десорбции влияют естественная концентрация ипродукта в водной среде, окислительно-восстановительные условия, pH и другие. Процессом сорбции способствует стратификация. Процессы десорбции приводят подчас к самозагрязнению, причем биогенные элементы по количеству их поступления на донных осадках 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), влияя на развитие погружающей и донной растительности.

Известно, что эвтрофикация за счет внутриводоемных процессов на мелководьях проявляется сильнее. Влияние мелководных участков на гидрохимический режим водохранилищ в наибольшей степени проявляется в период срабатов уровня в связи с оттоком воды из мелководий, обогащенных биогенными элементами придонных слоев воды.

Например, система мелководий Клевского водохранилища, включающая погружающую растительность, дрифты, иктовые подоросли 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 на водоеме выводится избыточные биогенные элементы, сама же биомасса может служить кормовым сырьем.

Уместно отметить, что мелководья крутых водохранилищ, в особенности которых относится более низкая проточность, обмывание 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 gradient сбрасываемых вод по отношению к лабиринтам достигает 10° С. Сброс подогретых вод оказывает прямое и косвенное влияние на качество воды. С одной стороны, подогрев способствует развитию процесса самоочищения и увеличению на треть первичной продукции, с другой стороны, сброс воды усиливает вторичное загрязнение, связанное с образованием органическими веществами микроорганизмов, фитопланктона и высшей водной растительности (Индтайко и др., 1970). Следует иметь в виду и многократное повышение токсичности вредных веществ в подогретой воде.

Влияние сброса подогретых вод на биогенные показатели на примере исследований, проведенных на Иланковском водохранилище. В зоне сильного подгрева воды Кошаровской ГРЭС превышенные температуры над средней многолетней с декабря по март достигают 10°, а с апреля по июль — 4°. При этом зафиксировано обеднение видового состава гидробионтов, исчезновение холодолюбивых видов бескостных и рыб, снижение биомассы зоопланктона и угнетение развития дождевых 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 сетчатков 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 биогенов водоема в целом и существенно снизить его способность к самоочищению. Необходимо иметь в виду и сопутствующие повышению температуры воды в водоеме проявления дефицита растворенного кислорода со всеми негативными последствиями этого явления — кислородные запалы и др. (Траутман, Кибальнич, 1975).

Сброс подогретых вод в зарегулированные водоемы способствует «цветению» воды. В последнее время получены сведения о проявлении весьма негативного отношения населения к илтировой воде, имеющей повышенную температуру за счет «утепления» зоны водосбора и водохранилища без каких-либо изменений физических и химических показателей доброкачественности (Шильберт, Кибальнич, 1971).

Рекреационное использование водохранилищ и качество воды. К факторам, способным влиять на качество воды в водохранилищах, относятся их рекреационное использование. Степень этого влияния зависит от характера и уровня рекреационных нагрузок. Ведущим здесь является бактериальное загрязнение, вызываемое загрязнениями береговой полосы и зоны купания, а также загрязнения нефтепродуктами и выбросами лодочных двигателей. Опасность распространения с водой инфекционных заболеваний заставляет предпринять достаточные жесткие меры, ограничивающие рекреацию на водохранилищах, особенно имеющих хозяйственно-питьевое назначение.

В настоящее время вопрос о связи некоторых характеристик загрязнения (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), Кохинсеттинг и Уэст-Бренд (штат Коннектикут), Гейтс (штат Индиана), позволили сделать вывод о наличии определенной связи наблюдавшихся ухудшений бактериальных показателей качества воды с характером и уровнем рекреационных нагрузок (Catswell 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-

янных 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 водозборов централизованных хозяйственно-питьевых водопроводов — очевидно, недопустим 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 работе водохранилища увеличивается.

В еще большей степени качество воды зависит от гидрологического режима и нижнего бьефа. Здесь прослеживается прямая зависимость качества воды от величины и периодичности пусков, что также связано с изменением условий разбавления 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, в отрицательное — с интенсивным загрязнением, распространяющимся вниз по каскаду. Так, для Волжского каскада особенно существенное влияние на содержание в воде иловых, минеральных и органических фосфоров (снижение в два и почти два раза соответственно) и повышение в 2–2,5 раза нитратного азота (Бессчетнова, 1977).

Как отмечалось, в условиях каскада водохранилищ возможен вынос загрязнений и вверх по течению. Такие условия могут наблюдаться в нижнем бьефе при шнеллин подпора. Уменьшение величин пусков (или их прекращение) обуславливает скопление сточных вод, распространение загрязнений в обратном направлении.

При каскадном регулировании водного стока в распределении и сезонной динамике химических элементов большое значение имеют внутриподомные процессы в водохранилищах.

Весьма подробно изучены последствия зарегулирования стока р. Днепр в связи с созданием каскада днепровских водохранилищ (Денисова и др., 1976). Отрицательное влияние выпадающих водохранилищ прослеживается на Днепровском каскаде, где с продвижением вниз по каскаду опутно снижается само-

очистительной способности водохранилищ. По данным А. Д. Приймаченко (1967), соотношение F/D в июле 1967 г. составляло в Кременчугском водохранилище 1,28, Днепродзержинском — 0,86, Деснянском — 0,32, Каховском — 0,23. Это приводит к утилизации продуктивных процессов (исключая, в частности, продукцию) (Мельников, 1970а, б).

Исследования последних лет позволяют оценить суммарный эффект продуктивно-деструктивного 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 Ивановском 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 76 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 хакрофитов 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.

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, Шаранов, 1977).

1. Зоны прямого воздействия в верхнем бьефе:

а) зона постоянного затопления (протягивается обычно в пределах уреза воды в водохранилище при НПУ с учетом кривой подпора в межесь);

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 форсирования 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 перестроения берегов водохранилища;

е) зона климатического влияния (учитывается в проектной практике пока лишь в особых случаях).

2. Зоны косвенного влияния в верхнем бьефе:

а) зона, выходящая из прежнего хозяйственного использования по производственно-экономическим соображениям;

б) зоны отчуждения вод объекты, строительство которых вызывается созданием или эксплуатацией водохранилища.

3. Зоны влияния в нижнем бьефе:

а) зона влияния многолетнего и сезонного регулирования стока;

б) зона влияния недельного и суточного регулирования стока.

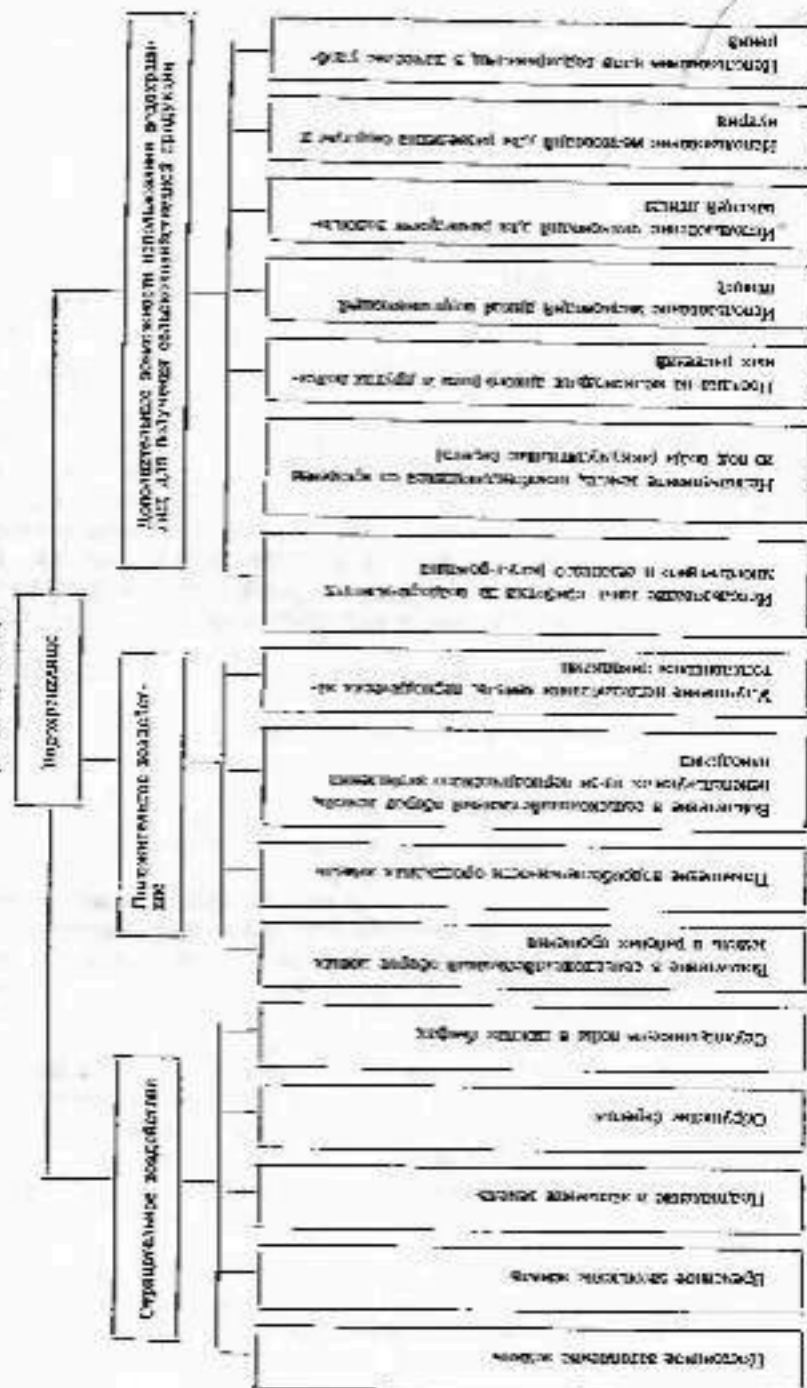
Все перечисленные зоны воздействия водохранилищ на природу и хозяйство прилегающих районов образуют сложные сочетания: на одну и ту же территорию могут влиять и временные затопления, и подтопления, и преобразование климата, и т. д. В зависимости от сочетания зон в верхнем бьефе можно выделить несколько крупных комплексных ареалов воздействия водохранилища:

1) ареал сильного влияния включает зоны временного затопления, перестроения берегов, часть зоны подтопления уровня грунтовых вод (где в первые годы после законченности водохранилища проявляется заболачивание и сильное подтопление), а также сплывы 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 реки в пределах гидрологического влияния водохранилища.

Имеющиеся в нашем распоряжении данные о зарубежных водохранилищах показывают, что за рубежом учитываются примерно те же зоны влияния водохранилищ в верхних и нижних бьефах т. е. узлов, 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 обуславливалось разными причинами: пренебрежительным отношением колониалистской или империалистской к интересам местного населения, наличием свободных неосвоенных земель, недостатком средств на исследовательские 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.



Сводные данные о масштабах нарушений, вызванных созданием водохранилищ в хозяйстве, в целом по миру, континентам и по большинству стран, к сожалению, отсутствуют; такие данные имеются лишь по отдельным странам (СССР, Индия, Чехословакия), и некоторым каскадам (например, на реках Теннесси, Влтаве и др.) и водохранилищам (Влтавский каскад, 1969; Аляска, Шаранга, 1977; TVA, Appalachian River, 1950, 1969; и др.).

Воздействие водохранилищ на сельское хозяйство районов, прилегающих к реке в зоне плавора 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 земледельческого хозяйства, в том числе севооборота, и, наконец, в изменении сельскохозяйственных транспортных, экономических, культурно-бытовых и других связей в результате нарушения сети коммуникаций к переносе населенных пунктов, предприятий по переработке сельскохозяйственной продукции, без снабжения (схема 3).

Изъятие земельных угодий под водохранилища и для связанных с его созданием и эксплуатацией объектов (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 водохранилища (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, реформированием берегов и т. п., в СССР составляет примерно 6—10% от площади затопления, а площадь, отчуждаемая под нересовские 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 занижена, 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 составляет 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 Кеппел (США) (TVA Annual Report, 1949)

1 — зона отчуждения водохранилища, 2 — зона отчуждения водохранилища, 3 — зона отчуждения водохранилища, 4 — зона отчуждения водохранилища, 5 — зона отчуждения водохранилища, 6 — зона отчуждения водохранилища, 7 — зона отчуждения водохранилища

земель — живое и частичное. Подле отчуждения распространяется на земли ниже отметки НПУ с учетом кривой подпора при межсезонных расходах и на некоторые расположенные выше участки (водохранилища, лесонасаждения, защитные сооружения и т. д.). Частичное отчуждение охватывает земли, по которым необходима компенсация ущерба от временных затоплений (рис. 34). Подобные значительные по размерам частичные отчуждения, вероятно, происходят на водохранилищах многих других территорий США со значительными потерями и даже оседаниями паводками (TVA Annual Report, 1950, 1968, 1969). Структура изымаемых земель в зарубежной литературе практически не освещена, если не считать кратких и разрозненных данных по отдаленным водохранилищам. По СССР имеются достоверные данные, показывающие изменения структуры затопляемых угодий в зависимости от природных и экономических условий. Местонахождение в той или иной части водохранилища и позволяющие установить следующие закономерности. Наибольший удельный вес среди изымаемых сельскохозяйственных земель занимают естественные кормовые угодья, причем в районах с избыточным увлажнением (зоны лесов и лесостепей) 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 пашки, усадеб, пастбищ, садов.

Хотя создание крупных водохранилищ связано с затоплением значительных 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 затопления на сельское хозяйство в различных природных зонах оценивается неодинаково. Во влажных зонах

Таблица 37

Отношение площади водохранилищ к их полному объему (га/млн. м³)

Регион	Группы водохранилищ, по полному объему, млн. м³							
	До 10	10-50	50-100	100-1000	1000-10000	10000-25000	25000-50000	Более 50000
СССР *	—	—	—	10,9	13,3	8,6	7,7	4,6
США *	—	—	—	10,2	10,4	3,4	3,4	—
Италия	54,8	27,5	19,1	12,8	—	—	—	—
Англия **	11,8	3,7	6,7	3,7	2,5	—	—	—

* Площадь водохранилищ объемом 100 млн. м³ и более.

** Вязь — наименьший объем.

он усиливает естественные высокие увлажнение почв, и, таким образом, отрицательные последствия для урожайности сельскохозяйственных культур. В зонах недостаточного увлажнения подтопление в ряде случаев может рассматриваться как илличивное пропашивание, если оно не сопровождается засолением почв. Положительное в ряде случаев влияние подтопления земель отмечается, например, в долине р. Арканзас (Gillel, 1965), в долинах ряда рек Европы и т. д.

Низкий быфак гидроуловов с водохранилищами многолетнего и сезонного регулирования на сельское хозяйство оказывают влияние изменение режима обводнения и удобрения плодородных земель и период половодья, зимние затопления, нарушения транспортных связей с полем в зоне передвигания края полей и др.; в СССР этим вопросам посвящено много работ (Щацкии, 1956, 1962; Волонский, 1942; Шаров, 1968; Воробьев, 1973; Ахирев, 1974; Шапиро, 1974; и др.).

Из указанных последствий для сельского хозяйства наибольшее внимание для рубежом привлекает уменьшение удобрения плодородных земель, особенно в аридной зоне, где речные долины наиболее благоприятны для земледелия благодаря наличию воды и плодородных земель, ежегодно удобряемых илом. К таким плодородным оазисам, где возможно интенсивное использование земель, относятся долины Нила, Тигра, Евфрата, многих рек Индии, юго-восточной Азии, Китая и др. В долине Нила ниже водохранилища Насер прекращение затопления и удобрения илом привело к необходимости переустройства системы орошения земель (вместо бассейнового стали строить инженерные системы равномерного орошения) и внесении больших количеств минеральных удобрений (часть необходимого количества удобрений производится в Египте на базе электростанции Асуанской ГЭС). Вместе с тем прекращение высоких паводков имело и положительные 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 быфе водохранилищ Волга, Карма и др. Так, в долине р. Волги ежегодно удобрявшиеся илом пойменные земли, которые прежде позволяли беззависимое земледелие с получением двух урожаев, стали быстро истощаться и деградировать под влиянием ежегодной эксплуатации; это привело к массовой укладу населения в другие районы (Hillog, Kowli, 1970).

Влияние водохранилищ на население пунктов, предприятий, пути сообщения и другие элементы инфраструктуры в СССР и за рубежом не имеет принципиальных отличий. На населенные пункты и коммуникации влияют затопление, подтопление, перформирование берегов и др.

Наибольшее влияние на население оказывают переселение жителей из зон воздействия водохранилищ и население спланированных экономических условий их жизни. В связи с плотным заселением большинства долины рек и озерных котловин создание в них водохранилищ, особенно крупных, привело к необходимости переселения большого числа людей. В СССР из зон воздействия существующих водохранилищ переселено 1,25 млн. человек (Аваки, Шаров, 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:

Группы по числу переселенных жителей, тыс. чел.

Водохранилища и каналы, переселенных жителей (в тыс. чел.)

Более 500

51—100

20—50

11—25

5—10

Сарыаркское (500), Кузнецовское (150), Красноярское (130), Падер (120), Убинское (116), Тобольское (86), Волжское (83), Манга (81), Братское (80), Амурское (60), Коса (57), Кабара Паша (55), Улан (52), Карма (57), Красноярское (51), Кокоское (45), Фурин (44), Цаланское (40), Киевское (40), Пискаревское (30), Пухаринское (27), Горьковское (31), Шаровин (20), Кенал (28), Джерин (25), Саратовское (24), Мичуринское (22), Токмогуское (20), Кабан (20), Усть-Илимское (16), Мичуринское (16), Усть-Илимское (15), Марамжор (15), Кривогородское (15), Сервис (12) и др. Кентукки (10), Пампсвотен (8), Санское (8), Пампсвотен (8), Кривогородское (8), Архиповское (7), Кривогородское (8), Фомин (40), Лент Солн (6), Лент Солн (6), Прокондо (5), Ван Чан Нен (6), Пов-Зеленица (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, Давань-Джонсон, Гордон М. Хрум, Брикноло и др.) или, наоборот, в плотноосвоенных 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.

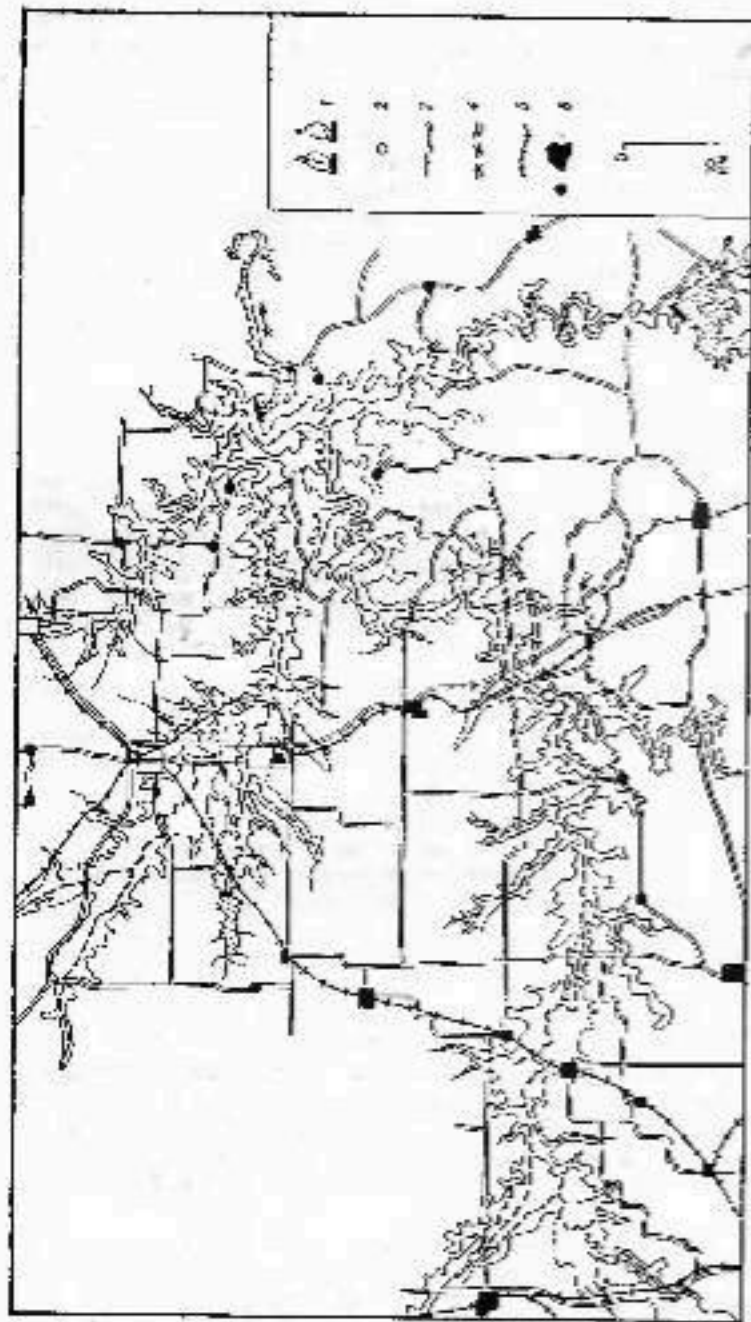


Рис. 35. Затопление автомобильных и железных дорог при создании водохранилища Кабинтробл (США) (Cartech, 1972, т. 80, N 4)

1 — полные и частичные затопления; 2 — ГЭС; 3 — существующие автомобильные дороги; 4 — проектируемые железные дороги; 5 — существующие железные дороги; 6 — проектируемые железные дороги.

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 шлюзов и связанных с ней сооружений, необходимы переселение населения, переустройство и перенос затопляемых объектов хозяйства, охраны 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, наносимых водохранилищем в хозяйстве и природные условия; 2) связанные с подготовкой к рациональному использованию водохранилища и зарегулированной реки ниже гидроузла; 3) сопутствующие мероприятия.

Опыт проектирования и осуществления мероприятий, связанных с созданием водохранилищ, достаточно подробно изучен и обобщен в СССР (Вольф, Клуш, 1934; Лифанов, 1946; Дендеев, Исаев, 1957; Богатырев, 1958; Борисов, Чистяков, 1960; Голубович, Дурнев, 1960; Алякин, Шаратов, 1962, 1968, 1977; Кибальчиц, 1965; Сметанин, 1974; Макарян, Воробьев, 1976; и др.). Для зарубежных стран обобщающих монографических 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) и США, свидетельствующие о достаточном высоком уровне решения этих вопросов в США еще в 30–40-х годах нашего столетия. При этом наряду с выкупом земель, переустройством дорог, лесопосадками и т. п. производились также специальные работы, как опытная посадка деревьев, дренаж заболоченных участков перед лесопосадкой 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. 36. Схемы мероприятий по подготовке кубышевеного водохранилища (Алексин, Паралов, 1977)

1 — высший судовой ход; 2 — порт; 3 — шхеры; 4 — судорожный ток; 5 — течения; 6 — заливной порт; 7 — искусственный железнодорожный путь; 8 — железнодорожные пункты; 9 — каналы водоснабжения.

Организация и осуществление проектно-исследовательских и строительных работ в разных странах неодинаковы.

В капиталистических странах фирмы проектно-исследовательские работы по гидроузелам и водохранилищам проводят в основном акционерные общества и компании, замечающие 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, Compagnie Nationale du Rhône, в США — Корпус военных инженеров, Бюро мелиорации и Федеральная энергетическая комиссия, а также бассейновые упрощенцы типа TVA). Восьми из десяти организаций проектно-исследовательских 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, проводятся в капиталистических странах (за исключением двух стран, как Франция, Австрия, США и некоторые другие). Такие преимущественно частными строительно-монтажными фирмами.

В социалистических странах существуют государственные проектные организации, например Гидропроект, Союзгидроколхоз, Гидрорыбпроект, Ростгидроизм и др. в СССР; Гидропроект, Волпроект и др. в Болгарии; Гидропроект и др. в Польше; Энергопроект в Югославии; Институт водохозяйственного планирования и др. в Венгрии; Народно-предприятие «Проектирование водного хозяйства» и др. в ГДР. В каждой из социалистических стран существуют также государственные строительные организации: Водострой и др. в Болгарии, «Водни етабли», «Гидростав» и «Институт» в Чехословакии и т. д.

Анализ разрозненных данных о проектировании и создании гидроэлектростанций, особенно в развивающихся странах, свидетельствует о прогрессе в этой области за последние десятилетия вместе с тем о наличии ряда недостатков. Характерным примером недостаточного внимания к вопросам подготовки населения может служить гидроузел Кариба. Инженерная компания, строившая гидроузел, стремилась 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 земли затопления была незначительной (но ни все же были предоставлены небольшие земельные участки и продовольственная помощь), а в Южной Родезии переселенцам из соседних зон 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

ксеропритий не проводилось при строительстве гидроузла Оуэн-Фолс в связи с замечавшимся падением уровня оз. Виктория.

При проектировании других водохранилищ в Африке (Вольга, Насер, Капджин, Косу) 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 Капджин были недостаточно исследованы перспективы рыбного хозяйства, выделены недостаточные средства на лесосадовку и лесовосстановку, 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. Тисы — 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 орошаемые земли, транспортные коммуникации, города и т. д.). Примером могут служить водохранилища на реках Кавказа, Скандинавии, Сибири и Дальнего Востока, в пустынных районах Африки, Ближнего Востока, в лесных районах, некоторых тропических странах, а также большинство водохранилищ в Альпах, Пиренеях, Кордильерах и других горных районах. В Швеции, где многие водохранилища строятся в результате подпора озера, затраты на подготовку водохранилищ 11 гидроузлов (Стурлфорсе, Чилфорсе, Харсфиллет, Порси и др.) составили в среднем 11% капиталовложений; по каскаду ГЭС на р. Оулуйоки в Финляндии на отсуждение и административные расходы приходится 12% общих затрат (Эристон, 1961).

Относительно низкий удельный вес затрат на водохранилища

¹ При сопоставлении приведенных показателей следует учитывать годы создания водохранилищ. Если бы водохранилища на Волге, Тисе, Дунае, Мокшуре, Пуде, в др. строились в последние годы, удельный вес затрат на мероприятия, связанные с созданием водохранилища, был бы значительно выше приведенных в результате возросшей стоимости компенсации земель, переселения жителей, их обеспечения жильем, а также большего удельного веса затрат на состав и объем мероприятий по охране окружающей среды, в том числе качества воды.

в общей стоимости гидроузлов характерно для большинства западно-европейских государств. Это обуславливается тем, что от строительства плотин, вызывающих большие затопления, здесь, как правило, отказываются. Поэтому в целом на мероприятиях, связанных 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 — Мунтелула, 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 Бергенфорсе 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 специализации сельскохозяйственного использования речной долины, ее извилистости, системы путей сообщения и т. д.), характера водохранилища, характера будущего его использования (числа и состава компонентов водохозяйственного комплекса, их требований к подготовке земли и т. д.), в том числе от политических-социальных условий в данных государствах (методов и степени компенсации затопляемых объектов, учета интересов местного населения и др.). Так, в плотин населенных сельскохозяйственных районах большой удельный вес составляют затраты на компенсацию сельскохозяйственных угодий и на переустройство населения пунктов или их защиту, в промышленно-освоенных районах — затраты на защиту и переустройство жилищно-коммунальных объектов, промышленных предприятий, транспортных сооружений и т. д. Для примера можно привести водохранилище Джердап, по которому затраты на инженерную защиту составляют 1/3 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 земель. Так, по водохранилищам Кентукки и Пиквик Ландхаг на р. Теннесси эти затраты составили около 30% от стоимости их подготовки. В лесных районах умеренного, тропического и экваториального поясов значительных затрат требует лесосадовка и лесовосстановка, при подготовке водохранилищ на су-

лоходных 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 рек.

Из общих особенностей проектирования водохранилищ следует отметить все большее влияние размеров вызываемых карущих и их денежной оценки на выбор варианта решения поставленных задач (гидроэлектростанция, тепловая или атомная станция, обвалование поймы или создание противонаводного водохранилища и т. д.) и на выбор схемы водохозяйственных сооружений (одно большое или несколько меньших водохранилищ, установление отметки ННУ и т. п.). Предпочтение, как правило, отдается вариантам, обеспечивающим существенное снижение размеров затоплений и других карущих, иногда с ущербом для оптимального решения водохозяйственных задач.

В ряде районов земного шара крутые и средние водохранилища предпочитают не создавать вообще, хотя они и позволяют 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 1970 г. будущего канала Дунай — Одра — Лаба (на трассе которого будет несколько водохранилищ) не возлежал капитальное строительство с тем, чтобы на отчуждения не требовалось в будущем значительных средств (Цурев, 1970). В США Бюро земельных фондов каждые 2 года проводит проверку резервированных земель с целью исключения неперспективных для гидростроительства участков. К 1966 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 находится 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 от-

дается 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 большого числа горных поселений и малой площади пастбищ. В последнем варианте схемы предусмотрено создание только одного водохранилища Дорферталь на р. Кальзер-бах (Jatzko, 1971).

Метод уменьшения 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 средних и низкотерных районах (Центральной части во Франции, Рейнские свистящие горы, Балканы и др.). В результате подвода воды из соседних бассейнов такие водохранилища регулируют большой 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 территории, укрепление берегов и откосов существующих земляных сооружений, устройство волноломных и волнобойных сооружений, подсыпка (насып) берегов и защитных дамб, дренаж обвалованных и подтопленных территорий, планировка дна и берегов водохранилища, гидротехнические и другие работы по локальной защите и приспособлению объектов к новым гидрогеологическим условиям.

Многие инженерные мероприятия проводятся для защиты городов, поселков и отдельных расположенных промышленных предприятий. В СССР защищены обвалованием и другими способами более 50 городов и поселков городского типа, в том числе Казань, Саратов, Ульяновск, Черкасск, Киев, Краснодар и др. В зарубежной практике инженерная защита населенных пунктов также широко применяется.

На многих водохранилищах мэри защищены сельскохозяйственные земли. В СССР обваловано 200 тыс. га при создании дисперсных, волжских, Каунасского, Плявиньского, Кайранкусского, Красноярского и других водохранилищ.

Ряд водохранилищ практически представляют собой водоемы с искусственными берегами на всем или большей части периметра. Таковы большинство водохранилищ на реках Изар, Илль, Везер, Лех и др. в ФРГ, водохранилища Вальке-Миттеркеркен и Джерлап на Дунае, ряд водохранилищ на реках Рейн, Рона, Ваг, Энс и др. Водохранилище Малуинце на р. Ваг в Чехословакии полностью обваловано, чтобы защитить сельскохозяйствен-

нылиц Кишкёре на р. Тисе (Венгрия), Марла (Франция), ряда водохранилищ на Руре, Ваге 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; Авакин, Шарапов, 1977). Она наряду с тщательным выбором лучших отметок и местоположения плотины 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 междоугодий 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, водно- и земельноправовых условий в разных странах весьма неодинаков. В большинстве капиталистических и развивающихся государств разрешение на отчуждение земель под водохранилища выдается государственными органами; в некоторых странах такими правами обладают административные органы провинций, штатов, кантонов. В Великобритании компетенция на создание водохранилищ выдает высший орган управления водных ресурсов. В некоторых странах получение разрешения 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; зачастую также случаи отказа кантонов предоставить компенсации за строительство некоторых из них (Töndüty, 1968). Политические сложности при приобретении земель под гидротехнические объекты наблюдаются в Финляндии, что привело к отказу от

создания ряда эффективных водохранилищ (Растфев, 1962). В США наряду с добровольной продажей земель применяются в необходимых случаях принудительное отчуждение, а иногда и конфискация. Так, под водохранилище Пиквик-Ландинг 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..., 1960).

В социалистических странах преобладает государственная собственность на землю, поэтому вопрос отчуждения земель под водохранилища и их компенсации решаются, как правило, исходя из одного вида использования в другом. 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 в виде компенсации и денежной форме или, по желанию собственника, в виде другого участка (Прана и объявленности, 1961; Фоксина, 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 стоимости их компенсации в капиталистических и развивающихся странах производится, как правило, на базе рыночных цен, по договоренности заинтересованных сторон. В некоторых развивающихся и без всякой компенсации; пример с племенем тога при подготовке водохранилища Караби уже приведен (Darius in Africa, 1968).

В некоторых социалистических странах и отношении частных земель также применяется оценка ее по рыночным ценам. Так, в Польше при подготовке водохранилищ земля покупалась у владельцев 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 омытой землей 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 исключение обременения ущерба. В Чехословакии в соответствии с законом об охране фонда сельскохозяйственных пахотных земель учитывается потеря сельскохозяйственной продукции за весь период окультуривания гидротехнического объекта; плата за изъятия сельскохозяйственных земель в ометах учитывается из расчета стоимости или двукратной стоимости годовой валовой продукции, а если строительство ведется сельскохозяйственным кооперативом, то за срок в 20 лет (Фомина, 1975).

В СССР в последние годы устоялась практика оценки изъятых земель по специальным районным нормативам стоимости омета различных сельскохозяйственных угодий; стоимость этой компенсации включается в смету на строительство гидротехнических сооружений.

Обеспечение конкретным земледельцам 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 оказываются помощь в подыскании таких земель; так, например, во Франции, Испании, Греции переселенцам из зоны затопления предоставляется возможность покупки земель на аукцион прилегающих земель. В США при подготовке водохранилищ в долине Теннесси переселенцам оказывалось содействие в подыскании и приобретении новых ферм; при подготовке водохранилища Индианаполис такую помощь по договору с TVA выли в себе Алабама, Индиана, Иллинойс 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 жильем предусматривалось лишь в отдельных случаях, как, например, при подготовке водохранилища Овер в ФРГ (Наале, 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 ссуждаемые 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 производится при подготовке некоторых водохранилищ в Швейцарии, Франции, ФРГ и т. д.

В развивающихся странах практика компенсации изъятых 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 сельскохозяйственных 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 (Montgey, 1974).

При подготовке водохранилища Гобиндсгар 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 перекрываемых городов (Биласпур и др.) в села, выделялись бесплатно орошаемые участки в 3,2 га на семью. Кроме того, за счет строительства платины 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 (C Gupta, 1964). Аналогичная практика наблюдалась при подготовке водохранилищ Вар, Гирна, Укая, Нагарджунасгар; в некоторых новых селениях строятся храмы. Отчужденные земли сдаются до момента затопления в аренду их бывшим владельцам; чтобы обеспечить крестьян землей, иногда сводили запашковые леса.

При подготовке водохранилища Кобан 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 значительное количество земель в новых колонизационно осваиваемых районах. Крестьяне, имеющие земли менее 0,5 акра орошаемой или 4 акра неполивной, получили

денежную компенсацию и были переселены в район гидроузла (Tatbeja..., 1971).

В Бразилии при подготовке водохранилищ земли покушаются или (при нежелании владельца продать их) экспроприируются, население обеспечивается домами, социально-культурными обслуживаниям (школа, больницы, церковь, 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, и иногда из-за неверия в то, что урочище 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 переселенного населения в странах Африки. Как уже указывалось, при подготовке водохранилища Каруба в Замбии были отведены для каждой семьи участки земли как на прилегающих к водохранилищу склонах, так и в долине р. Лукуты, причем земельная компенсация затопленных земель была очень значительной вследствие ограниченности земельных фондов (исс приоткрыл для использования земли очень склони 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 быстрого эффекта в течение такого короткого срока (Schidder, 1969). Кроме того, на самих переселенцах здесь была переложена забота о расчистке участка под селом и строительство домов. В Южной Родезии в схеме гидроузла Каруба на компенсацию земель и переселение не было никаких затрат, а в Замбии на 30 тыс. человек, переселенных из зоны затопления водохранилища Каруба, была выделена сумма компенсаций размером всего 1 млн фунтов стерлингов.

При первоначальном наплыве первого Асуанского водохранилища (1902 г.) население Нубии было переселено на возвышающиеся склоны практически без мероприятий по его устройству. При подготовке же водохранилища Насер население Судана переселено в район ниже ущелья Хаси-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., Дмитриевский, 1967).

В зоне водохранилища Вольта новые земли полностью предоставлялись за счет правительства. Взамен старых домов предоставлялись новые (стоимостью 250 фунтов) или выплачивалась соответствующая компенсация. Предварительно проводились различные обследования, переговоры и консультации с населением до выбора места поселения. Такого рода контакты с местным населением особенно важны при многообразии 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 эмира, влияние которого на жителей, несмотря на ограничение их власти, во многом сохранялось. В районе же водохранилища Вольта влияние местных вождей было невелико, к поэтому контакты сруководившихся и строителей с населением налаживались легче, население активно участвовало в мероприятиях (Darius in Africa, 1968).

При создании водохранилища Нам Поке 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 Harinasuti, 1975). В Мексике переселенцам на свои 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 обременило всех крестьян кредитами, в результате чего многие переселенцы оказались, по существу, разоруженными. Так, при создании водохранилища Алеман в тяжелом положении оказалось 22 тыс. индейцев. Здесь сыграло роль также переселение их из горных районов в непривычные для них условия равнинного орошаемого земледелия. Часть индейцев, не пользовавшихся услугами за рингиту, не получила никакой помощи и оказалась в самом бедственном положении.

В социалистических странах при подготовке водохранилищ, как правило, проводятся специальные многократные и строительные мероприятия в целях устройства жителей, выселенных из зоны затопления.

В СССР в проектах водохранилищ предусматриваются конкретные мероприятия по земельнохозяйственному устройству колхозов, совхозов и других земледельцев, а также восстановлению сельскохозяйственной продукции на основе экологического анализа хозяйственной деятельности каждого сельскохозяйственного предприятия с учетом изменений, которые вносятся созданием водохранилища. Мероприятия намечаются таким

образом, чтобы эти плескосты обеспечивали нормальное хозяйственное развитие колхозов и совхозов.

В разных природных зонах, а также на разных участках водохранилищ устройство земледельцев 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 мелноразмещение 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, Шаронов, 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 производится специальные попуски для обводнения поймы. В зарубежных странах примеры такого рода попусков известны лишь для некоторых водохранилищ.

Переселение населения при создании водохранилищ в СССР осуществлялось платомерно за счет средств на строительство гидроузла и других мероприятий (с обязательным обеспечением переселяемого населения работой). Все затрагиваемые жилище 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 проводится 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

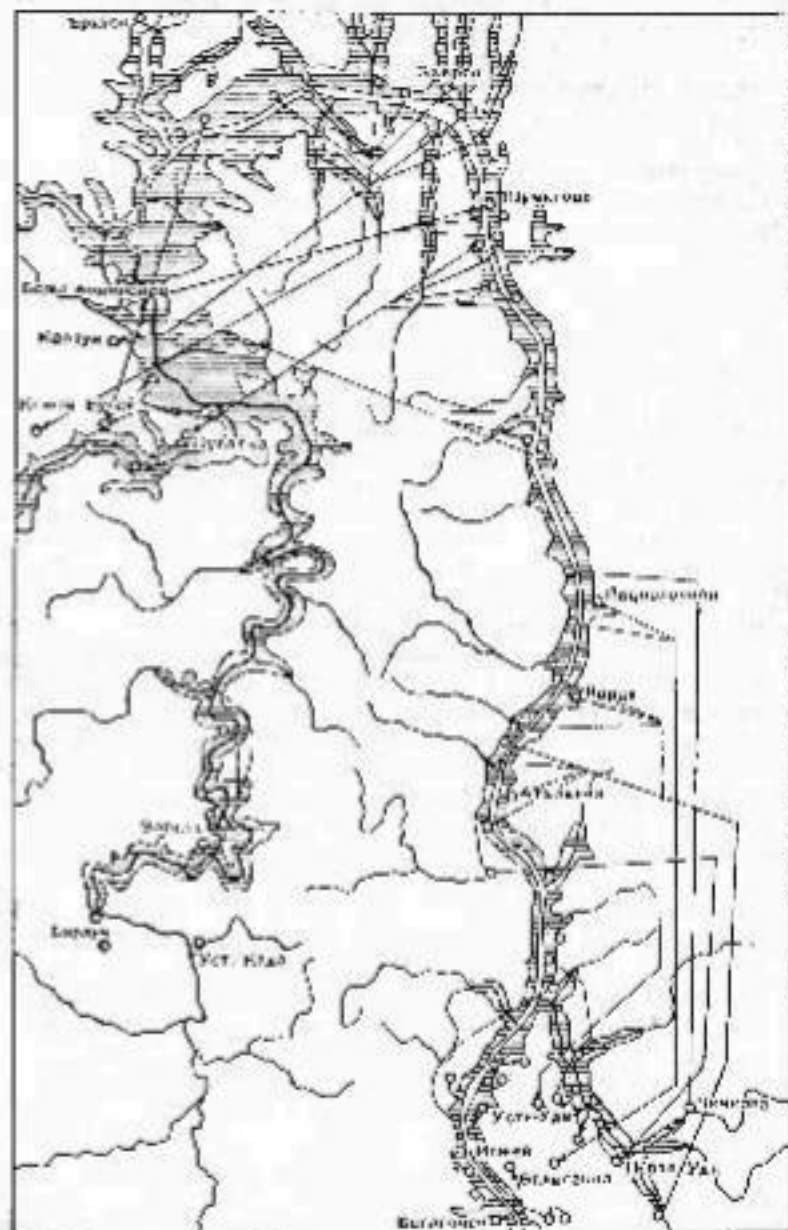


Рис. 38. Схемы перемещения сельскохозяйственных предприятий из зоны Братского водохранилища (Кибельвич, 1965)

племени и другими проектами развития района. Необходимо отметить, что, чем крупнее и сложнее по форме водохранилище и чем плотнее заселена и в хозяйственном отношении окрестности реки, тем, как правило, более значительной реконструкция подвергается сеть путей сообщения, линий связи и электропередачи.

К основным видам мероприятий, направленных на восстановление железных и автомобильных дорог, относятся строительство обходных участков и сохранение этих сооружений на прежних трассах с проведением специальных работ (обваловка 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, Кузбасского, Саратовского, Камского, Братского, Байкальского, Канчагайского и других водохранилищ построено 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 эксплуатации 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 Днепровско-Донецкого, нефтепромыслов в р-не Камского и Нызлекамского водохранилищ и т. д. При затоплении минеральных источников принимаются меры по восстановлению минеральной базы курортов путем вывода источника на более высокие отметки или из каптажа и другом месте, как это сделано, например, на курорте Биритонас (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 раскопываются 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 раскопаны, перевезены и вновь тщательно собраны на новом месте всемирно известный храм Абу Симбел, в Индии в зоне затопления водохранилища Нагарджунасангар разобраны

и восстановлены древние храмы Шива и Вишну и жилище древнего ученого Ачарья Нараяны, две старинные мечети вынесены из зоны водохранилища Кебан, перенесены старинные постройки на левом затоплении 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 лесосозидке, лесосаечке (общей и специальной), санитарной очистке загрязненных территорий и зон водосборов, противоэрозийных мероприятиях, ландшафтно-благоустройстве, спасении животных, а также в подготовке водохранилищ к непользованию. Их название — 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, нетоварных, площадях зоны затопления лесная и кустарниковая растительность или вырубается, или заготавливается.

Требования отраслей хозяйства, здравоохранения и охраны природы к лесосозидке 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 лесосозидки, лесосаечки, санитарных, противоэрозийных и других мероприятий. Считается целесообразной сплошная лесосаечка ложа всех водохранилищ, предназначенных для водоснабжения, орошения, рыбного хозяйства, а также водохранилищ комплексного назначения, расположенных в плотнонаселенных районах. В последние годы высказываются пожелания о сплошной лесосаечке ложа и крупных сибирских водохранилищ с природоохранных и рекреационных позиций.

В большинстве зарубежных стран производится сплошная лесосаечка ложа водохранилищ и некоторых участков берегов, так как установлено, что оселения, вызываемые невырубленной лесом, обходятся впоследствии дороже экономии от сокращения площади лесосаечки. Вместе с тем наблюдалась и неполная лесосаечка ряда водохранилищ в слабообжитых районах

Капачи, 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. Тисисси.

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 лесосады и лесозащиты, входит: общая санитарная очистка территории населенных пунктов, предприятий, животноводческих ферм и специальная санитарная очистка мест сельскохозяйственного загрязнения и зон централизованного питьевого водоснабжения; перелом или изжигание захвата кладбищ и скотомогильников, охрана грунтовых вод от истощения и загрязнения, борьба с вымывающимися торфяниками, борьба с загрязнением водохранилищ сточными водами, с избыточным «цветением» воды и др.

В целях санитарной охраны водохранилищ в период их подготовки и эксплуатации осуществляются также и ряд других мероприятий. Запрещается сбор неочищенных сточных вод и твердых отходов в водохранилища. Плавучие по водохранилищу суда оборудуются специальными устройствами для сбора сточных вод и твердых отходов, а на пристанях строятся сборные станции. На берегах водохранилищ, имеющих дельтовое паводочное, производится облесение, устанавливаются зоны санитарной охраны и др.

Некоторые санитарные мероприятия проводятся и в нижних бьефах гидроэлектростанций: специальные санитарные выпуски воды для разбавления загрязненных вод в период малых расходов, выпуски для обеспечения работы водозаборных сооружений. Так, исследованиями Московского НИИ Гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана доказана необходимость постоянных санитарных выпусков в подпорные нижние бьефы ГЭС, чтобы спадать постоянное течение и обеспечить тем самым удаление ил и разбавление сточных вод (Кубальнич, 1963). В естественных условиях ежегодные паводки промывали поймы и улучшали их санитарное состояние. Поэтому ставится вопрос также о санитарных паводковых промывках поймы реки 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 эвтрофикацией водохранилищ, в том числе с избыточным «цветением» воды, должна быть составной частью общей системы мер, направленной на регулирование качества воды и биологического режима водохранилищ. В их состав должны входить, помимо выбора параметров водохранилищ (с санитарно-гигиенических позиций) защита водосхов от сброса сточных вод, физико-химические методы (аэрация, окисление

и т. д.), изъятие водорослей (с их использованием) и биологические методы. Следует указать, что большинство из этих методов применялось лишь в опытных порядках.

В СССР осуществляются также лечебно-профилактические и экомедицинские мероприятия в целях предупреждения заболевания маларией. Проводятся также санитарные меры борьбы с кровососущими насекомыми, клещем и др.

Очистный систем санитарных мероприятий применяется и при подготовке большинства зарубежных водохранилищ. В условиях капиталистических стран этих мероприятиям придается особое важное значение. Например, при подготовке водохранилища Желва на одноименной реке, предназначенного для водоснабжения Праги, из зоны затопления переселено свыше 2 тыс. жителей, перенесено или разобрано 73 хозяйственных и 186 жилых строений, 3 небольших завода и 4 мельницы, удалены и обезврежены загрязнения и дачности; загрязненные места подвергнуты специальной очистке, старая канализационная сеть промита 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 затопления водохранилища всплыло значительное количество древесного мусора, организована его уборка с помощью специального пакета. По периметру водохранилища организованы три зоны санитарной охраны.

Большое санитарно-гигиеническое значение имеют широкие распространение и зарубежной Европе буферные водохранилища (Vorgarten, Vorbecken) с постоянным уровнем воды, создаваемые в зонах инкливирования подпора по главной реке, а нередко и по ее притокам. В таких водохранилищах отстаиваются и очищаются загрязненные воды, задерживается твердый сток; эти водохранилища позволяют значительно срабатывать осевшее водохранилище, поскольку благодаря постоянному уровню предотвращают такие неблагоприятные последствия сработки, как гниение растительных и животных остатков на обсыхающей площади дна, возникающие из-за этого неприятные запахи, размножение комаров и т. п. Эти мероприятия также способствуют сохранению прежнего ландшафтного облика местности в верхних водохранилищах (Weissbach, 1956; Kienig, 1971 и др.). Буферные водохранилища имеются на водохранилищах (вер. Шваб-меккаль, Хенне, Дюна, Битте в ФРГ, Рашибоде 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, жучек и т. д.; однако иска таких методов практически не найдено.

Поэтому в основных мероприятиях в настоящее время относятся выявление и лечение больных, профилактика заболеваний, улучшение бытовых и санитарно-гигиенических условий жизни местного населения и строителей гидроузлов, 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 лока 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 (электричество, водопровод, канализация), строятся причалы для спортивных судов и т. д. На некоторых гидроузлах (Рейнфельден в Швейцарии, Вране в Чехословакии и др.) построены специальные виадук для прохода спортивных и туристских судов из одного бьефа в другой; в обход нескольких плесов на Влтаве построены специальные дороги, по которым суда перевозятся яли на дятках (гидроузел Камыш, Славия), или на тележках по рельсам (Орлик; Влтавский каскад, 1969).

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

ТЕРАТОРИАЛЬНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ, ПЛАНИРОВКА И ОБУСТРОЙСТВО ВОДОХРАНИЛИЩ

Повышение эффективности использования внутренних водоемов, и 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 по всей прилегающей территории эксплуатации, в частности режимы урбанизации. К мероприятиям, способствующим повышению эффективности использования водохранилищ, следует отнести 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 антропогенных факторов.

Следует подчеркнуть, что эффективное использование водохранилищ не должно замыкаться в рамках только эксплуатационной задачи, сводящейся к выполнению совокупности правил наполнения и сброса водохранилища. Существенное условие успешного решения этой задачи заключается в комплексности использования ресурсов района водохранилищ (водных, земель, биологических и рекреационных) к направленной, регулируемой воздействию человека на режим и динамику становления водохранилища, т. е. управлению этими сложными природно-хозяйственными объектами (Лавкин, Шариков, 1977).

В настоящее время под комплексным использованием понимается такое использование водных ресурсов водохранилища, которое даст максимальный эффект в народном хозяйстве, определяемый с учетом их положительного и отрицательного влияния как на все отрасли народного хозяйства, так и на природу и хозяйственно-территориальную прилегающих к водохранилищу и к реке в низовьях бассейна 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 этих сложных объектах. 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 ближайшими 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: осознанию природы объекта (районирование), представлению о его наиболее «выгодной» оптимальной для человека структуре (планировка) и, наконец, целенаправленному 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.

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 однородности водной массы, которое способствует выравниванию (гивемизированию) 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 осадков, 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 протекающей воды, метеорологическими факторами, режимом заполнения и сброски и другими.

Результаты исследований температурного режима водохранилищ показывают, что в них наблюдается пространственная дифференциация воды по температуре. На температурный режим влияет проточность водохранилища. Одно и то же водохранилище, ширина которого изменяется по длине, обладает различной проточностью на разных участках. С удельным расходом (на единицу площади водоема) связан теплообмен в водной среде. Этот процесс часто обуславливается разницей в температуре воды на отдельных участках одного и того же водоема (Росинский, 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 Кубышевском водохранилище в связи с его меридиальным расположением различия поверхностных температур воды может достигать 10°. При определенных метеорологических условиях в водохранилищах наблюдается также явление термического расслоения водной толпы. Градиенты температур воды по глубине в ряде случаев составляют около 1° на 1 м, а в слое температурного скачка достигают нередко нескольких градусов. Максимальная разность 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 подосне одновременно. На акватории водоемов выделяются зоны стоковых, стожно-нагонных, водоворотных и настоящих типов циркуляций. На различных участках одного и того же водохранилища изменяется очень значительно и высота волны. По-разному проявляются последствия сработки водохранилища.

Степень неоднородности гидрологического режима отдельных районов и положена в основу деления русловых водохранилищ на три известных зоны: верхнюю, среднюю и нижнюю (Иванов, 1965, 1969). 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 специфическими координатно-физическими, химическими и биологическими характеристиками. В процессе взаимодействия водных масс водохранилищ происходит сложный трансформационный процесс водных масс и формирования 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 перхлоридных водохранилищ (до Гурьевского включительно) выявлены существенная пространственная и временная изменчивость гидрохимических параметров (Кожар, 1969). Коэффициенты вариации 14 из 18 исследованных параметров достигают значительных величин и колеблются в зависимости от сезона года от 0,25 до 1,48. Степень изменчивости особенно высока у тех компонентов, чьи концентрации в воде относительно невысоки, 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 биомассы 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 протекает как бы «пятая жизнь», мозаично распределенные в плане, в первую очередь это умеренно заросшие участки мелководий зоны продуктивных вод, устьевые участки притоков, заливы, районы смешения водных масс. Неодинакова интенсивность гидробиологических процессов и по крупным районам (пеле-

сам) водохранилищ в целом. Например, средние за вегетационный период величины биомассы фитопланктона (в граммах на 1 м^2) в шести различных районах Киевского водохранилища изменялись в 1965 г. в диапазоне от 3,9 до 24,9 г/м^2 , в 1966 г. от 17,2 до 67,3, а в 1967 г. от 13,4 до 74,0 г/м^2 (Киевское водохранилище, 1972). Известно также, что так называемое шествие воды, как правило, локализовано на определенных участках водоема.

Расчеты валовой первичной продукции и деструкции в слое воды под 1 м^2 для Киевского водохранилища, показывают, что размеры продукции фотосинтеза и деструкции органического вещества значительно колеблются по отдельным районам водохранилища (до 8 раз).

Годовая продукция фотосинтеза шланкена над 1 м^2 и глубинной зоне превышает таковую в мелководной в два раза, а деструкции в четыре раза.

Выявлены также значительные колебания биомассы (до 10 раз) продукции сообществ водных организмов разных трофических уровней (бактерии, фито- и зоопланктон, зоофитос, 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 биомассы фитопланктона для разных участков мелководий различны (от 0,5 до 5 г/м^2). Концентрация зоопланктона в поверхностном слое в июне 1963 г. колебалась по акватории водохранилища от 0,01 до 0,3 г/м^2 . Пестрый характер распределения длинных отрезков различного типа определяет и значительные колебания биомассы бентоса на различных участках. Биомасса 5–10 г/м^2 и выше встречается на сырых илах, на торфянистых илах она не больше 1–5 г/м^2 , а на большей части Главного плеса Рыбинского водохранилища не превышает 1 г/м^2 . Вспой в связи с замедленным прогрессом под 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/м^2 при средней величине для водохранилища 3–5 г/м^2 .

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 актуализирующихся группировок рыб, приуроченных к разным районам водохранилища. Явление экологической

тонографик, показанное для волжских водохранилищ, связано с различием их стеленных участков по проточности, химизму, температуре, колебаниям уровня (Поддубный, 1971). В результате каждое водохранилище характеризуется набором экологических участков, называемых стациями. А. Г. Поддубным выделено 11 стаций (участки, районы), характеризующих условия существования гидробионтов в волжских водохранилищах.

Многочисленные исследования установили совершенно особую роль вышесказанных 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 прибрежными. 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 Шосинском плесе Иваньковского, о Волжском, Мологском и Шекснинском плесах Рыбинского, Черемшанском и Ухменском заливах Куйбышевского, Прхляском и Дигировском плесах Киевского водохранилищ и о многих др.

Почти все природные факторы, обуславливающие существенные различия между участками одного и того же водохранилища, все большее значение начинают приобретать факторы антропогенного воздействия. Прежде всего это загрязнения акваторий сточными водами, сбросы подогретых вод ТЭЦ, а также хозяйственная деятельность на водосборе (торфоразработка, животноводческие комплексы, сжигание лесов, применение ядохимикатов и удобрений). В результате антропогенного влияния неоднородность режимов отдельных участков акватории приобретает еще более резкий характер, особенно по комплексу гидрологических (загрязнители) и гидробиологических (эвтрофия) показателей. Например, «точечное загрязнение» участков Иваньковского и Горьковского водохранилищ Конановской и Костровской 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 методов акваториального районирования является важным и необходимым звеном 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 (или нескольких) критерия (или их совокупности), устанавливаемого в соответствии с целями предприняемого исследования.

Объективной необходимостью акваториального районирования и планировки водохранилищ комплексного назначения обусловлено:

- 1) потребностям интенсивного хозяйственного использования водных ресурсов и акваторий;
- 2) разнообразием природных условий на разных участках акватории одного и того же водоема (морфологические строение, водные массы, гидрохимический режим, донные отложения, неоднородность физико-химических характеристик, различные биологические процессы, степень антропогенного воздействия);
- 3) различными требованиями отраслей хозяйства к характеру использования акватории, береговой зоны и к режиму уровня.

При этом водохранилища целесообразно рассматривать как территориальные природно-антропогенные регулируемые комплексы со сложной неоднородной (гетерогенной) структурой всего водохранилища и составляющих его комплексов меньшей территориальной сложности.

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 (Алабян, Салтанки, 1976).

Рассмотрение водохранилища как объекта районирования с учетом опыта физико-географического районирования связано с решением следующих задач: 1) соотношение отраслей 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 целом и взаимосвязи комплексного районирования применительно к водохранилищам.

Районирование водохранилища по комплексу признаков может проводиться в целях оценки качества воды, выявления структуры экосистемы водохранилища, его планировки и обустройства, улучшения рекреационного использования — все они требуют комплексного 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 (интраводоемные 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 участки.
2. Оптимальное размещение станций наблюдения по акватории.
3. Оценка экологической 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. Развитие науки и техники технологии водохранилищ.

Важная роль районирования проявляется также и в том, что оно может синтезировать 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 важна роль акваториального районирования как информационно-аналитической 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 водоема.

Кратко охарактеризуем содержание двух последующих этапов предлагаемого методического подхода к комплексной 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 коллективного 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 к 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 образом человеческому обществу 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. Последним это на примере скажем за последние 30 лет «твердых» водохозяйственного комплекса. Если в первые годы на водохранилищах, расположенных в европейской части СССР, в основном учитывались интересы гидротехники 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 интересны в практическом применении акваториальной планировки водоснабжение, рыбное хозяйство, рекреация и частично сельское хозяйство (прибрежные территории и желководы, используемые для птицеводства, разведения оидатри, нутрии).

Определенный интерес планировка как основа целенаправленного и целенаправленного 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 (мелиорации водоемов, создание товарных и выростных рыбных хозяйств, использование ирригационных, введение водохранилищ 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 до самых осторожных оценок необходимы 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 выделения для их решения огромных средств требует тщательности 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, сельских, рекреационных, биопродукционных, природоохранительных зон, районов неблагоприятного антропогенного воздействия.

Обустройство водохранилищ — совокупность инженерных, биотехнических и организационных мероприятий для управления водоемом, выполняющихся по результатам, полученным при акваториальной 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 уровня и 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 водозабора; удаление водной растительности и донных отложений; создание охраняемых, заповедных и буферных зон; направленное формирование экосистем, организация рационального использования береговой зоны и многое другое. Только на основе приведенной комплексной 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 multifunctional, 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 существенные увеличения требований к уровню изученности водохранилищ как объектов со сложной структурой и разветвленной сетевой природой и хозяйственных связей и, следовательно, к объему, качеству и степени комплексности информации, необходимой для принятия решений в процессе эксплуатации, разработки прогнозов и обоснования комплекса мероприятий, направленных на повышение эффективности использования водохранилищ.

Требования и запросы, предъявляемые практикой к 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 собой 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-

мгновенных 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 усиленно 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, проводившиеся в этом направлении в СССР и США, показывая 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 обычные, многоканальные, цветные и спектрально-аналоговые фотографирование; телевизионную (ТВ), инфракрасную (ИК), сканирующую, микроволновую и радиотепловую съемку; 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 сложных оптических-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 м, а для сильно контрастных объектов — до 10 м; это позволяет увеличивать оригинальные снимки до 30 раз и получить соответствующий масштаб изображений (Куприянов, Прокачев, 1976).

Литература, посвященная дистанционным методам исследования 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, издававшихся за последние годы (Виноградский, Кондратьев, 1971; Григорьев, 1975; Виноградский, 1976). Опубликованы также работы, посвященные применению аэрокосмических методов в гидрологии (Куприянов, Прокачев, 1976; Калкин 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 симпозиума по средствам и методам дистанционных исследований, состоявшегося в АНН-Арборе (штат Мичиган, США) (Symposium..., 1973; Proceedings..., 1975).

Применению дистанционных методов к изучению водохранилищ уделяется значительное внимание. Большая часть публикаций посвящена крупным водным объектам: районам скелетов и морей, эстуариям, являющимся бухтам, дельтам рек и крупным озерам. Отечественные и зарубежные публикации, посвященные внутренним водоемам, незначительны и имеют в основном инвентаризационное (кадастровое) направление. Публикации, посвященные дистанционным методам исследования водохранилищ, в известной нам литературе единичны (Салтацкий, 1977; Mc Cauley 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, вытекающих 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 (исполнение 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 утвержденного практического применения доведены исследования по оценке дождевого стока водосборных в арктической зоне, определению площадей затопления паводковыми водами и определению напряжений эстуариев и морских бухт. Имеют практическое значение также результаты по индикации снежного и растительного покровов (Душин-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. Несомненно, что использование космических снимков позволяет существенно уточнить данные о геометрии водосборов, их делении на подбассейны, форме и размерах бассейнов площадью от нескольких сотен квадратных километров. Благодаря высоким спектральным контрастам с большой детальностью изображаются как снимках гидрографическая сеть. На сканирных 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 уравниваемых космических кораблей «Спиз» обладают еще большей детальностью, позволяя обнаруживать речную сеть 5—6 порядка и водоемы площадью в доли квадратных километров (Кузнецов, Прокачев, 1976).

Результаты комплексного географического дешифрирования показывают, что достаточно надежно могут быть определены

следующие физико-географические характеристики водосборов: гидро-геоморфологические особенности, гидрологические условия, основные типы почв, распределение и характер растительного покрова, сельскохозяйственная освоенность с выделением контуров основных угодий и типов культур (Исследования..., 1974, 1975, 1976; Григорьев, 1975; Виноградов, 1976).

Особенно важное значение имеют разработки гидрологических моделей прогноза и расчетов стока (в том числе притока в водохранилища), основанные на использовании дистанционно определенных характеристик (степень покрытия поверхности водосбора водой в период снегооттаивания, увлажненность почвогрунтов, распределение и динамика таяния снегового покрова), которые служат входными параметрами моделей (Душин-Барковский, 1976; Калинин и др., 1977).

Районы нижних бьефов водохранилищ. Ранее 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 и/или уточнения пространственных границ зоны изменений природных условий при доельном, сезонном и многолетнем регулировании стока плотинами гидроузлов.

Последовательное сопоставление космических снимков, полученных в разные гидрологические фазы, по-видимому, позволяет определить размеры затоплений в зависимости от поступающего в нижний бьеф расхода; размеры размывающихся пойм; деформации русла в плане; зону нахвата осветленных (после стравливания в водохранилище) вод наносами и, наконец, ряд ландшафтных изменений — опустынивание пойм в арктических районах, пересушливые или заболачиваемые поймы в северных районах.

Большой интерес представляет использование космических снимков для оценки влияния зарегулированного 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 поймах, шхерах 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 наземных работ.

Береговые зоны водоемов, особенно водохранилищ, интересны для изучения как среда обитания и отдыха человека, как среда интензивной хозяйственной деятельности и, наконец, как фактор, определяющий многие важные особенности режима самих водоемов (влияние 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 реконструктивности изучения береговых зон крупных и средних водохранилищ, по-видимому, с успехом могут быть применены увеличенные до масштаба $1:10^6$ (и другие) космические снимки. Например, дешифрирование аэрокосмических черно-белых ($1:10^6$) аэроснимков побережья Красноярского водохранилища позволило определить наиболее важные компоненты и основные типы развивающихся геодинамических процессов (линейная эрозия, осыпи, эоловые процессы, осыпные направления и виды развития процессов переработки берегов, места аккумуляции материала размыта берегов (Зубенко, 1976).

Исключительно 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, систем 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.

Акватория 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: морфометрия (морфометрия) водоемов, гидрологический режим, определение некоторых физико-химических

параметров, гидробиологических характеристик и, наконец, загрязнения отдельных участков в результате сброса сточных и подпорных вод.

Особенности морфологии и морфометрии водоемов наиболее четко отображаются на мактопографических космических снимках в синих и 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 мактопографических 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 10; 4—6, 7—9, 10—13 м и др. (Symposium..., 1973; Proceeding..., 1975).

Относительно 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 величины прозрачности, цветности воды и типа донных отложений вследствие которого контрастного водоема.

Из особенностей гидрологического режима следует прежде всего отметить возможность оценки особенностей уровняного режима, которые непосредственно отображены на космических снимках, через изменение площадей и конфигураций водного зеркала. Эти данные интересны для контроля затопления и работы каскадов водохранилищ на крупных реках.

Космическая информация весьма полезна и для оценки ледового режима акваторий: замораживание 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, получаемые с метеоспутников серии «Метеор» (Пригорьев, 1975; Куприянов, Прокашева, 1976).

Активно разрабатываются радиофизические методы (пассивная и активная СВЧ) регистрация 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 мощность 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 радиократности температуры подстилающей поверхности. Результаты радиометрических измерений могут быть представлены в виде радио- и ИК тепловых изображений, неоднородности поверхности фототомы которых соответствует участкам с различной температурой воды и поверхности ее слоя. Точность определения температуры воды в поверхностном слое со спутников (обычно метеорологических) по измерениям в ИК диапазоне (8—12 мкм) и радиофизическими методами повышается по фактам данным в пределах нескольких градусов, но пока не более 1° (Федоренко, Сидоров, 1975). Для крупных водохранилищ эти данные могут практически применяться в сезоны сильных температурных контрастов (весной и осенью) для расчета теплонакопов, сроков заморзания 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 термисканеры обладают чувствительностью в сотни дел градуса (Джонсон, 1975).

Для определения мутности воды обычно используются плотность тона отдельных многоканальных фотозображений и их сопоставление. Так, в результате дешифрирования 30 космических снимков ЭРТС водохранилища Тигла 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., 1978).

Для определения цветных характеристик и прозрачности воды применяются обычно многоканальные, цветные (в естественных цветах и синтезированные) снимки, однако иногда возникает необходимость специальной их обработки. Комплексное применение приборов регистрации плотности тона изображений, обработки данных на ЭВМ и выдачи результатов в виде закодированных изображений позволил для участка со площадью 35 км² получить девять цветных графий, которые коррелируют с результатами наземных измерений цвета (по шкале цветов) и прозрачности (по диску Секки) (Wetzelak, Polcup, 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 водной растительностью, которые служат не только индикаторами продуктивности водных экосистем, но и прямым индикаторами процесса антропогенного эвтрофирования водоемов.

В общем случае для установления в воде концентрации планктона, конечно, недостаточно одних только аэрокосмических изображений. Только в некоторых случаях, при попытках развития некоторых специфических видов водорослей типа «стелер-цветущих», дистанционная индикация достаточно наглядная и простая процедура.

Активно разрабатываются также методы дистанционных измерений концентраций хлорофилла, содержание которого обычно коррелирует с биомассой водорослей. Перспективным направлением глобальных разработок считается применение методов спектрометрии и дифференциальной радиометрии.

Дешифрирование космических изображений, особенно цветных, спектральноналичных и ИК цветных, позволяет определить степень зарастаемости водоемов, а в некоторых случаях при предельно высокой разрешающей способности снимков определять основные классы водной растительности: водный-водной, плавающей, погруженной. Достаточно надежное определение видового состава, картирование ареалов распространения и оптимизированная оценка биомассы, по-прежнему, возможны пока только на основе применения аэрокосмических водоемов и сопоставляя с натурными наблюдательными водоемами.

Важное практическое применение может найти также дистанционная информация при индикации антропогенных загрязнений (так загрязнение, распространение по акватории и в некоторых случаях для определения концентрации загрязнителей). Дистанционная индикация загрязнений развивается и направлении использования средств и методов многоканальной фотосъемки, спектрофотометрии, 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, концентрации хлорофилла, нефтяных пленок, окислов железа, сернистых кислот, ртути, ДДТ, соединений свинца и т.д. (Косидрачев и др., 1972; Мушкетев, Старцев, 1975).

Сопоставляя 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 водохранилищных дистанционных методов для изучения водохранилищ не только определяется необходимостью комплексного применения технических средств и методов дистанционного зондирования; проведения космических и аэрокосмических наблюдений в широком диапазоне электромагнитного спектра; составом работ по извлечению, обработке дистанционных наблюдений; методами обработки аэрокосмической информации.

3. Эффективность 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 (и первую очередь цвет, оптическая плотность, мутность и прозрачность).

4. Для более детальных исследований крупных и средних водохранилищ с получением количественных результатов необходимо использование преобразованных и увеличенных до масштабов $1:2 \cdot 10^3$ — $1:5 \cdot 10^3$ космических многоканальных снимков, а также планов синтезированных изображений.

5. Оценка состояния и режимных особенностей водохранилищ с площадью менее нескольких десятков квадратных километров на основе анализа только космических снимков затруднена 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 (прозрачность, отражение, рассеивание, флуоресценция) в диапазоне длин от ультрафиолетового до сантиметрового.

2. Разработка оптимальной процедуры дистанционных наблюдений водохранилищ (повторяемость и сроки наблюдений, состав космических, аэрокосмических 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 методики дистанционных исследований.

5. Исследования пространственной и временной изменчивости спектральных характеристик антропогенных водохранилищ в зависимости от их гидрологического, физико-химического и биологического режима.

6. Разработка методики обработки дистанционной информации в решающей 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 (не комплексных по содержанию) позволяет, 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).

[illegible]

49	Гобиндасгар (Балахри)	Индия	Сингапур	1965—1967	250	9,87	7,44	470	—	86	ИЭПО
50	Горв	Австралия	Кувейт	1973	56	2,57	Нет данных	—	—	Нет данных	ИЭ
51	Гордон	Австралия	Турция	1974—1975	180	21,80	*	272	—	35	Э
52	Гордон М. Хьюз (Дортон-Маунтин, Вашингтон)	Канада	Панама	1968	165	7,15	37,00	1667	—	760	ЭНС
53	Горьковский	СССР	Польша	1957—1957	17	9,82	2,79	1961	—	435	ЭОЛВКУ
54	Грегори	США	Япония	1954	20	1,05	1,54	258	—	Нет данных	НА
55	Грегори Риналд	Канада	Самарканда	1965	50	41,40	Нет данных	3484	1972	*	Э
56	Гурв (Эль-Мун- тукс) *	Венесуэла	Кувейт	1968	120	135,00	55,00	1300	—	70	Э
57	Гуэя (Та-Пур)	Канада	Сам-Морис	1917	27	9,57	Нет данных	1281	Нет данных	Нет данных	Э
58	Дамаскаду	Кувейт	Хан-Ду	1974	90	20,00	*	Нет данных	—	9	ЭН
59	Данель-Джонсон (Мэнкуган, Ю)	Канада	Э. и Л. Манкуган, ок. Мунгаган	1975—1974	154	141,55	85,90	0,60	265	34,7	ЭОЛ
60	Делькомин	Заир	Дуалаба	1953—1954	115	1,79	1,68	297	—	Нет данных	Э
61	Джентилкур	Миннесота	Чикаго	1965—1967	90	3,00	Нет данных	—	—	Нет данных	Э
62	Джералд	Румыния, Югославия	Туши	1960—1971	94	5,60	3,00	530	—	2	ЭОЛВКУ
63	Джон Карр	США	Ронсе	1952	40	3,46	2,80	382	—	200	ЭНС
64	Дистрикционское	СССР	Дистри	1983—1985	15	2,45	0,27	567	367	Нет данных	НСЭА
65	Дубаи	ОАЭ	Мальдивы	1952—1981	110	6,80	6,40	270	—	142	ЭОЛВКУ
66	Дубай	Кувейт	Кувейт	1967	100	6,30	6,00	1955	100	35	ИЭ
67	Жуль	Бразилия	Париж	1968	190	3,64	2,00	252	—	65	ЭС

№ инв.-документа	Наименование микроорганизма	Страна	Дата, место исследования	Период (годы) и дата	Среды	Объем исследованной массы, мл	Плотность взвешивания, г/мл	Плотность взвешивания, г/мл	Время, мин	Время, мин
68	Журиния	Бразилия	1962	1962—1963	Парагвай	8,52	1,43	1,43	—	—
69	Датировское (Датировское)	СССР	1962—1963	1962—1963	Донец	3,33	0,34	0,34	—	—
70	Датировское	СССР	1974	1974	Донец	38,42	32,12	2418	—	—
71	Датировское	СССР	1977	1977	Донец	1,12	0,09	327	—	—
72	Искусств.-Мундурин (Бата)	Румыния	1960—1971	1960—1971	Белград	1,22	0,09	33	—	—
73	Панамское (Вол-хонское)	СССР	1956—1959	1956—1959	Донец	10,20	15,14	2150	—	—
74	Датировское	Бразилия	1973—1974	1973—1974	Парагвай	21,20	16,90	1531	—	—
75	Датировское	СССР	1948	1948	Донец	11,30	2,32	876	—	—
76	Датировское	Финляндия	1942	1942	Питкяри	4,35	2,45	1103	—	—
77	Датировское	Мексика	1964—1965	1964—1965	Батум	9,36	0,70	430	—	—
78	Датировское	СССР	1960—1961	1960—1961	Донец	2,08	0,55	205	—	—
79	Датировское	СССР	1955—1957	1955—1957	Урал	5,26	2,30	280	—	—
80	Датировское	Нидерланды	1952	1952	Датировское	6,06	1,50	1500	—	—
81	Датировское	Дания	1952	1952	Датировское	3,54	3,54	1,50	—	—
82	Датировское	Бразилия	1952	1952	Датировское	20,30	1,90	1403	—	—
83	Датировское	Бразилия	1952	1952	Датировское	17,03	1,50	1,50	—	—
84	Датировское	Мозамбик	1977	1977	Датировское	10,00	51,80	2700	—	—
85	Датировское	Африка	1953	1953	Датировское	2,08	1,50	1,50	—	—
86	Датировское	Нидерланды	1957—1958	1957—1958	Датировское	15,10	11,50	1270	—	—

87	Датировское	СССР	1952	1952	Датировское	17,03	1,50	1,50	—	—
88	Датировское	СССР	1952	1952	Датировское	10,00	51,80	2700	—	—
89	Датировское	Финляндия	1942	1942	Питкяри	4,35	2,45	1103	—	—
90	Датировское	Мексика	1964—1965	1964—1965	Батум	9,36	0,70	430	—	—
91	Датировское	СССР	1960—1961	1960—1961	Донец	2,08	0,55	205	—	—
92	Датировское	СССР	1955—1957	1955—1957	Урал	5,26	2,30	280	—	—
93	Датировское	Нидерланды	1952	1952	Датировское	6,06	1,50	1500	—	—
94	Датировское	Дания	1952	1952	Датировское	3,54	3,54	1,50	—	—
95	Датировское	Бразилия	1952	1952	Датировское	20,30	1,90	1403	—	—
96	Датировское	Бразилия	1952	1952	Датировское	17,03	1,50	1,50	—	—
97	Датировское	Мозамбик	1977	1977	Датировское	10,00	51,80	2700	—	—
98	Датировское	Африка	1953	1953	Датировское	2,08	1,50	1,50	—	—
99	Датировское	Нидерланды	1957—1958	1957—1958	Датировское	15,10	11,50	1270	—	—
100	Датировское	СССР	1952	1952	Датировское	17,03	1,50	1,50	—	—
101	Датировское	СССР	1952	1952	Датировское	10,00	51,80	2700	—	—
102	Датировское	Финляндия	1942	1942	Питкяри	4,35	2,45	1103	—	—
103	Датировское	Мексика	1964—1965	1964—1965	Батум	9,36	0,70	430	—	—
104	Датировское	СССР	1960—1961	1960—1961	Донец	2,08	0,55	205	—	—
105	Датировское	СССР	1955—1957	1955—1957	Урал	5,26	2,30	280	—	—
106	Датировское	Нидерланды	1952	1952	Датировское	6,06	1,50	1500	—	—
107	Датировское	Дания	1952	1952	Датировское	3,54	3,54	1,50	—	—
108	Датировское	Бразилия	1952	1952	Датировское	20,30	1,90	1403	—	—
109	Датировское	Бразилия	1952	1952	Датировское	17,03	1,50	1,50	—	—
110	Датировское	Мозамбик	1977	1977	Датировское	10,00	51,80	2700	—	—
111	Датировское	Африка	1953	1953	Датировское	2,08	1,50	1,50	—	—

№ за- вод- ной ли- нии	Полное наименование завода	Страна	Годы на- чи- на- е- м стро- и- те- ль- ст- ва	Площадь заво- да, м ²	Общая площадь завода, м ²		Площадь заво- да, м ²	Всего заво- дов	Итого заво- дов	Всего заво- дов
					заво- да, м ²	заво- да, м ²				
112	Краснодарское	СССР	1953—1975	25	2,35	2,15	420	48	СНДН	Итого заво- дов
113	Красноярское	СССР	1957	100	73,20	30,40	2050	—	СНДН	Итого заво- дов
114	Красноярское	СССР	1958—1971	140	4,30	3,30	50	—	СНДН	Итого заво- дов
115	Красноярское	СССР	1958—1971	17	13,50	8,07	2052	—	СНДН	Итого заво- дов
116	Красноярское	СССР	1958—1971	3	4,72	1,35	643	—	СНДН	Итого заво- дов
117	Красноярское	СССР	1958—1971	20	58,00	31,30	6430	—	СНДН	Итого заво- дов
118	Красноярское	СССР	С 72	72	13,40	10,10	747	50	СНДН	Итого заво- дов
119	Красноярское	СССР	1952—1956	38	10,30	8,25	1870	1850	СНДН	Итого заво- дов
120	Красноярское	СССР	1957	9	4,00	3,00	100	—	СНДН	Итого заво- дов
121	Красноярское	СССР	С 72	120	60,75	28,84	9085	—	СНДН	Итого заво- дов
122	Красноярское	СССР	1957	75	57,20	10,52	2480	—	СНДН	Итого заво- дов
123	Красноярское	СССР	1957	119	20,83	6,16	804	—	СНДН	Итого заво- дов
124	Красноярское	СССР	1957	60	42,58	12,58	732	378	СНДН	Итого заво- дов
125	Красноярское	СССР	1957	30	6,12	5,12	75	56	СНДН	Итого заво- дов
126	Красноярское	СССР	1958	100	7,60	7,00	3805	3805	СНДН	Итого заво- дов
127	Красноярское	СССР	1957	—	—	—	—	—	СНДН	Итого заво- дов
128	Красноярское	СССР	1957—1972	85	3,00	1,07	556	234	СНДН	Итого заво- дов
129	Красноярское	СССР	1957—1971	18	2,00	1,00	417	—	СНДН	Итого заво- дов
130	Красноярское	СССР	1958—1963	40	1,20	1,20	444	—	СНДН	Итого заво- дов

131	Красноярское	СССР	1957	140	3,70	4,10	170	—	СНДН	Итого заво- дов
132	Красноярское	СССР	1957	35	13,10	11,60	800	—	СНДН	Итого заво- дов
133	Красноярское	СССР	1957	110	7,25	6,56	290	—	СНДН	Итого заво- дов
134	Красноярское	СССР	1957	130	10,42	10,42	907	—	СНДН	Итого заво- дов
135	Красноярское	СССР	1957	43	1,70	1,70	600	—	СНДН	Итого заво- дов
136	Красноярское	СССР	1957	80	8,15	10,15	538	—	СНДН	Итого заво- дов
137	Красноярское	СССР	1957—1974	25	2,00	2,00	250	—	СНДН	Итого заво- дов
138	Красноярское	СССР	1958	74	6,52	0,80	560	—	СНДН	Итого заво- дов
139	Красноярское	СССР	1958—1978	170	30,75	32,52	651	—	СНДН	Итого заво- дов
140	Красноярское	СССР	1973—1978	225	24,07	14,80	445	424	СНДН	Итого заво- дов
141	Красноярское	СССР	1959	6	4,88	0,70	530	320	СНДН	Итого заво- дов
142	Красноярское	СССР	1953—1959	52	15,07	7,40	365	—	СНДН	Итого заво- дов
143	Красноярское	СССР	1957	100	1,58	1,10	100	—	СНДН	Итого заво- дов
144	Красноярское	СССР	1975	16	10,34	5,70	2740	—	СНДН	Итого заво- дов
145	Красноярское	СССР	1952—1973	140	3,55	2,50	63	—	СНДН	Итого заво- дов
146	Красноярское	СССР	1941	30	1,40	0,14	280	—	СНДН	Итого заво- дов
147	Красноярское	СССР	1940	130	0,67	0,67	297	207	СНДН	Итого заво- дов
148	Красноярское	СССР	1958	130	11,55	5,00	286	—	СНДН	Итого заво- дов
149	Красноярское	СССР	1944	2,00	0,71	0,71	300	114	СНДН	Итого заво- дов
150	Красноярское	СССР	1970—1975	70	7,20	4,70	370	—	СНДН	Итого заво- дов
151	Красноярское	СССР	1965	35	2,55	1,07	410	—	СНДН	Итого заво- дов
152	Красноярское	СССР	1970	95	137,00	74,00	5120	—	СНДН	Итого заво- дов

Продолжение (продолжение)

№	Имя и фамилия защитника	Страна	Рект. место	Годы экспе- диции	Полное число человек	Объем работы		Полное число человек	Полное число человек	Данные по экспедиции	Годы исследования
						пол- ное	пол- ное				
153	Генерал-майор (Малышев)	Мексика	Грехальен	1908—1908	130	8,20	233	170	—	20	1908
154	Челак	Канада	Нельсон	1909	100	22,20	—	800	450	—	1909
155	Нельсон	Канада	Рей	Стр.	10	4,40	—	400	—	—	1909
156	Челак	США	Кана	Стр.	10	12,10	4,30	2500	—	20	1909
157	Нельсон	Канада	Нельсон	1909	25	12,10	4,30	450	—	40	1909
158	Нельсон	США	Ор.	1909—1909	20	8,20	4,40	1070	—	500	1909
159	Челак	США	Пол	1909	30	10,10	4,40	100	—	70	1909
160	Челак	Танган	Пол	1909—1909	40	1,10	—	100	—	100	1909
161	Ор.	США	Мини	1909	75	20,10	20,10	1500	—	400	1909
162	Ор.	США	Рей	1909	3	5,10	1,00	1800	—	—	1909
163	Ор.	США	Сур.	1909—1909	17	15,70	12,10	900	—	100	1909
164	Ор.	Канада, США	С. Мексика, с. О.	1909	25	20,10	20,10	1000	—	300	1909
165	Ор.	Австралия	Ор.	1909—1909	30	5,10	5,10	720	—	100	1909
166	Ор.	США	Фин	1909	200	4,40	5,10	60	—	100	1909
167	Ор.	Австралия	Жагуар	1909	50	5,00	2,10	400	—	—	1909
168	Пол	Фин	Пол	1909	100	2,10	—	100	—	—	1909
169	Пол	Канада	Пол	1909	40	5,40	—	100	—	—	1909
170	Пол	США	Пол	1909	40	1,10	4,40	375	—	—	1909

171	Перси	Швейцария	1981	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,20	3,20	Нет данных	35	3,2
-----	-------	-----------	------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	------	------	------------	----	-----

Код страны	Наименование координирующей	Страна	Расс. место	Период исследования годы	Средняя температура воздуха, градусы	Объем водосбора, млн м ³		Площадь архива, км ²	Данные по поверхности земли	Виды наименований экологических
						на поверхности	в глубине			
194	Сал-Симон	Бразилия	Парагвай	Стр.	110	12,34	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Э
195	Саратогия	СССР	Волга	1907—1960	45	12,37	1,75	193	353	ЭС, ПВО
196	Сата	Куба	Санта-Спиритус	1975	25	1,02	0,59	Нет данных	Нет данных	И
197	Сатсвире	Швейцария	Стур-Пурвал	1938	27	Нет данных	1,24	6	Нет данных	Э
198	Сат-Самуил	Канада	Сент-Самуил	1960—1968	58	9,86	2,40	447	200	ЭОА
199	Самска	СССР	Восток	Стр.	220	20,43	14,07	647	210	ЭС, СПО
200	Сотервас	СССР	Самска	1965	5	4,70	4,00	815	48	ЭОС
201	Сотервал	Финляндия	Кемелла	1967	20	1,30	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Э
202	Селнете	Мали	Самска	Стр.	207	2,00	8	4,40	Нет данных	ЭОС
203	Сент-Бен	Канада	Тунисск	1958	35	3,37	8	951	147	ЭА
204	Сент-Джон (Иль-Мартин)	Канада	Остерб	1962	20	5,37	5,37	Нет данных	Нет данных	Э
205	Саргон-Гуане	Сальвадор	Дане	Стр.	72	1,43	1,43	135	35	Э
206	Саргон-Корона	Аргентина	Нарва	1929—1971	20	43,40	3,00	607	55	ЭИ
207	Сар-Потон	Франция	Доран	1960	191	1,27	4,15	28	8	Э
208	Самска	Китай	Самска	1960	100	23,62	8,80	880	8	ЭА
209	Самска	Китай	Самска	1966	130	43,90	3,10	880	8	ЭА
210	Сар-Энт	Танзания	Мил-Нил	1972	900	13,30	8,80	959	130	ЭОА
211	Сабрава	Бразилия	Сам-Франсуа	Стр.	40	34,20	Нет данных	2100	Нет данных	ЭОБ
212	Сомска	Южная Корея	Хан	1973	115	2,10	8	8	Нет данных	ЭОАВ

213	Сотон Уит	США	Сотон Уит	1952	12	8,27	Нет данных	Нет данных	Нет данных	А
214	Сотон	Гвинея	Сотон	Стр.	125	17,20	3,80	880	8	Э
215	Сотон	Швеция	Сотон-Пурвал	1929—1944	80	5,60	2,30	Нет данных	Нет данных	Э
216	Сотон	КНДР, Корея	Доран	1960	90	12,00	7,50	230	120	Э
217	Сам-Рабери	США	Амстердам	1961	85	5,52	6,49	435	Нет данных	ЭАВ
218	Тавон	США	Тавон	1974	2	10,20	1,50	480	8	ТН
219	Тавон-Морис	Канада	Тавон	1964	115	1,50	1,50	100	Нет данных	Э
220	Тавон	Индия, Пакистан	Инд	1978	130	15,70	6,00	280	50	ЭИИ
221	Тавон-Сам	США	Политский Блок	1963	25	5,37	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Э
222	Тавон (Давон)	США	Ред-Ривер	1943	25	8,81	5,45	576	8	ЭОА
223	Тавон (Пирок)	Малайзия	Пирок	1977	415	5,70	1,40	100	80	Э
224	Тавон	США	Самска	1957	55	3,27	3,27	479	Нет данных	ЭОБ
225	Тавон (Сотон-Уит)	США	Тавон-Крич	1972	15	5,12	Нет данных	Нет данных	10	ЭОБ
226	Тавон-Сотон	СССР	Нарва	1973	180	18,30	14,00	264	65	ЭОА
227	Тавон-Сотон	Бразилия	Сам-Франсуа	1960	70	16,15	15,00	1150	120	ЭОС
228	Тавон-Кейна	США	Кейна-Кейна	1965	20	18,03	Нет данных	Нет данных	Нет данных	А
229	Тавон-Кейна	Дания	Тавон-Кейна	1967	45	4,54	Нет данных	378	80	ЭИ
230	Тавон-Кейна	Вьетнам	Тавон	1963	15	3,35	2,18	Нет данных	Нет данных	И
231	Тавон-Кейна	СССР	Амстердам	Стр.	13	7,36	5,00	780	12	ЭОСР
232	Тавон-Кейна	США	Фон	1943	Не- данные	0,72	0,72	808	371	ЭБ
233	Тавон	США	Тавон	1966	15	1,42	0,45	273	120	ЭОА
234	Тавон	США	Максика	1984	3	0,80	0,80	418	582	ЭОА
235	Тавон	Индия	Тавон	1975	65	5,54	7,00	516	110	ЭОСР
236	Тавон	СССР	Амстердам	1974—1977	82	50,50	2,77	1870	300	ЭОСР

№ вод- зритель- ной	Название водохранилища	Страна	Год, год	Годы за- везда вод- охранилища	Средняя глубина, м		Объем водос- бора, км³		Площадь затопляе- мых земель	Длина затопляе- мых земель, км	Виды исполь- зования
					глубина	ширина	глубина	ширина			
237	Матиг-А	Казах	Усть-Тара	Стр.	120	2,42	2,42	1,30	0,74	Нет данных	Э
238	Фатхад-Лейк	США	Фатхад, оз. Фатхад	1938	3	1,50	1,50	1,30	5,24	5,24	НИЭА
239	Форт-Лейк	США	Миссури	1939	75	23,31	17,14	1,30	—	—	НИЭА
240	Орт-Ривер	США	Миссури	1856	30	7,31	7,31	1,30	—	—	НИЭА
241	Форт-Лейк (Грин-Клиф)	США	Миссури	1941	100	11,79	6,45	1,30	—	—	НИЭА
242	Форт-Лейк	Бразилия	Риу-Гранди	1942—1945	120	21,38	15,00	1,30	—	—	ЭА
243	Форт-Лейк	Аргентина	Форт-Лейк	Стр.	120	2,50	2,50	1,30	—	—	Э
244	Форт-Лейк	Китай	Сунгари	1937—1938	90	10,30	3,00	1,30	—	—	ЭА
245	Форт-Лейк	США, Мексика	Рио-Гранде	1938	40	5,12	4,04	1,30	—	—	ЭА
246	Хасанов	Ирак	Пальмовый оз. Басра	1947	10	3,28	2,50	1,30	—	—	ЭА
247	Хасанов	СССР	Хасанов, оз. Хасанов	1970—1975	50	25,32	17,30	1,30	—	—	ЭА
248	Хасанов	ЮАР	Оранжевая	1971	80	3,00	1,00	1,30	—	—	ЭА
249	Хасанов	Индия	Малхари	1966	40	5,14	5,70	1,30	—	—	ЭА
250	Хасанов	Турция	Коргал-Ирлик	1975—1979	75	3,98	2,00	1,30	—	—	ЭА
251	Хасанов	СССР	Лен	1972—1973	20	23,80	11,54	1,30	—	—	ЭА
252	Хасанов	СССР	Сарыарк	1977—1978	34	5,70	3,70	1,30	—	—	ЭА
253	Хасанов	СССР	Волга	Стр.	15	13,55	5,70	1,30	—	—	ЭА
254	Хасанов	Казах	Черный	1971	14	32,01	25,00	1,30	—	—	ЭА

6-1071

№ вод- зритель- ной	Название водохранилища	Страна	Год, год	Годы за- везда вод- охранилища	Средняя глубина, м		Объем водос- бора, км³		Площадь затопляе- мых земель	Длина затопляе- мых земель, км	Виды исполь- зования
					глубина	ширина	глубина	ширина			
255	Шаранг	Турция	Шаранг	1970	90	6,80	6,80	1,30	—	—	ЭА
256	Шаранг	США	Сарганово	1949	145	5,81	5,81	1,30	—	—	НИЭА
257	Шаранг (Чир-Коргал)	СССР	Шаранг, оз. Шаранг	1948—1949	15	6,51	1,95	1,30	—	—	ЭА
258	Шаранг	Индия	Курна	1977—1978	135	6,75	7,72	1,30	—	—	НИЭА
259	Шаранг (Лейк-1)	США	Шаранг	1954	100	1,30	1,30	1,30	—	—	НИЭА
260	Шаранг (Лейк-2)	США	Шаранг	1953	100	1,30	1,30	1,30	—	—	НИЭА
261	Шаранг (Лейк-3)	Аргентина	Шаранг	1973—1975	65	10,20	2,40	1,30	—	—	ЭА
262	Шаранг	Австралия	Шаранг	1958	110	4,80	4,80	1,30	—	—	ЭА
263	Шаранг	Финляндия	Шаранг	1950	10	2,84	2,84	1,30	—	—	ЭА
264	Шаранг	США	Шаранг	1955	3	1,05	1,02	1,30	—	—	ЭА
265	Шаранг	СССР	Шаранг, оз. Шаранг	Стр.	10	3,31	1,37	1,30	—	—	ЭА

Г. И. И. И.

* Для большинства водохранилищ, указанных в таблице, данные о годах ввода в эксплуатацию и эксплуатации.

** Данные о годах ввода в эксплуатацию даны по 1979, по состоянию на 1 января 1980 года.

*** Данные о годах ввода в эксплуатацию даны по 1979, по состоянию на 1 января 1980 года.

**** Данные о годах ввода в эксплуатацию даны по 1979, по состоянию на 1 января 1980 года.

***** Данные о годах ввода в эксплуатацию даны по 1979, по состоянию на 1 января 1980 года.

***** Данные о годах ввода в эксплуатацию даны по 1979, по состоянию на 1 января 1980 года.

***** Данные о годах ввода в эксплуатацию даны по 1979, по состоянию на 1 января 1980 года.

***** Данные о годах ввода в эксплуатацию даны по 1979, по состоянию на 1 января 1980 года.

***** Данные о годах ввода в эксплуатацию даны по 1979, по состоянию на 1 января 1980 года.

***** Данные о годах ввода в эксплуатацию даны по 1979, по состоянию на 1 января 1980 года.

***** Данные о годах ввода в эксплуатацию даны по 1979, по состоянию на 1 января 1980 года.

- Авдеев В. Н. Термическая классификация скелетных швер Уверенных широт. В кн.: Природа и хозяйственное использование швер Лесоводство и гидроэнергетика. Сост. Л. Д. Изд-во ИГУ, 1971.
- Авакян А. Б. Проблемы создания и комплексного использования водохранилищ в СССР.— Водные ресурсы, 1972, № 1.
- Авакян А. Б., Овчинникова С. П. Уточнение данных о водохранилищах мира.— Гидротехническое строительство, 1971, № 8.
- Авакян А. Б., Овчинникова С. П., Шаронов В. А., Яковлева В. Б. Породы глинистого шверного типа.— В кн.: Проблемы регулирования и использования водных ресурсов. М.: Наука, 1973.
- Авакян А. Б., Овчинникова С. П., Яковлева В. Б. Уточненные особенности создания и комплексного использования водохранилищ и разливочных стрелок. Труды координационных совещаний по гидроэнергетике, 1973, вып. 30.
- Авакян А. Б., Саломонян В. П. Аккумуляция рибонуклеиновых кислот в шверных водохранилищах. В кн.: Вопросы питательных веществ водных ресурсов. М.: Институт географии АН СССР, 1976.
- Авакян А. Б., Шаронов В. А. О классификации водохранилищ гидроэнергетической СССР.— Изв. ВГО, 1969, т. 82, вып. 6.
- Авакян А. Б., Шаронов В. А. Водохранилища гидроэнергетической СССР. М.: Геоиздат, 1962.
- Авакян А. Б., Шаронов В. А. Водохранилища гидроэнергетической СССР. Изд. 2-е. М.: Энергия, 1968.
- Авакян А. Б., Шаронов В. А. Основные данные о водохранилищах действующих и строящихся гидроэнергетических.— Гидротехническое строительство, 1970, № 1.
- Авакян А. Б., Шаронов В. А. Водохранилища гидроэнергетической СССР. Изд. 3-е. М.: Энергия, 1977.
- Авакян А. Б., Яковлева В. Б. Проблемы регулирования использования водохранилищ.— Водные ресурсы, 1973, № 6.
- Авакян А. Б., Яковлева В. Б. Перспективы комплексного использования водохранилищ.— Гидротехническое строительство, 1976, № 12.
- Агаев О. А. Гидроэнергетика. М.: Гидротехиздат, 1955.
- Аджиев К. А., Есенов У., Худиев П. А. Некоторые результаты заповедия швер р. Иртиш популяции Бухтарминского водохранилища.— В кн.: Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. Азия-Латина, 1974, вып. 11.
- Аджиев С. А. О фитозахвате Кайракумского водохранилища на Сафари.— Изв. АН УзССР. Физико-матем. науки, 1963, № 3.
- Аджиев С. А. Особенности развития фитозахвата в Кайракумском водохранилище.— В кн.: Гидроэнергетика и гидроэнергетика. Душанбе: Дониш, 1968.
- Аджиев С. А. Основные сведения о существующих, строящихся и проектируемых водохранилищах СССР. Изв. ГИИ(ИОП), 1951, т. 50.
- Барсуков У. А. Исследования биологического швер р. Волга у г. Астрахань.— Труды Каспийского, 1971, т. 26.
- Баймуров В. А. Водные ресурсы и водохозяйственные расчеты. Л.: Гидротехиздат, 1961.
- Баймуров С. Г., Востряков П. Р., Шаронов В. М. Изменение природных условий в Средней Оби после строительства Новосибирской ГЭС. Новосибирск: Наука, 1973.
- Белов Н. В., Колотильников Л. С. Зоологическое швер: швер и швер (Саратовская область). М.: Наука, 1973.

- тома в 1966-1968 гг. — Труды биологической экспедиции Саратовского университета по изучению Волгоградского и Саратовского водохранилищ. Саратов, 1973, т. 3.
- Басаченко З. М. Влияние зарегулирования водного стока р. Волги на гидрологический режим ее нижнего течения и дельты. Тезисы докладов IV Всесоюзного симпозиума «Совет. Гидрология и качество вод». Ласт. научно-исслед. Парк, 1977.
- Белобородов Л. А. Соотношение биоты водохранилищ на водоразделе бассейнов его существования. Биологический режим и рыбохозяйственное использование Новосибирского водохранилища. Новосибирск: Наука, 1976.
- Белогородов М. В. Инженерная задача на водохранилищах крупных гидроэлектростанций. М.: Гостехиздат, 1958.
- Белоконь Н. П. Микроклиматический режим Кайраккумского водохранилища. ДАН УзССР, 1968, т. 11, вып. 5.
- Белобородов Н. Н. Первичная продукция в створовском водохранилище. Кайраккумское водохранилище — Экологический сборник, к. 1. Душанбе: Дониш, 1976.
- Белобородов Б. Б. Гидрологический режим водохранилища. М.: Транспорт, 1964.
- Борисов А. П., Чистиков В. М. Горючие угля в зоне водохранилища. М.: Изд-во Машинного РСФСР, 1966.
- Бородин Н. Д., Любим П. А., Мухомов С. М. Белое Кутузовское водохранилище летом 1972 г. — В кн.: Спора, наука и конформация. Волго. Л.: Наука, 1974.
- Ботрова Н. В. Гидрологические процессы в дельте Волги и в водохранилищах Волжского каскада. Л.: Наука, 1970.
- Бугров Н. П., Зинченко Н. А., Кудряв В. Н. Понятие отложения биогенных водохранилищ. Т.: Наука, 1975.
- Буров Н. В., Борзов М. А. Водохранилища Волги и особенности их режима как фактора, обуславливающего биологические процессы. — В кн.: Биологические продуктивные процессы в водоемах Волги. Л.: Наука, 1976.
- Васильев каскад. Vasiliev, N. K. Sverdlovsk A.M., 1968.
- Вендров С. Л. О динамике береговой зоны Приамурского водохранилища. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1955, № 5.
- Вендров С. Л. О некоторых географических особенностях природы крупных водохранилищ. — Изв. Всесоюз. геогр. о-ва, 1959, т. 91, вып. 4.
- Вендров С. Л. Проблемы рыбохозяйственного использования водохранилищ речных систем. Л.: Гидрометиздат, 1970.
- Вендров С. Л., Дьяченко К. Н. Водохранилища и окружающая природная среда. М.: Наука, 1976.
- Вендров С. Л., Малин Я. К. Опыт определения влияния крупных водохранилищ на местный климат. — Изв. АН СССР. Серия геогр., 1964, № 4.
- Вершинин Н. В., Чернышова Т. В. Корюшье хозяйство рыб Куйбисского водохранилища. — Тезисы II съезда ВГО. Куйбис, 1970.
- Ветвишвили М. И. Изменение кормовой базы Каспийского водохранилища в связи с климатическими изменениями. — В кн.: Круговорот веществ и энергии в природе, 1977.
- Виноградов Б. Л. Космические методы изучения природной среды. Л.: Гидрометиздат, 1976.
- Виноградов Б. В., Кондратьев К. И. Космические методы исследования. Т.: Гидрометиздат, 1971.
- Виттер Н. А. Историко-географическое введение в экономическую географию зарубежного мира. М.: Географизд, 1963.
- Владимирский С. А. Влияние водохранилищ на почву. — Почвоведение, 1958, № 6.
- Влияние водохранилищ, лесной зоны на прилегающие территории. М.: Наука, 1970.
- Волжский каскад. Гидроэлектростанции. М.: МПХ, 1968.
- Водохранилища Волжского каскада. М.: Материалы к магнитной географии гидрологической характеристики сорпированных водохранилищ. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1968.
- Воловский П. А. Продуктивность лугов в тайге Волги в связи с изменением водного режима в нижнем бассейне Тихвинской ГЭС. — В кн.: Озера и водоемы. М.: Наука, 1976.

- Музыка Г. Я., Старцева З. Н. К вопросу об экологичности качества воды с помощью спутниковых наблюдений. — Водные ресурсы, 1975, № 5.
- Мурзобаев Д. М. Гидробиология водных водослов Северного Таджикистана: Автореф. канд. дис. Ташкент, 1969.
- Мурзобаев А. П. Особенности формирования биотического продуктивности водохранилищ Африки. — Водные ресурсы, 1974, № 3.
- Мурзин Н. Х., Прудский Н. А., Селезнев В. В., Шендеров П. П. Биологические характеристики Камчатской системы водохранилищ. — Тезисы докл. III съезда ВГБО, Рига, 1976.
- Мухомедов А. М. О патологии водохранилищ Узбекистана и сопоставлении рекуплики Средней Азии. — В кн.: Биологические процессы в морях и континентальных водоемах. Калинин: Штудия, 1970.
- Николаева Г. П. Тяжелые металлы (марганец, цинк, медь) в донных осадках водохранилищ. — Тезисы докл. IV Всесоюз. симпозиума совет. гидрохимия и качество вод. Минск: Наука, 1977.
- Николаева Т. К. Биотический баланс и соотношение биологических ресурсов Полтавского водохранилища. — Информ. бид. «Биология внутренних вод», 1976, № 31.
- Николаева Т. К., Виноградова В. П., Герасимова И. А., Демченко В. В., Закира Л. Л., Нечаевская С. П. Годовая продукция Полтавского водохранилища на разных трофических уровнях и ее соотношение с нормой рыбной. — Тезисы докл. III съезда ВГБО, Рига, 1976.
- Нойков А. А. Количественное распределение биоты на шельфе и вершинах горизонтальных склонов донных частей Берингова моря. — Труды ВНИРО, 1963, т. 48.
- Ноллер Ф. Я. Искусственные водохранилища мира. — Гидротехническое строительство, 1946, № 4.
- Николаев И. П. О некоторых типах изверженных водосистем по их трофической структуре (на примере больших озер Северо-Запада СССР). — Водные ресурсы, 1976, № 4.
- Николаев Н. М. Искусственные землерисы. — Природа, 1973, № 7.
- Перев. Парис М., Романов В. И., Кудряков В. М., Асорова Публикация. — В кн.: Микробиологические процессы в донных осадках водохранилищ. — В кн.: Биологические процессы в морях и континентальных водоемах. Калинин: Штудия, 1970.
- Поддубный А. Г. Биологические процессы в корках и континентальных водоемах. — Тезисы докл. II съезда ВГБО, Калинин: Штудия, 1970.
- Поддубный М. А., Гринь В. Г., Носовичев М. Ф. Итоги изучения гидробиологического режима пресных водоемов-охладителей в СССР. — Гидробиол. журн., 1976, т. 6, № 2.
- Поддубный П. Л. Гидропродуктивный эффект водоемов донных рек и его биологическое значение. В кн.: Воды-1. Куйбышевское км. 1979.
- Поддубный Т. А. Составление донной фауны Невельского водохранилища на 32 год со строительства. — В кн.: Фауна, фауна и экология водоемов. Рязань, 1974.
- Поддубный А. Г. Экологическая топография водоемов рыб в водохранилищах. Л.: Наука, 1971.
- Поддубный А. Г., Носовичев Л. Е. Основные результаты эволюционных исследований на водохранилищах Персии и Средней Азии. — В кн.: Биологические процессы в водохранилищах. М.: Наука, 1965.
- Протв Н. В. Деформация речных русел в гидротехническом строительстве. Л.: Гидротехиздат, 1965.
- Права и обязанности предприятий по производству, передаче и распределению электроэнергии по отношению к публично-правовым коллективам и частным лицам. Либерийская экономика: коллектив М.; Коллектив по электроснабжению Restricted EP (WP 1), Working Paper, N 7, 1961.
- Проблемы А. Д. Экономические факторы развития фитофлоры в донных осадках водохранилищ. — В кн.: Гидробиологические процессы в донных осадках водохранилищ. — В кн.: Биологические процессы в морях и континентальных водоемах. Калинин: Штудия, 1970.
- Резека А. Ю. Динамика криогидных комплексов в сфере влияния водохранилищ. Автореф. канд. дис. М., 1968. В изд.: ИГАН.
- Решер Н. К. Экологический анализ водохранилища в зоне влияния гидроэнергии. — В кн.: Экология организмов водохранилищ-охладителей. Л.: Наука, 1973, стр. 27-130.
- Решер Н. К. Экологический анализ водохранилища и водоемов из пяти антропогенных факторов. — Тезисы докл. III съезда ВГБО, Рига, 1976.
- Решер Н. К. Микрофлора. — В кн.: Биологические процессы в водохранилищах. Тезисы докл. Съезда ВГБО, Рига, 1976.
- Решер Н. К. Численность и продукция бактерий в водохранилищах. — В кн.: Биологические процессы в водохранилищах. Тезисы докл. Съезда ВГБО, Рига, 1976.
- Решер Н. К. Термический режим водохранилища. М.: Наука, 1975.
- Решер Н. К. Изменение численности бактерий под воздействием антропогенного фактора. М.: Наука, 1977.
- Решер Н. К. Изменение численности бактерий под воздействием антропогенного фактора. М.: Наука, 1977.
- Решер Н. К. Регулирование численности бактерий в водохранилищах. М.: Энергия, 1966.
- Решер Н. К. Регулирование численности бактерий в водохранилищах и его значение. М.: Наука, 1972.
- Саломов М. А. Микробиологические процессы в Минскаурском водохранилище. Труды Ин-та биол. водохр. АН СССР, 1966, вып. 3 (6).
- Саломов В. П. Перспективы применения биологических методов для изучения водохранилищ. — Труды гидрохимического совещания по гидрохимии, 1977, вып. 122.
- Саломов В. Ф. Энергетическое строительство. М.: Энергия, 1968.
- Саломов В. А. Методы исследования эффективности использования водных ресурсов. — Водные ресурсы, 1969, № 5.
- Саломов А. А. О влиянии водохранилища на окружающую среду. Калинин: Калининский ГЭС. — В кн.: Сб. работ по Калининскому водохр. Лусан-де-Делли, 1963, т. 24.
- Саломов В. С. Водохранилища СССР (обзор и анализ научно-технической литературы). М.: ВГО, 1974.
- Саломов П. Ю. Донная фауна и ее биологическое значение в илловых водохранилищах бассейна Волги. — В кн.: Комплексное использование водохранилищ. М.: Наука, 1971, вып. 1.
- Саломов П. Ю. Экология донных биологических водохранилищ. — В кн.: Биологические процессы в водохранилищах. Тезисы докл. Съезда ВГБО, Рига, 1976.
- Саломов Ю. П. Биологическая продуктивность. — В кн.: Биологические процессы в водохранилищах. Тезисы докл. Съезда ВГБО, Рига, 1976.
- Саломов В. С. Динамика численности и ризм рыб в донных водохранилищах. Тезисы докл. Съезда ВГБО, Рига, 1976.
- Саломов Т. П. Первичная продукция биотического вещества и деградация органического вещества в Гурьевском водохранилище. — Гидробиол. журн., 1973, т. 9, № 3.
- Саломов Р. П. Промысел рыбы в водохранилищах Минскаурского водохранилища. — Труды АН АССР, Сер. геогр. и земле, 1968, № 1.
- Саломов А. В., Саломов Л. А., Цев В. Я. Антропогенное воздействие на водохранилища, оценка водных и методов их регулирования. — Водные ресурсы, 1975, № 1.
- Саломов А. В., Цев В. Я., Саломов Л. А. Техно-экологическое состояние водохранилищ, реконструкция и режим эксплуатации водохранилищ. ГЭС. Киев: Наукова думка, 1974.
- Саломов И. И., Кудряков В. А. Качество воды водохранилищ. — В кн.: Руководство по гидрохимии водохранилищ. М.: Медицина, 1975.

- рилин Мемкут, Якуч конф по и-рским изд., англ.изд. водохранилищ на берегу с хранилищах окружающей территории. Калинин, 1976.
- Фролова А. В. Улучшение воды в Учинском естественном водохранилище.—В кн.: Гигиена водохранилищ. М.: Медицина, 1981.
- Халилов С. Х. Количественная характеристика фитопланктона Царькинского водохранилища.—В кн.: Флора и фауна степных растений Средней Азии. Ташкент: Ариан, 1972.
- Щекина Н. А. Растительность в естественные кормовые ресурсы Волги Актуальной войны и связи с зарегулированием стока Волги.—Ботанический журн., 1956, т. 41, вып. 3.
- Щекина Н. А. Растительность в естественные кормовые ресурсы Волго-Ахтубинской поймы и ее связь с зарегулированием стока Волги.—Ботанический журн., 1956, т. 41, вып. 3.
- Цырен А. Проблема обеспечения питьевой водой в СССР—СЭВ, «Изв. по водох. хозяйству», 1970, № 1.
- Чайковская Г. С. Фитомикробное учение Невгелюфского водохранилища, гидрологическое и Академическое.—В кн.: Водореслы и рыбы Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1970.
- Чернов Л. И. Зональные водные системы Амударьинского аквала. Автореферат канд. экон. Ташкент, 1972.
- Насир П. М. Фитопланктон водохранилища Молдавия. Куйбышев: Штиль, 1972.
- Шенер Л. И. Изменения условий при устьях в грядках бассейна гидротехники.—Водные ресурсы, 1974, № 6.
- Широков В. А. Планирование рационального использования водных ресурсов на территории и климата водоемов и их влияния на биологические процессы.—Вопросы географии, 1968, сб. 73.
- Широков В. А. Водохранилища как водный ресурс.—Водные ресурсы, 1973, № 3.
- Шендрок В. П. Сезонная и суточная динамика обитателей Камчатского водохранилища. Планы: Бюллетень основных сведений о состоянии
- любимой Средней Азии в Казахстане. Душанбе: Дониш, 1976.
- Широков В. М. Формирование берегов и донных крутых возвышений Сибири. Новосибирск: Наука, 1974.
- Шляпников П. И., Рыбальский Н. А. Экологоэкономическое исследование влияния температуры воды на организм человека.—Гигиена и санитария, 1971, № 3.
- Идемпетов К. К. Формирование, формирование и трансформация водных масс Германского водохранилища.—В кн.: Жизнь внутреннего водоема и факторы его загрязнения и самоочищения. М.: Наука, 1968.
- Землер В. А., Лобанов Н. Я. Температурный режим гидродинамической активности водоемов водохранилищ.—Материалы II юбилейного всесоюзного симпозиума. Выпуск 2. Москва, 1974.
- Энергетические ресурсы СССР. Гидроэнергетические ресурсы. М.: Наука, 1967.
- Эриксон В. С. Использование водных ресурсов Юго-Восточной Азии в Австралии. М.: Госгеоиздат, 1964.
- Яковлев Н. И. Макробиологическая характеристика некоторых водоемов Грузии. Автореферат канд. дис. Тбилиси, 1960.
- Яковлева А. И. Саратовское водохранилище.—Изв. ГИИОПР, 1975, т. 102.
- Якубов Р. А. Вопросы экологии и технологии водоснабжения. Труды Якут. сессии АНП СССР. М., 1967.
- Яковлев М. Ф., Набережные А. И., Чорак Ф. П., Владимирова М. З., Ермоленко Т. Д., Береза Т. Т. Биологические аспекты естественного самочищения Лубянского водохранилища.—Труды докл. III съезда ВГО. Пермь, 1976.
- Louge P., Lohrle G., Luragat G. S. Meeting Quebec's power needs for the eighties. Water Power and Dam Constr., 1976, vol. 28, N 7.
- Auelan A. B., Fortunato H. A. Les lacs de barrage du monde. Verh. Intern. Ver. Theor. und angew. Limnol., 1972, vol. 18.
- Babinski Z., Grzel M. Ziorniki zaprawe.—Geogr. szk., 1974, vol. 27, N 4.
- Baker C. D., Schmitz E. Food habits of adult gizzard and threadfin shad in two Ozark reservoirs.—In: Reservoir Fisheries and limnology, Washington, 1971.
- Bergelsdorf J. S. Standartne lösen Problem aus Schadensfälle mehrer sich genauer geologische Voruntersuchungen erforderlich. VDI Nachr., 1972, Bd. 28, N 33.
- Buckley G. J. Caracterizaci6n de la fauna e de la vegetacion de los embalses de Cuba.—Ser. forest., 1976, N 33.
- Brown A. K. Planning and evaluation of recreation on man-made lakes.—In: Man-Made Lakes. The Accra Symposium/Ed. G. T. Cheng. Ghana, 1969.
- Brown S. The Volta lake: some ecological observations on phytoplankton. Verh. Intern. Ver. Theor. und angew. Limnol., 1969, vol. 17.
- Brown R., Roth I. Changes in the bacteriophage bacteria of Volthake.—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.
- Bourget A. Le barrage de Tabqa et l'assèchement du bassin du Plaphale en Syrie. Rev. geogr. Lyon, 1974, vol. 49, N 4.
- Bowd C. B. The limnological role of aquatic macrophytes and their relationship to reservoir management.—Reserv. Fish. and Limnol., Washington, 1971.
- Caswell J. K., Symons J. M., Robert G. Research on recreational use of waterbodies and reservoirs.—J. AWWA, 1969, vol. 61, N 6.
- Chodnick W. J. Les effets de quelques facteurs d'environnement sur les barrages et les réserves.—12^e Congrès Grands Barrages, Mexico, 1976, vol. IV.
- Chemung Herinasuta, Ubatstana Dam complex, Thailand. In: Man-Made lakes and Human Health. London, 1975.
- Chenal F. ICOLD. XI International Congress on Large Dams. Madrid 1973, vol. IV, Q. 40.
- Chmelik J. K. Vyslavdy pldrac v CSSR.—Dejepis a zampis, 1966, vol. 8, N 9.
- Corran G. C. Thermal pollution—biological effects.—J. WPCF, 1971, vol. 43, N 6.
- Davis in Africa/Ed. N. Rubin, N. M. Warren. London: Frank Cass, 1968.

- Darrel J. Turner. Dams and ecology. — Civ. Eng. ASCE, 1971, September.
- Dean J. The role of the World Health Organization. — In: Man-Made Lakes and Human Health. London, 1970.
- Djerjević V., Porle V. Die Djerdap Kraftwerke und Schiffsanlange. — Wasserwirtschaft, 1970, Bd. 60, N 8.
- Donat J. Flusskraftwerke und Landschaft. — Österr. Wasserwirts., 1955, Bd. 7, N 11.
- Douglas J. I. A case study in income redistribution from reservoir construction. — Water Resour. Res., 1969, 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.
- Easer 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. — Bul. par. geogr., 1961, N 10—15.
- Fels E. Die Stauanlage und die Geographie. — Geogr. helv., 1965, vol. 20, N 4.
- Fels E. Das World Register of Dams. Wädigung, Winache, Ergänzungen. — Erde, 1967, Bd. 98, N 4.
- Fels E. Stauseen als Gegenstand geographische Forschung. — Mitt. geogr. München, 1960, Bd. 34.
- Fels E. Die grossen Stauseen der Erde. — Z. Wirtschaftsgeogr., 1970, Bd. 14, N 8.
- Fels E., Keller R. World register on man-made lakes. — In: Man-Made Lakes: Their problems and environmental effects. Washington, 1973.
- Fret D. G. Limnology in North America. Ed. D. G. Fret. Madison: Univ. Wisconsin Press, 1966.
- Fuchs H. Der Ausbau des unteren Rheins zwischen Aargau und Mündung. — Österr. Z. Elektrizitätswirts., 1955, Bd. 8, N 12.
- Gradenca P., Bryer A. Man-made lakes of Romania. 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 O. G., Viner A. B. Ecological stability in a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). — Proc. Roy. Soc. London B, 1973.
- Grongg H. Die Technisierung grosser Ströme in Verbindung mit der Wasserkraft. — Mitt. Inst. Wasserwirts. und Konstruktiv. Wasserbau Techn. Hochsch. Graz, 1974, Mitt. 20.
- Grongg H. Die grossen Stauseen der Erde. — Österr. Wasserwirts., 1975, Bd. 27, N 5/6.
- Guerrero R., Roda F., Abella C., Torrella F. Optimal growth temperatures and media parameters of bacterial communities from lakes of different trophic states. — In: Intern. Assoc. Theor. and Appl. Limnol. Proc. vol. 18. Colgr. Canada 1974. Stuttgart, 1975.
- Gulhoff N. D. Data of high dams in India. Simla, 1960, vol. 1-2.
- Gusta P. N., Ren P. S. Resettlement problem at Bhakra. — Bhagathi, 1964, vol. 11, N 2.
- Hause H. Zerschlossene Wasserwirtschaft im Zonenraum Harz. — Z. Geopolitik, 1956, Bd. 27, N 7.
- Harbeck G. E. Reservoirs in the United States. Washington: Govt. Print. Off., 1948.
- Harding D. Lake Kariya, the hydrology and development of fisheries. — In: Man-Made Lakes. London: New York, 1966.
- Hartung F. Altiranische Grosswasserbauten. — Wasser- und Energiewirts., 1972, Bd. 64, N 4.
- Hernandez-Loren J. El agua y la Revolución Mexicana. Ing. hidraul. Mex., 1969, vol. XXIII, N 4.
- Hilton T. E., Kraus P. J. 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 Greyill and San Luis Dams, California. — In: Man-Made Lakes: Their problems and environmental effects. Washington, 1973.
- Hudson N. Soil conservation. London: Batsford, 1971.
- Huret H. B., Bluck R. P., Simelku 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, 1970, vol. IV.
- Imsharov A. M. A. The Kojin Dam and health. — In: Man-Made Lakes and Human Health. London, 1973.
- Irvine W. H., Symons J. M., Roback G. G. Water quality in impoundment and modifications from desilting. — Reservoir Fish. Res. Symp. Athens, 1969.
- Jagiello T. Akcja wywłaszczeniowa prezydencja w sensu zbiornika w Giesey. — Gosp. wodn., 1970, vol. 36, N 6.
- Jackson R. A. Methods to analyse the effects of fluctuating reservoir water levels on shoreline recreation use. — Water Resour. Res., 1970, vol. 6, N 2.
- Jackson R. Recreation zoning and lake planning. — Town Plann. Rev., 1972, vol. 43, N 1.
- Jahar R. Kraftwerkprojekt Ostfriesland (Vennlinger - Gieselmer). — Österr. Z. Elektrizitätswirts., 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. — Reservoir Fish. Res. Symp., Washington, 1960.
- Kuttar 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.
- König H. W. Talsperrenbau in Einzugsgebiet der Ruhr — Betrieb und Überwachung. — Wasserwirtschaft, 1971, Bd. 61, N 5.
- Kraftwerkbau und Landschaftbild. Süle Stausee im Einsatz. — Universum 1964, Bd. 19, N 6.
- Kraus O. Von Schickel der Völsperntäuser. — Österr. Bd. 5, N 5/6.
- Krenkel P. A., Cowley W. A., Minch V. A. The effect of impoundment reservoirs on river waste assimilating capacity. — J. Water Pollut. Cont. Fed., 1965, vol. 37, N 9.
- Kruglana V. M. Chironomids as a component of aquatic communities. — Limnologia, 1971, vol. 8, N 1.
- Künstliche Seen als Wärmespeicher. — Wasserwirtschaft, 1975, Bd. 65, N 1.
- Leontow P. The Brokopondo research project, Surinam. — In: Man-Made Lakes. London: New York, 1966.
- Leontow P. The Brokopondo research project. — In: Man-Made Lakes and Human Health. London, 1970.
- Leubacher H. J. Ergänzung der Tatsachenstatistik der Bundesrepublik Deutschland von 1961. — Dtsch. geowiss. Mitt., 1969, N 6.
- Linhart J. Typologie brecht pletzinisch nadri. — Stud. geogr., 1966, N 1.
- Link H. Speicherseen der Alpen. Wasser- und Energiewirts., 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. J. F. Lagler. UNDP. FAO, Rome, 1969.
- Man-Made Lakes: The Accra Symposium. Ed. J. F. Lagler. Accra, 1969.
- Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects. Washington, D. C.: Amer. Geophys. Union, 1973.
- Martin R. O. R., Hannon R. J. Reservoirs in the United States. Geol. Surv. Washington, 1966.
- Marzoff G. R., Osborn J. Primary production in a Great Plains reservoir. — In: Intern. Assoc. Theor. and Appl. Limnol., Stuttgart, 1972, vol. 18, pt. 1.
- McCawley J. R., Varner H. L., Jones G. W., Magelson L. M., Marzoff G. R. ERTS I reservoirs monitoring in Kansas. — Remote sensing and water resources management. Urbana, Illinois, 1973.
- Marmel T. W. New world register of dams reveals construction trends. — Water Power, 1973, vol. 25, N 11.
- Marmel T. W. Dam building trends in North America. — Water Power and Dam Constr., 1976, vol. 28, N 2.

- Alchabetskiy, N. Preparatory works for dam construction: at LG-2.—Eng. and Contract. Res., 1975, vol. 88, N 8.
- Mordukhai-Boltovskoi Ph. D., Zakharenko N. A., Ekartzev W. A. Die Ausbreitung der Pflanzen und Tierwelt in den Stauseen der Wolga.—Intern. Assoc. Theor. and Appl. Limnol. Stuttgart, 1972, vol. 18, pt. 2.
- Murphy J. K., Streemant M., Runa Run M. S. Leakage investigations at the Bhandardara dam.—Water, Power and Dam Constr., 1970, vol. 28, N 9.
- Obras realizadas por las confederaciones hidrográficas.—Comité español de ríos y drenajes, 1960.
- Polach J., Szulich J., Wrobel S., Bombay M., Brodacki M., Dejda K., Krucinski W., Orlovski B., Skolka T. Limnological characteristics of the cascade of dam reservoirs on the Sula River, pt. 1. Aquatic organisms. Pol. arch. hydrobiol., 1975, vol. 22, N 2.
- Pechlauer R. Umweltschädigungen und Lebenswelt in alpinen Speicherseen.—Wasser und Abwasser, 1961.
- Prie T. Benthic fauna of a tropical man-made lake (Volta lake, Ghana, 1955—1965).—Arch. Hydrobiol., 1972, vol. 70, N 4.
- Proceeding of the NASA Earth Resources Survey Symposium, Houston Texas, 1975, vol. 1-3. Water Resources.
- Procházka J., Straškrabek V., Popošík J. Changes of some chemical constituents and bacterial numbers in Slapy Reservoir during eight years.—In: Hydrobiological studies 2. Prague: Acad. Publ. House, 1973.
- Rohde W., Poeschl V. Das Damskraftwerk am Elzener Tor-Lösung und Entschädlungsproblem sowie deren sanitätsche 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.
- Shawson A. V. Recreational uses of hydroelectric reservoirs.—Civ. Eng., 1963, vol. 33, N 8.
- Silvey J. K. G., Wgott J. J. 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. Hypolimnion aeration.—J. AWWA, 1971, vol. 63, N 1.
- Straškrabek V., Procházka J., Popošík 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 TRIS-1. Washington, 1973, Vol. 1-2.
- Szorgorjacht J. Veränderungen des geographischen Mittelwerts im Weichsel als Folge der Fällung des Wasseranbors in Wladawek.—Földt. int., 1974, Bd. 23, N 2.
- Tarbeta: The largest dam in the world.—Indian J. Power and River Valley Develop., 1971, vol. 21, N 1.
- Tennant D. L., Tumas R. C., Grass J. Physicochemical limnology of four reservoirs in southwest Nebraska.—Reserv. Fish. Res. Symp., 1970.
- The eleventh ICOLD congress, Madrid, P. 1.—Water Power, 1973, vol. 26, N 12.
- The Volta resettlement experience. London, 1970.
- Thomas N. O., Hurbach G. E. Reservoirs in the United States. Washington: Govt. Print. Off., 1956.
- Tondary G. A. Wasserkraftnutzung und Naturschutz.—Wasser und Energiewirt., 1966, Bd. 51, N 6-10.
- Tondary G. A. Talsperrenbau in der Tschechien.—Wasser und Energiewirt., 1966, Bd. 60, N 11.
- Tondary G. A. Probleme und Bedeutung der Wasserkraftnutzung in Hochgebirge.—Wasserwirtschaft, 1960, Bd. 58, N 2.
- Townsend G. H. Impact of the Benzie Dam on the Peace.—Alghasce Delta—J. Fish. Res. Board. Canada, 1973, vol. 32, N 1.
- Trefethen S. B. Künstliche Seen und Naturschutz in der USA. Umschau 1972, Bd. 72, N 17.
- TV.—Annu. Rept. Tennessee Valley authority for the fiscal year 1970, 1949, 1946, 1950, 1956, 1966, 1969.
- Varlet H. Barrages reservoirs. Paris 1966, vol. 1.
- Verley J. D., Albert C. Reptent growth of rainbow trout in Flaming Gorge reservoir during the first six years of impoundment.—In: Reserv. Fish. and Limnol. Washington, 1971.
- Vorabney R. S. Regional sedimentation or curves for India.—Indian J. Power and River Valley Develop., 1970, vol. 20, N 9.
- Weistbach Chr. Wasser vom Baue
- werk.—Wiss. und Fortschr., 1956, Bd. 6, N 12.
- Wozniak L. T., Pedyn F. C. Eutrophication assessment using remote sensing techniques.—In: Proceedings of the 8th International Symposium on Remote sensing of Environment Ann Arbor, Michigan, 1973.
- Wills 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.
- Zanker K. Verminnderung der Vordrängungsverluste 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. Н. Степанчиков, М. А. Фирсатов, В. А. Ширшов, В. Б. Яковлев	
Из истории создания водохранилищ	9
Учет водохранилищ и их изученность	16
Мировой фонд водохранилищ	20
Глава II	
ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И СОЦИАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ	
А. Б. Авакян	38
Значение водохранилищ для водоснабжения	38
Роль водохранилищ в борьбе с наводнениями	41
Регуляционное значение водохранилищ (с участием В. Б. Яковлева)	44
Противоположное значение водохранилищ	40
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. Н. Салтанов, М. А. Фирсатов, В. А. Ширшов	
Типология и классификация водохранилищ по отделению притоков и показателям	66
Тиснезация и классификация водохранилищ по воздействию параметров	72
Классификация водохранилищ по гидрологическому и гидробиологическому режимам	78
О типологии водохранилищ	82
Глава IV	
ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	84
В. А. Ширшов при участии В. А. Корнилова, В. М. Ширшова, Л. И. Заминер	
Повышение гидрографии территорий, Ширшов В. А.	84
Влияние водохранилищ на гидрологический режим рек, В. А. Ширшов	95
Формирование берегов и дна водохранилищ, В. А. Корнилов, В. А. Ширшов, В. Ширшов	103

Влияние водохранилищ на климат, грунтовые воды, почвы, растительность и животный мир, В. А. Корнилов, В. А. Ширшов	118
Влияние водохранилищ на состояние дриоты насаждений, Л. И. Заминер	130

Глава V

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕИНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ	135
Составитель главы Л. О. Заминер	
Бактериальные процессы, Л. А. Гук, Е. С. Кудрина	135
Фитопланктон, О. М. Косович	145
Высшая водная растительность, И. Л. Коренькова	151
Зоопланктон, Н. К. Ринкер	159
Зообентос, А. П. Муратов	165
Конечная продукция (рыбы), А. П. Муратов	173

Глава VI

КАЧЕСТВО ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ	181
А. П. Муратов, Л. О. Заминер, Л. И. Заминер	
Очистные процессы и понятия	181
Природный состав воды в водохранилищах	183
Санитарно-гигиенические воды	188
Антродуцированные загрязнения	190

Глава VII

МЕРОПРИЯТИЯ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ СОЗДАНИЕМ И ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ВОДОХРАНИЛИЩ	206
В. А. Ширшов	
Влияние водохранилищ на население и хозяйство	206
Особенности проектирования и осуществления мероприятий по созданию водохранилищ	215
Инженерные защитные мероприятия	224
Переселение жителей и переустройство сельского хозяйства, населения пунктов и коммунального	224
Подготовка лока водохранилищ и охраны окружающей среды	233

Глава VIII

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ	237
А. Б. Авакян, В. Н. Салтанов	
Альтернативное районирование, планировка и обустройство водохранилищ, А. Б. Авакян, В. Н. Салтанов	237
Дистанционные методы исследования и возможность их применения для изучения водохранилищ, В. Н. Салтанов	247
ЛИТЕРАТУРА	272

ВОДОХРАНИЛИЩА МИРА

Издание и печать
Института водных проблем АН СССР

Редактор издательства
В. Б. Трапезникова

Художник
Г. А. Астафьев

Художественный редактор
Н. П. Волгин

Технический редактор
Н. Н. Журикова

Корректоры Л. А. Сидорова, Л. В. Хоросникова

УДК № 18036

Серию и набор 29.11.78.

Подписано к печати 16.08.79

Т-0616. Формат 60х87 $\frac{1}{2}$.

Бумага типографская № 1

Гарнитура литературная

Печать шпатель.

Усл. печ. л. 10,5. Уч. изд. л. 20,1.

Учред. 527. Изд. Тираж 1000

Цена 2 р.30 к.

Издательство «Наука»

117921, ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства «Наука»

121000, Москва, Г-50, Кузнецкий мост, 10

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строчка	Печатается	Должно быть
28	Рис. 7А стр. 22 в угловых обводах челюсти	милл. м ² млрд. м ²	млн. м ² млн. м ²
120	20 кв.	Площ. в Асуэно; Калтеду ду Бери	Площ. в Асуэно; Калтеду ду Бери
133	2-й кол. стр. 13 кв.	Мадонгуша	Мадонгуша
204	2-й кол. стр. 1 кв.	Камалатте	Камалатте
205	2-й кол. стр. 6 кв.	Площ. Орей	Площ. Орей
206	4-й кол. 1 кв.	Стеца	Стеца
288	4-й кол. 7 кв.		

Ил. 4307. Водохранилища мира