

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ

ВОДОХРАНИЛИЩА МИРА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА

1979

Водохранилища мира. М.: Наука, 1979

В монографии охватывается обширный круг вопросов создания и использования водохранилищ, воздействия их на окружающую среду, формирования биопродукции и качества воды. Характеризуется распространение водохранилищ на земном шаре, особенности их гидротехники в разных странах мира, приводятся классификации водохранилищ по ряду признаков. По широкому охвату проблем и освещению их на примере разных стран эта монография — первая в отечественной литературе.

336732

Авторский коллектив:

А. В. АВАКИН, В. А. ШАРАНОВ, В. П. САЛТАНКИН,
М. А. ФОРТУНАТОВ, Б. А. КОРИНДОВ, А. П. МУСАТОВ,
С. П. ОВЧИННИКОВА, Л. О. ЭПШЕР, Л. И. ЭЛЬДИНГЕР,
В. Б. ИКОВАЛОВА, Л. З. ТАК, О. М. КОЖУВА,
Н. Л. КОРЕЛЯКОВА, Е. С. КУДРИНА, Л. П. ПОВОСЕЛОВА,
И. К. РИББЕР, В. М. ШИРОКОВА

Ответственные редакторы:

чл.-кор. АН СССР Г. В. ВОРОПАТОВ
доктор географических наук С. Л. ВЕНДРОВ

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 водосбора в восемь раз. В это же время были созданы все крупнейшие водохранилища с объемом более 50 млрд. м³ каждое.

Водохранилища позволяют перераспределять сток во времени, а совместно с каналами и другими водопроводящими сооружениями — 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 нагула рыбы и т. п. Создание водохранилищ непосредственно затрагивает интересы многих миллионов людей.

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

Создание крупных водохранилищ в последние десятилетия, как правило, осуществлялось в целях развития гидроэнергетики и ирригации. Эти отрасли хозяйства не только финансировали строительство гидроузлов, но и принимали на себя расходы, связанные с созданием водохранилищ. Поэтому параметры и режим работы водохранилищ выбирались в первую очередь с учетом удовлетворения 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 противопаводочные, противоэрозийные и противопесчаные использования водохранилищ.

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

От естественных пресноводных водоемов водохранилища отличаются рядом важных особенностей:

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

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

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

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

5) водохранилища выступают в двух системах связей: связей природных и связей обществу-технологических, 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 скывается влияние водохранилищ, и определение мероприятий, необходимых для сведения к минимуму или исключения отрицательных и для наиболее эффективного использования положительных последствий создания водохранилищ.

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

Установить необходимость и экономическую эффективность создания того или иного водохранилища можно, лишь изучив его значение для природы и хозяйства 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 бывают различными в отношении: как места расположения гидроузла и водохранилища, так и степени зарегулирования стока, а следовательно, и параметров водохранилища и режима их эксплуатации. Поэтому проектирование и использование водохранилищ относятся к числу сложнейших комплексных хозяйственных проблем.

Принимая во внимание насущную необходимость регулирования стока для развития хозяйства многих стран, можно предположить, сколь большие научные и практические значения 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 профильные научные, строительные, административно-хозяйственные и другие организации. Помимо этого участие всех специалистов в проектировании, рассмотрении и согласовании проектов, а также в подготовке и эксплуатации водохранилищ возможно только при накоплении определенных знаний в этой области.

В настоящее время исследования многих аспектов создания и использования водохранилищ в СССР существенно опережают 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 последних специалистов и средств для исследования водохранилищ, с другой стороны.

За последние десять лет исследования проблем, связанных с созданием и комплексным использованием водохранилищ, активно развиваются и за рубежом. Значительную роль в подведении итогов исследований и их дальнейшем развитии сыграли международные симпозиумы в Мондопе (1965 г.), Аккре (Гана, 1968 г.) и в Пожамилле (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 дамбам.

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 равномерно и детально осветить все стороны проблемы. Это объясняется, помимо ограниченного размера монографии, рядом других объективных и субъективных причин, важнейшие из которых следующие.

1. Различные степени исследования и освещения в литературе рассматриваемых вопросов в разных странах.

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

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

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

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

1. Огромное экономическое и социальное значение водохранилищ в решении проблемы надежного 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 электрической (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 некоторых болезней и др.) и в зоне влияния регулирования стока (предотвращение наводнений), так и в районах использо-

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

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

Книга подготовлена авторским коллективом под руководством доктора географических наук А. В. Авакяна. Основные авторы монографии — д. г. н. А. Б. Авакян, к. г. н. В. А. Шаранов, В. П. Салтанкин, 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. Эльбинер, В. Б. Яковлева и отдельных параграфов — д. б. н. Д. З. Гак, д. б. н. О. М. Кожина, к. б. н. Н. Л. Корелякова, Е. С. Кудрина, к. б. н. И. К. Ривьер, 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 иллюстративных материалов участвовали В. К. Лебедева, Л. П. Лебедева, Н. В. Морозова, Л. А. Печалина.

Авторы надеются, что настоящая книга будет полезна специалистам, 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 Кхосхайш (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. Имеются сведения, 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 Саад эль 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 наводки и могло отдавать воду в сухие периоды как на поля Файюмского оазиса, так и обратно в Нил. В отношении его конкретного хозяйственного назначения имеются разные точки зрения, но сам факт его существования подтверждается данными Геродота, Диодора, Страбона и др. (Gabrecht, 1977). В Китае сооружение плотин и оросительных систем известно с III тысячелетия до н. э.; возведение больших плотин позволило орошать земли и бороться с наводнениями. В древних индийских книгах упоминаются многие плотины, каналы и другие гидротехнические объекты. С древнейших времен используется для орошения земель в Месопотамии (Ирак) река 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 Синнахерибом 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 вблизи Багдада (около 600 г. до н. э.), на р. Дигла 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 Мариб (Королевское озеро, по Плинию) на р. Вади-Джана для орошения земель; примерно в 500 и 325 гг. до н. э. эта плотина надстраивалась (соответственно до высоты 7 и 14 м). Это водохранилище просуществовало примерно до 575 г. н. э., а развалины плотины сохранились до сих пор. Многие из построенных в те периоды плотины были разрушены в результате естественных процессов (землетрясения, наводнения и т. п.) или людскими заплевателями.

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

В Иране плотины строились для ирригации, выпасения рогатого скота и т. д. и в более поздний период, на рубеже I и II тысячелетий н. э., в том числе Бенде-Эмир (между Исфганом и Шеразом), Савех, Караб и др. Плотина Савех на р. Фаврехан высотой 40 м и длиной по гребню 120 м просуществовала около 100 лет, как об этом можно судить по сохранившимся данным о ее состоянии. До сих пор эксплуатируется водохранилище Бенде-Эмир; оно может служить примером комплексного использования водохранилища древности, предназначавшегося для орошения, получения механической энергии (в настоящее время мельница заменена гидротурбиной), судоходства и водоснабжения. Сохранилось также водохранилище Караб и 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. Альбаррега была построена плотина Карнальдо с водохранилищем объемом 10 млн. м³ (существует до сих пор). Известны остатки древних гидротехнических сооружений в районе Сеговии и Таррагоны. 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 Рима. Подпорные сооружения возводились и в I тысячелетии н. э. в связи со строительством мельниц и для ирригации. В Галлии первые мельницы появились в III—IV вв.; так, вблизи с. Арля сохранились остатки каскада из 16 мельниц. Широкий размах строительство мельничных плотин получили 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 Гарце объем отдельных водохранилищ, созданных для промывки руд, достигал нескольких миллионов кубических метров. Создавались водохранилища и для орошения земель, как, например, водохранилище Альмаграс (XIV в.) и Ральса (XV в.) в Испании (World Register..., 1971).

Значительные гидротехнические сооружения строились также майя и инками в доколумбовой Америке. В Перу водохранилища строились еще в доинкское время. Несколько водохранилищ для сбора талых вод существовало у подножья Анд, как, например, водохранилище в долине Пискуны длиной 1,2 км и шириной 0,8 км (Smith, 1970). Много плотин для забора воды строилось царями майя; хорошо известно водохранилище у древнего города Тикаль. Для водоснабжения городов майя строили многочисленные открытые резервуары с противодиффузионным покрытием дна; некоторые из них сохранились до XIX в. Грандиозные по тем временам гидротехнические сооружения строили ацтеки, например дамбу Несоуалькотль длиной 16 км, которая разделила оз. Тескоко и образовала водохранилище Мехико (Палси, 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 Чалвира 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 ткацких, металлургических, лесопильных, горнорудных 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	Среднегодовая	Всего
Европа	9 3,0	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	171 332,1	60 287,7	113 316,5	534 1437,1
Африка	1 0,1	—	—	5 3,7	10 12,3	—	18 373,6	18 314,4	18 45,4	20 113,2	96 594,9
Северная Америка	25 8,1	18 14,3	50 36,4	77 30,3	133 110,3	114 135,0	106 264,3	254 323,7	48 136,4	80 245,7	303 1356,4
Центральная и Южная Америка	1 0,3	2 0,7	3 1,8	2 1,4	6 2,3	8 8,4	20 36,3	54 36,6	27 65,1	54 322,2	157 354,5
Австралия	—	—	—	4 6,1	5 4,0	1 0,5	19 17,1	15 3,1	14 26,1	12 13,6	70 73,7
Итого	41 13,8	25 16,4	69 43,2	114 60,5	165 214,6	169 173,3	505 1213,6	656 1117,2	201 579,8	315 1079,4	2357 3131,9

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

Таблица 2

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

Страна	до 1900	1901—1910	1911—1920	1921—1930	1931—1940	1941—1950	1951—1960	1961—1970	1971—1984	Среднего- довая	Итого
Италия	—	—	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	320,8	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	10,4	60,7	100,6
Китай	—	—	—	—	—	6,2	100,1	52,2	30,0	2,3	104,4
Япония	—	—	—	—	—	0,2	2,7	2,9	0,7	0,6	7,3
ЮАР	0,1	—	—	0,6	3,1	—	0,6	1,7	0,6	7,1	22,6
Канада	—	7,8	12,0	16,0	2,7	46,2	88,8	301,2	00,0	200,4	765,3
США	8,4	7,0	18,4	23,6	103,8	88,0	136,2	297,3	35,7	36,4	747,6
Мексика	—	—	4,6	—	2,4	8,0	19,7	35,3	13,8	9,2	63,2
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	269,3

промышленного водоснабжения. Такие водохранилища (заводские пруды) в большом числе появились в Великобритании, Германии, Франции, Чехословакии, Польше (Мартонн, 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 многочисленных каналов. Например, для штатия Южного канала, соединяющего Средиземное море с Бискайским заливом (Франция), было построено водохранилище Сен-Дерроль на р. Лодо объемом 7 млн. м³ (Витвер, 1963; World Register..., 1971); для развития водного транспорта водохранилища создавались в Англии, Германии, России (например, Вышневолоцкое, Шлиссельское, Кубенское, Уверское).

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

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

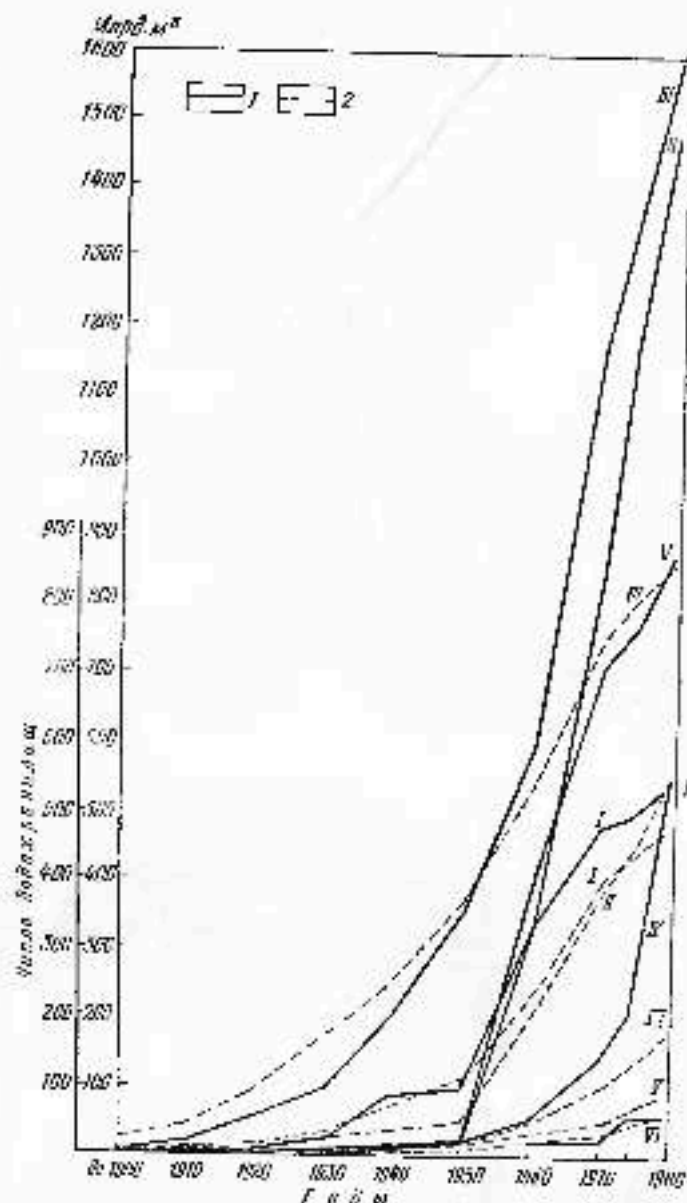


Рис. 1. Динамика роста количества и общей емкости водохранилищ емкостью более 100 млн. м³ по материкам

I — количество водохранилищ; II — суммарная общая емкость водохранилищ, млрд. м³; III — Европа; IV — Азия; V — Северная Америка; VI — Южная Америка; VII — Африка; VIII — Австралия

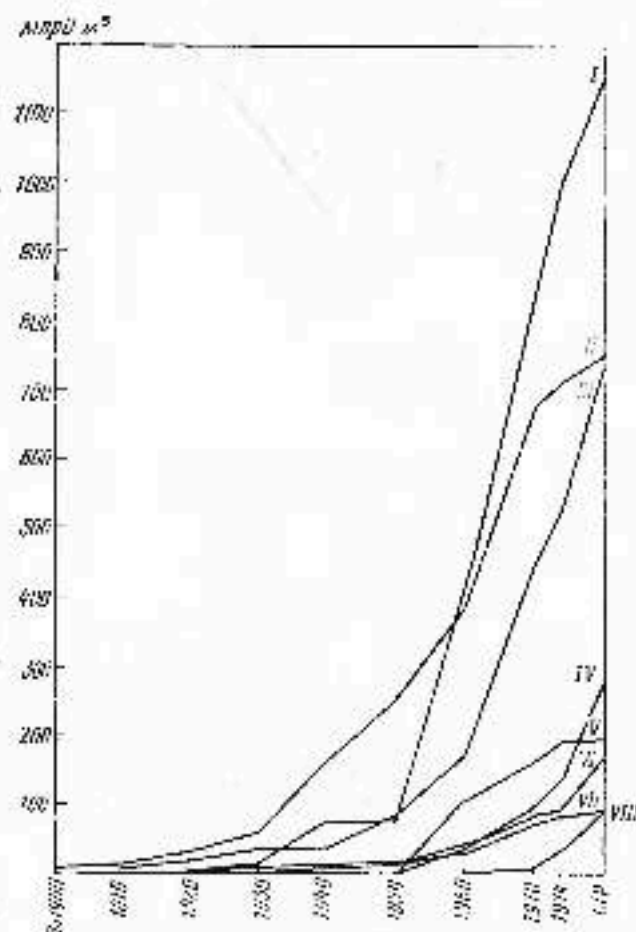


Рис. 2. Динамика общего объема водохранилищ емкостью более 100 млн. м³ по отдельным странам

I — СССР; II — США; III — Канада; IV — Бразилия; V — Китай; VI — Индия; VII — Австралия; VIII — Япония

гии; 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, водоснабжения городских агломераций, прибрежных 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 хозяйственных 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 собраниями, посвященными водохранилищам, были международный симпозиум в Лондоне в 1965 г. (Man-Made Lakes, 1966) и в Аккре (Гана) (Man-Made Lakes, 1969). В мае 1971 г. состоялся международный симпозиум по водохранилищам в США (г. Ноксвилл), на котором было представлено около 150 докладов представителей многих наук из разных стран мира. Доклады симпозиума опубликованы в книге Man-Made Lakes (1973).

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

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

Первой страной, опубликовавшей относительно подробные данные о водохранилищах, были США; первый реестр поди-

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, река, речной бассейн, географические координаты, водосборная площадь, площадь водного зеркала, полный, полезный и мертвый объемы водохранилища, коэффициент регулирования стока, тип использования, год заполнения, организация (фирма), владеющая водохранилищем или эксплуатирующая его; приводятся также итоговые данные по штатам и в целом по стране.

Значительно большее число показателей 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, отраслевого назначения (по водохранилищам рыбохозяйственного назначения — Лузенская, Сакина, 1956; Антипова, 1961; по водохранилищам гидроэлектростанций — Авакян, Шаратов, 1962, 1970, 1977). По другим странам сколько-нибудь подробных сводных данных о водохранилищах в печати почти не появлялось. Исключением из этого правила можно считать лишь некоторые работы, как, например, книгу «Data of High Dams in India», в которой для некоторых водохранилищ приведены данные об их объектах, 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. (Gulhali, 1950). Данные о водохранилищах с небольшим числом показателей опубликованы в последние годы также по некоторым другим странам: Мексике, Испании, Турции, Чехословакии, Болгарии, ФРГ и др. (Hernandezteran, 1969; Tünder, 1968; Link, 1970; Узунюв и др., 1966; Liebscher, 1969; Obras realizadas, 1969; Fels, 1964 и др.).

Первые попытки обобщить материалы о водохранилищах мира были сделаны Ф. Я. Неструком (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 реестра плотин (World Register of Dams), который был в 1964 г. опубликован Международной комиссией по большим плотинам (ICOLD), создавшей специальный Комитет Мирового реестра плотин. В 1964 г. вышло четвертое тома, в которых по состоянию на 31 декабря 1962 г. приведены данные более чем о 9000 существующих, строящихся и проектируемых плотных сооружений, расположенных в 41 государстве мира.

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

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

Мировой регистр плотин, позволяя 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 водохранилищам; 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. Фелс составил более полное, чем у М. А. Фортунатова, 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 регионам (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, длина 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 водосмы емкостью в десятки тысяч кубических метров, в других — только более крупные (например, в СССР);

в) по некоторым странам в Мировом регистре не приводятся данные об объеме водохранилищ (например, по Норвегии, отчасти по Швеции); по 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 защитные 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. Фелсом показатели водохранилищ характеризуют лишь их параметры и морфологию; по плану зеркала, наряду с такими показателями, как площадь зеркала, глубина, ширина, в Мировом каталоге водохранилищ должны быть приведены и показатели, характеризующие их влияние на окружающую среду: население региона, площадь затопления земель по основным урожаям, размеры переселенных и сооруженных, переселенных населения, стоимость гидротехни-

при создании водохранилищ, и также показатели энергетического значения водохранилищ (площадь орошаемых земель, выработка электроэнергии, забир воды для водоснабжения, вылов рыбы и др.). Все эти показатели учтены в Каталоге водохранилищ СССР.

МИРОВОЙ ФОНД ВОДОХРАНИЛИЩ

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 освещены в литературе.

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

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

Таблица 3

Удельный вес водохранилищ полным объемом 100 млн. м³ и более в общем фонде водохранилищ емкостью 1 млн. м³ и более в отдельных странах (расчеты автором по World Register, 1976)

Страна	Водохранилища полным объемом 100 млн. м ³ и более, % к общему фонду	
	число	удельный вес
СССР	40	85
Зарубежная Европа	49	86
В том числе:		
Английский регион	9	40
Италия	10	86
Индия	14	93
Япония	2	47
Китай	26	96
ЮАР	10	92
США	17	81
Канада	28	98
Бразилия	22	94
В среднем по указанным странам	15	95

Таблица 4

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

Континент	Количество	Объем, млн. м ³
Европа	482	570,3
В том числе СССР	59	377,5
Азия	554	1423,1
В том числе СССР	163	720,8
Африка	96	864,8
Северная Америка	808	1610,4
Центральная и Южная Америка	167	551,5
Австралия и Океания	70	75,7
Итого	2257	5131,9
В том числе СССР	302	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 плотин с внесением в отдельных случаях необходимых дополнений, уточнений и исправлений на основе литературных источников. По остальным странам собраны, обобщены и проанализированы сведения, опубликованные в технических, географических, биологических и других журналах, книгах, справочниках и атласах. При наличии разных показателей по одному и тому же водохранилищу предпочтение отдавалось источникам страны, где находится водохранилище. При отсутствии таких данных применялись показатели, обладающие в нескольких источниках, или более поздние по времени публикации.

Итоговые данные указанных расчетов, приведенные в табл. 4 и 5, свидетельствуют о том, что водохранилища созданы и создаются практически во всех странах мира: социалистических, капиталистических и развивающихся, промышленных и аграрных, горных и равнинных, расположенных в областях с влажным и сухим климатом. Созданные водохранилища характеризуются большим диапазоном полного объема и, как будет показано далее, других параметров (полезного объема, площади, длины, притисы 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 водоканальных объектов
100 млн. м³ и более

Страна	Количество	Средний объем, млн. м³	В том числе обслуживающих объекты 1 млрд. м³ и более	
			количество	объем, млн. м³
Европа				
Австрия	10	1363	—	—
Албания	2	820	—	—
Болгария	21	5012	—	—
Великобритания	13	2518	—	—
Бельгия	3	760	—	—
ГДР	4	636	—	—
Греция	7	10333	3	7890
Ирландия	3	803	—	—
Испания	69	28015	6	14248
Италия	29	4820	—	—
Нидерланды	1	8000	1	8000
Норвегия	36	23270	7	11892
Польша	12	2556	—	—
Португалия	10	4942	1	1100
Румыния	7	5036	2	2505
СССР	90	377510	35	326760
ФРГ	6	1150	—	—
Финляндия	15	22944	7	21223
Франция	27	7873	1	1270
Чехословакия	13	3830	—	—
Швейцария	22	1308	—	—
Швеция	20	35070	8	27580
Югославия	22	6888	2	2780
Азия				
Афганистан	4	3852	1	2690
Бангладеш	1	5365	1	5365
Вьетнам	3	6715	3	4550
Индия	153	165616	31	126182
Индонезия	2	4560	2	4205
Ирландия	1	200	—	—
Ирак	6	114100	6	114100
Иран	17	10510	5	11180
Камбоджа	1	1120	1	1120
Китай	141	184389	34	155218
Южная Корея	10	20364	5	18320
Лаос	1	7000	1	7000

Таблица 3 (продолжение)

Страна	Количество	Средний объем, млн. м³	В том числе обслуживающих объекты 1 млрд. м³ и более	
			количество	объем, млн. м³
Ливия	1	210	—	—
Малайзия	4	7326	2	6917
Пакистан	30	23855	3	24019
Сирия	2	12150	1	11000
СССР	103	750810	29	737230
Тайланд	16	50011	6	47066
Турция	21	56414	8	53308
Филиппины	5	4533	1	2300
Шри-Ланка	6	1883	—	—
Япония	33	7284	—	—
Африка				
Алжир	7	1873	—	—
Ангولا	3	4254	2	4434
Бермудские острова	2	28250	2	28250
Гана	1	148006	1	148006
Гвинея	2	17423	1	17200
Замбия	3	101317	1	100085
Камерун	4	5850	3	5800
Кения	2	305	—	—
Зарр	1	1733	1	1733
Кот-д'Ивуар	1	1250	1	1250
Малагаскар	2	385	—	—
Мали	1	2000	1	2000
Марокко	12	9107	4	6306
Мозамбик	3	67814	3	67884
Нигерия	1	15000	1	15000
АРС	1	148700	1	148700
Сенегал	1	10000	1	10000
Судан	4	8490	3	7550
Танзания	2	1280	1	1135
Тунис	4	877	—	—
Уганда	1	204800	1	204800
Эфиопия	2	2550	1	1000
Южная Родезия	7	2340	1	1330
ЮАР	28	22640	6	17950
Австралия и Океания				
Австралия	58	61192	16	48609
Новая Зеландия	12	14598	4	11235

Таблица 3 (окончание)

Страна	Количество	Полный объем, млн. м³	В том числе водохранилищ: объемом 1 млрд м³ и более	
			число	объем, млн. м³
Северная Америка				
Канада	130	765334	54	700385
Мексика	50	93203	18	79803
США	679	747831	160	690380
Южная и Центральная Америка				
Аргентина	31	89913	8	82333
Бразилия	80	260268	33	247843
Венесуэла	15	142080	4	138788
Доминиканская республика	1	170	—	—
Колумбия	9	5160	2	2650
Куба	12	2882	1	1020
Никарагуа	2	1225	—	—
Панама	3	10054	2	9130
Парагвай	2	1050	1	1400
Перу	8	2448	1	1200
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 земному шару составляет примерно 5,5 тыс. км³ (12 000 водохранилищ КНДР ввиду отсутствия по ним данных об объеме не учитываются).

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

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

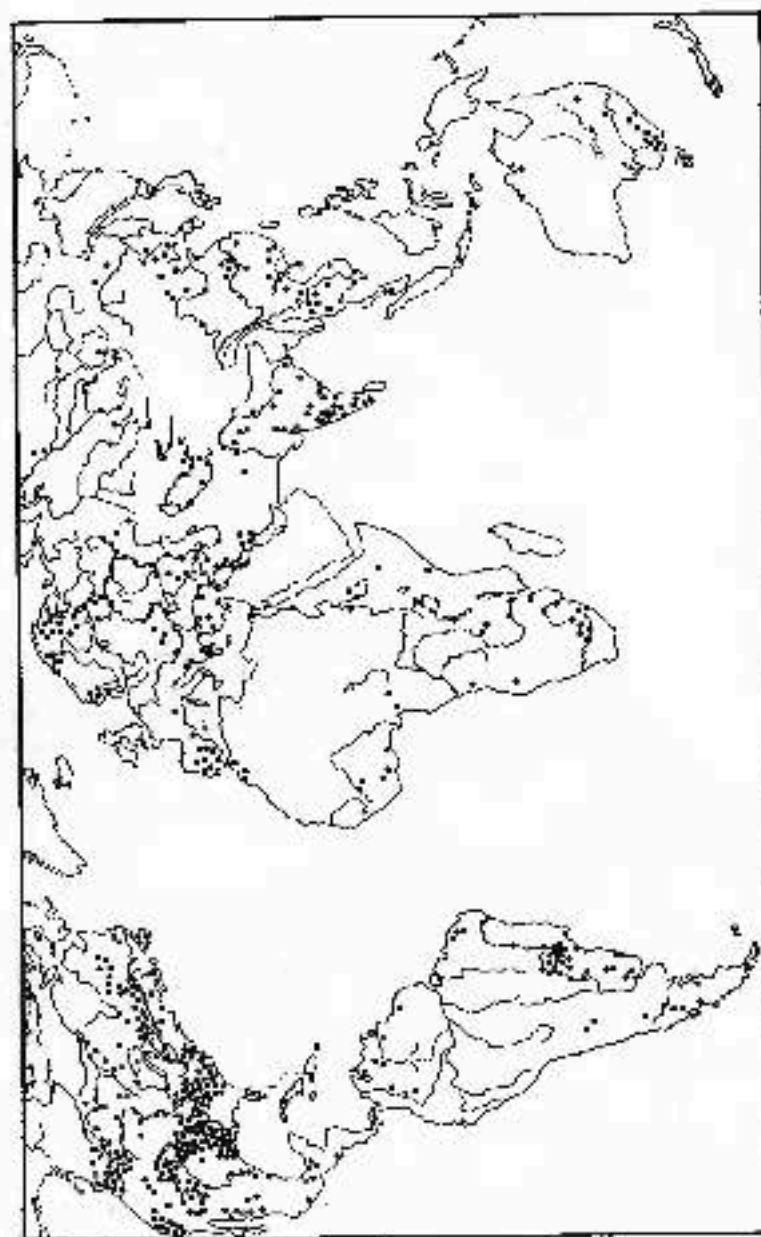


Рис. 3. Схема размещения водохранилищ мира с полным объемом более 1 млн. м³

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

Другой важный показатель водохранилища — площадь его водного зеркала. Данные с суммарной площадью водного зеркала имеются для водохранилищ СССР (Авакян, Шарапов, 1977), США до 1963 г. (Martin, Hanson, 1966), Испании (Obras realizadas..., 1969; Grengg, 1974), Чехословакии (Chmelíček, 1966), Польши (Babinski, 1974), Румынии (Gustescu, Breyer, 1973; Mac-Made Lakes, 1973), ГДР (Sch. Talsperren, 1972), Индии (Gulhati, 1950), всех японских водохранилищ (Link, 1970), Японии, ФРГ и Нидерландов (Fels, Kellert, 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 шару 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 (Mac-Made Lakes, 1973).

Нами сделана попытка получить недостающие данные о площади зеркала по двум показателям, которые имеются для абсолютного числа водохранилищ: пошному объему и высоте плотины. Анализ имеющихся данных по нескольким сотням водохранилищ СССР, зарубежной Европы, США и некоторых других стран показал, что средняя глубина водохранилища имеет известную корреляцию с высотой плотины над руслом реки; это соотношение в среднем по ряду стран равно 0,30—0,42 и зависит от морфологии долины водохранилища. Отклонения от этих коэффициентов характерны для водохранилищ, включающих подпорные озера и образованных плотинами, предусматривающими большой запас 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 озер в подпоре) близка к 600 тыс. км².

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

Таблица 6

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

Материк и страна	Общий количество	Водохранилища с высотой плотины зеркала			Водохранилища с количеством водохранилищ	
		количество	Общая площадь, км ²	Площадь зеркала, км ²	Количество	Общая площадь, км ²
Европа	9	5	1 054	45	4	8,7
СССР	40	30	64 408	730,3	10	365,0
Испания	25	15	5 507	73,9	10	23,7
Остальная Азия	18	11	6 306	131,4	7	96,2
Австралия	12	5	567	29,4	7	32,7
Африка	47	14	37 466	618,2	3	6,8
Канада	51	27	75 727	497,2	4	128,9
США	112	95	28 507	366,6	17	41,4
Латиноамериканская Америка	31	14	11 843	181,1	17	120,5
Итого	315	216	186 932	2704,0	90	615,9

* Таблица составлена по справочнику (Mac-Made Lakes, 1973). Для СССР приведены данные о площади зеркала водохранилищ.

равномерно и характеризуется следующими данными. Различия обусловлены 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.).

Среди материков по общему количеству, как и по числу водохранилищ объемом более 100 млн. м³, выделяются Северная Америка, Азия и Европа (рис. 4, 5, 6). Важное место Северной Америки и мирового 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 за счет небольших водохранилищ Японии, Китая и Индии. По Китаю в Мировом регистре плотин учтено 500 водохранилищ суммарным объемом 203 км³, хотя, как уже указывалось, имеется значительно большее число водохранилищ (ICOLD, 1973; Mellor, 1976). В связи с этим представляется, что показатели по водохранилищам Китая в наших таблицах следует считать заниженными.

Таблица 7

Площадь зеркала подокранных вод (данные прелиминарные)

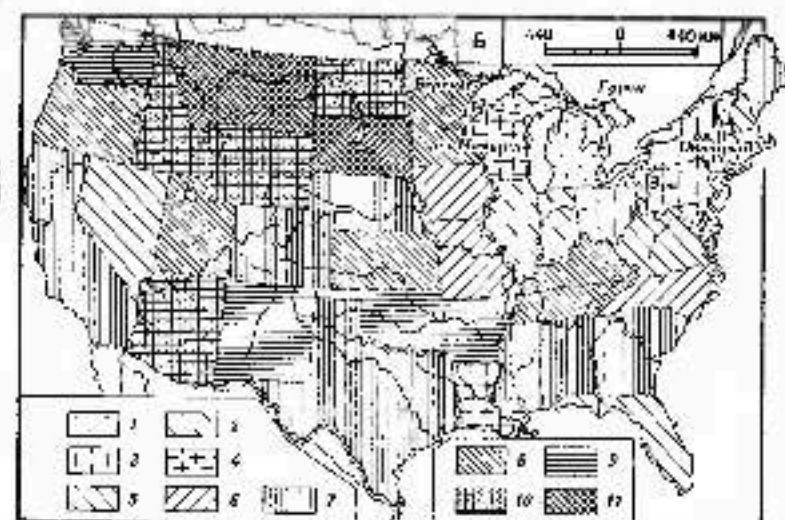
Континент	Площадь зеркала, тыс. км ²	
	всего	в том числе озера и водохранилища
Европа	80	45
Азия	120	85
Африка	110	35
Северная Америка	220	170
Центральная и Южная Америка	55	55
Австралия и Океания	4	3
Итого по всем континентам	590	393

Таблица 8

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

Континент	Географические пояса						Итого
	Суб-полярный	Умеренный	Суб-тропический	Тропический	Субэкваториальный	Экваториальный	
Количество водохранилищ							
Европа	1	75	24	—	—	—	100
Азия	1	24	34	9	30	2	100
Африка	—	—	43	24	33	—	100
Северная Америка	2	50	44	4	—	—	100
Центральная и Южная Америка	—	3	21	39	32	5	100
Австралия и Океания	—	49	64	11	6	—	100
Итого	1,5	42	36	8	14	1,5	100
Подный объем							
Европа	5	56	10	—	—	—	100
Азия	4	47	28	7	13	4	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	30	10	24	0	100

Примечание. Географические пояса и их границы взяты по общепринятой географической классификации (с. 75).

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

1 — до 100; 2 — 100—200; 3 — 200—400; 4 — 500—1000; 5 — 1000—1500; 6 — 1000—2000; 7 — 2000—3000; 8 — 3000—4000; 9 — 4000—15000; 10 — 15000—50000; 11 — свыше 50000

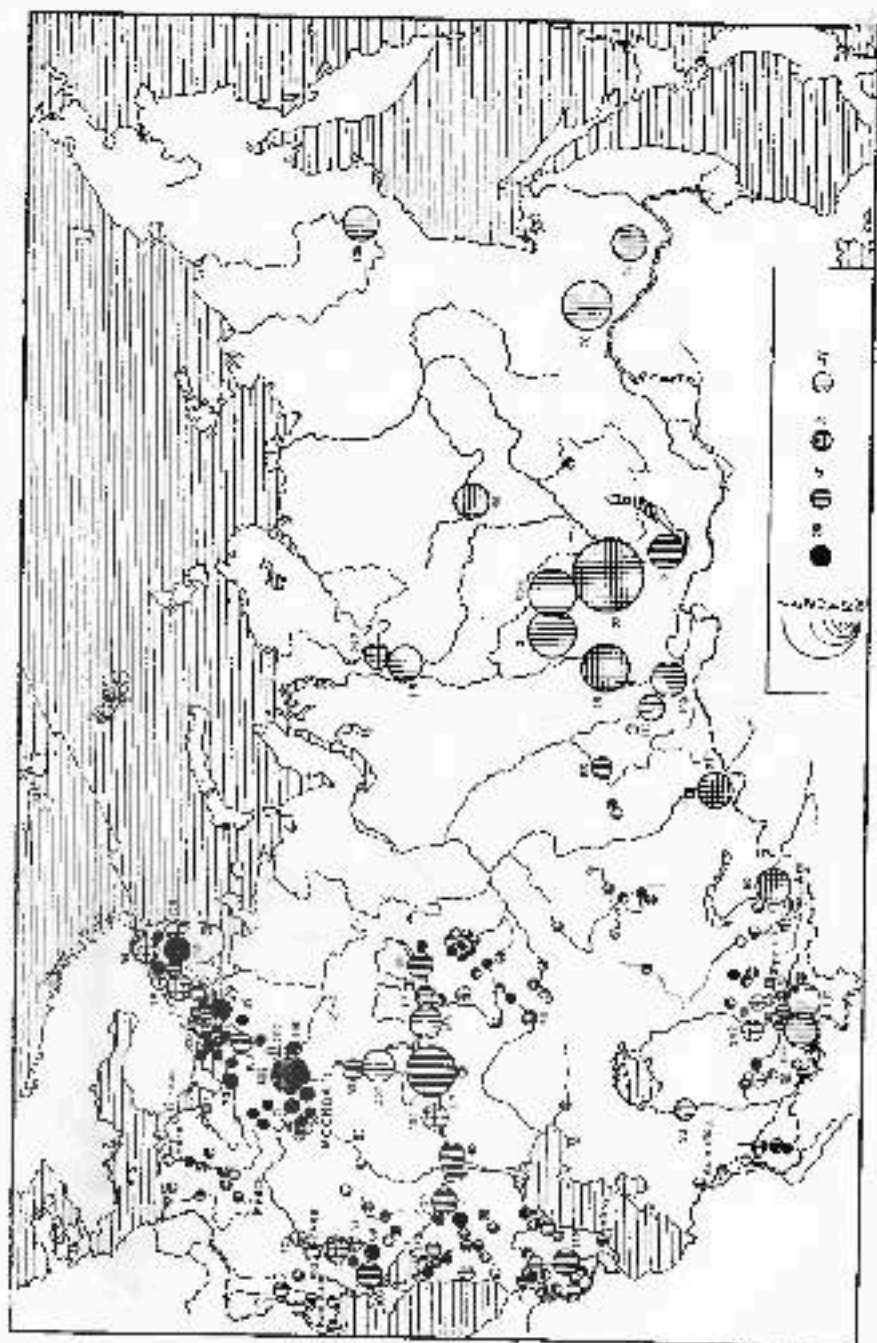


Таблица 9

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

Рек	Площадь бассейна, тыс. км²	Объем водохранилищ и устьев рек, км³	Водохранилища с объемом более 100 млн. м³		
			число водохранилищ в бассейне	суммарный объем во всех водохранилищах, млн. м³	общий объем воды в водохранилищах и в устьях рек, км³
Дунай	817	203	38	13,3	6,00
Рейн	224	79	20	2,7	0,69
Луара	85	22	14	8,8	6,30
Таго	84	15	18	11,5	0,70
Волга	1300	240	37	200,3	0,84
Днепр	504	52	8	44,3	0,15
Обь	2690	401	13	75,2	0,18
Енисей	2560	585	6	473,0	0,81
Урал	375	30*	11	100,0	2,50***
Габрэт	673	28**			
Миссисипи с Миссури	3220	590	259	412,7	0,71
Колумбия	660	251	77	403,8	0,41
Парагвай (с Паранаем и Уругваем)	4246	650	33	185,8	0,30

* М. е. Вьетнам.

** у г. Хан.

*** Общий объем воды в водохранилищах и в устьях рек Тигр и Евфрат, сформировавшихся в результате строительства крупных водохранилищ.

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

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

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

Объем водохранилищ, млн. м³: I — более 500; II — 50—100; III — 25—50; IV — 10—25; V — 5—10; VI — 1—5; VII — 0,1—1. Периоды создания водохранилищ: VIII — до 1921, IX — 1921—1929, X — 1930—1939, XI — после 1939 г.

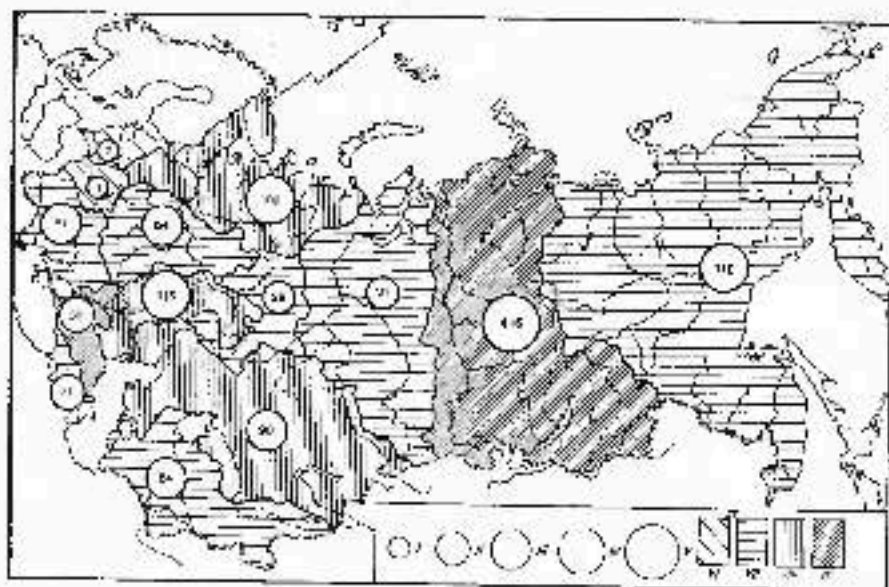


Рис. 8. Полный объем водохранилищ всего (цифры в кружках, км³, / V) и в расчете на 1 человека (тыс. м³, VI—IX) по экономическим районам СССР
I — до 10; II — 10—20; III — 20—30; IV — 30—40; V — более 40; VI — до 10; VII — 10—20; VIII — 20—30; IX — более 30

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

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

В развитых капиталистических странах водохранилища также продолжают создаваться. В США в ближайшие 30—40 лет пред-

полагается утроить полезный объем водохранилищ. Обширные планы создания водохранилищ у Канады, Швеции, Норвегии, Испании, ЮАР и других стран.

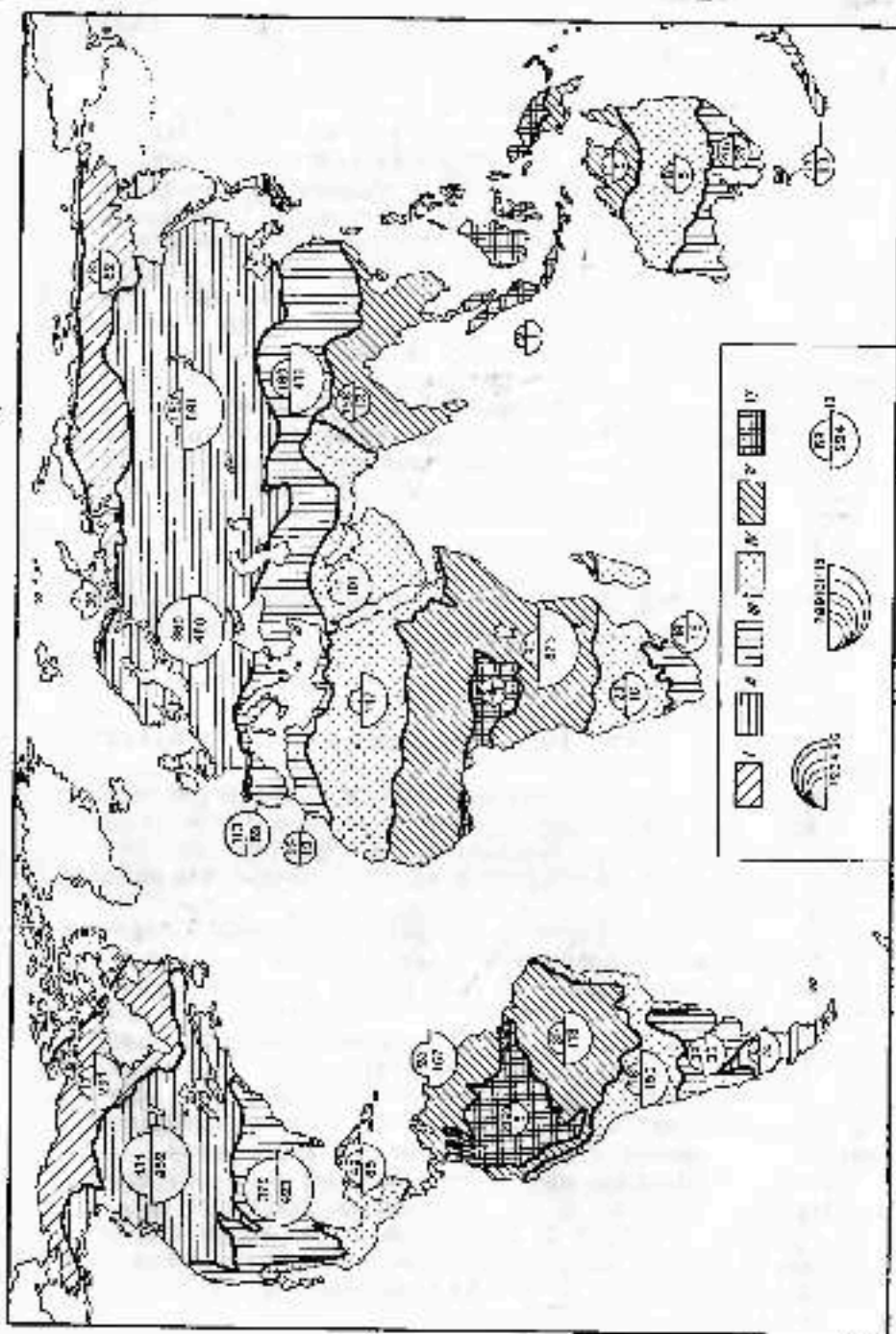
Распределение водохранилищ по природным поясам, как видно из данных табл. 8 и рис. 10, весьма неравномерно. Наибольшее количество водохранилищ (более 41%) и значительная доля их полного объема (почти 40%) расположены в умеренном поясе; это обусловливается размещением в этом поясе большинства наиболее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

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

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

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

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



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

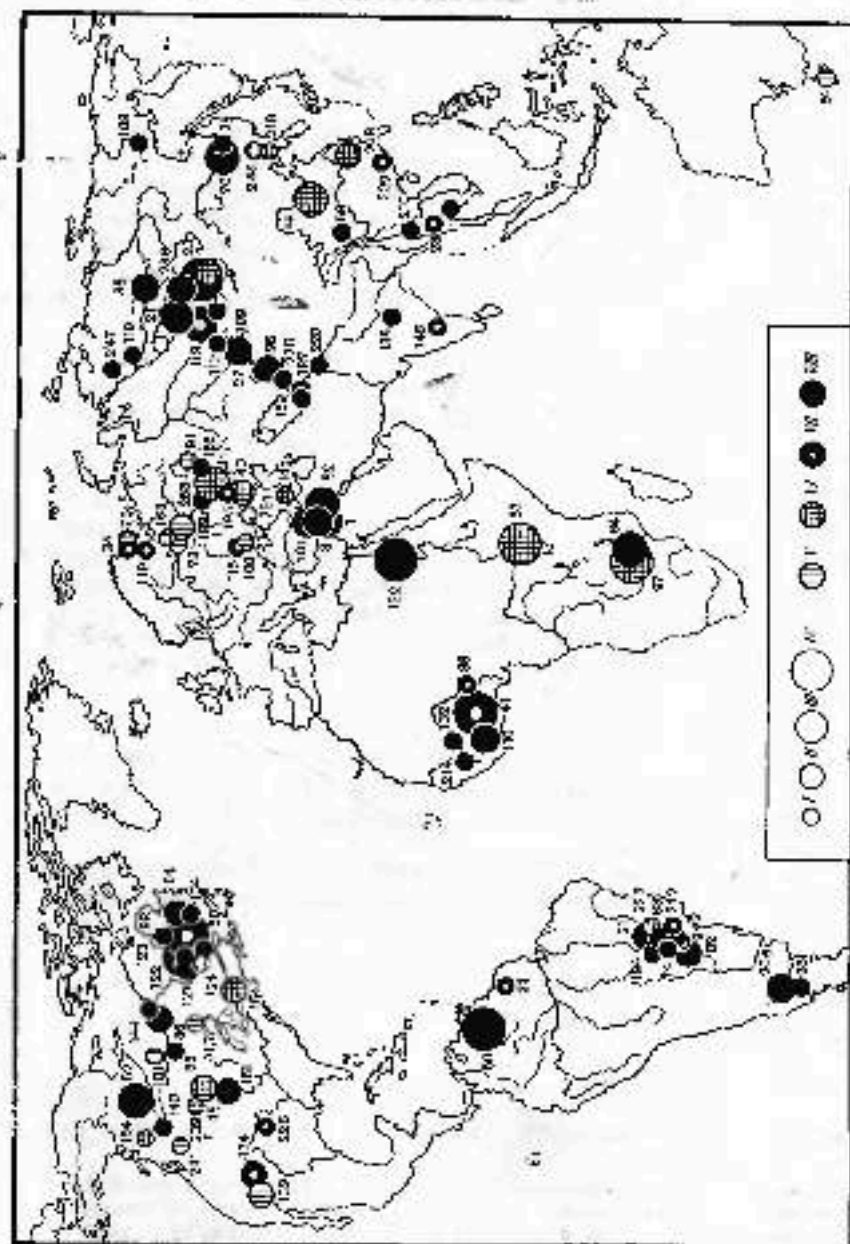
Создание крупных водохранилищ существенно изменило орошение Египта, Ганы, Суринама, Замбии, Мозамбика, Ирака и отдельных районов СССР, США, Мексики, Бразилии, Испании, Греции, Индии и некоторых других. В этих и других странах большие водохранилища в сочетании с местными небольшими искусственными водоемами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

Большие водохранилища существенно, а иногда и значительно влияют на хозяйство отдельных стран или крупных районов. Так, многие гидроузлы с большими водохранилищами создали или улучшили условия промышленного развития и сельскохозяйственного освоения больших территорий, а иногда и целых стран. Примером могут служить Волжский, Днепровский, Сырдарьинский, Амударьинский, Ангаро-Енисейский каскады в СССР, гидроэлектростанции Акосомбо с водохранилищем Волга в Гане, Гури (Эль Мантеко) в Бельгии, Саад аль Аали (Насер) в Египте, Вал Бломштейн (Брокенлоде) 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 поясам земного шара

Примечание: 1 — субтерrestrialный; 2 — поверхностный; 3 — субповерхностный; 4 — смешанный; 5 — субповерхностный; 6 — смешанный. Количество водохранилищ: 1 — 1-10; 2 — 11-100; 3 — 101-200; 4 — 201-300; 5 — 301-400; 6 — 401-500. Суммарный объем, км³: 7 — 1-10; 8 — 11-50; 9 — 51-100; 10 — 101-200; 11 — 201-300; 12 — более 300. 13 — в скобках — количество водохранилищ, и значительные их прибрежные водоемы, км³



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

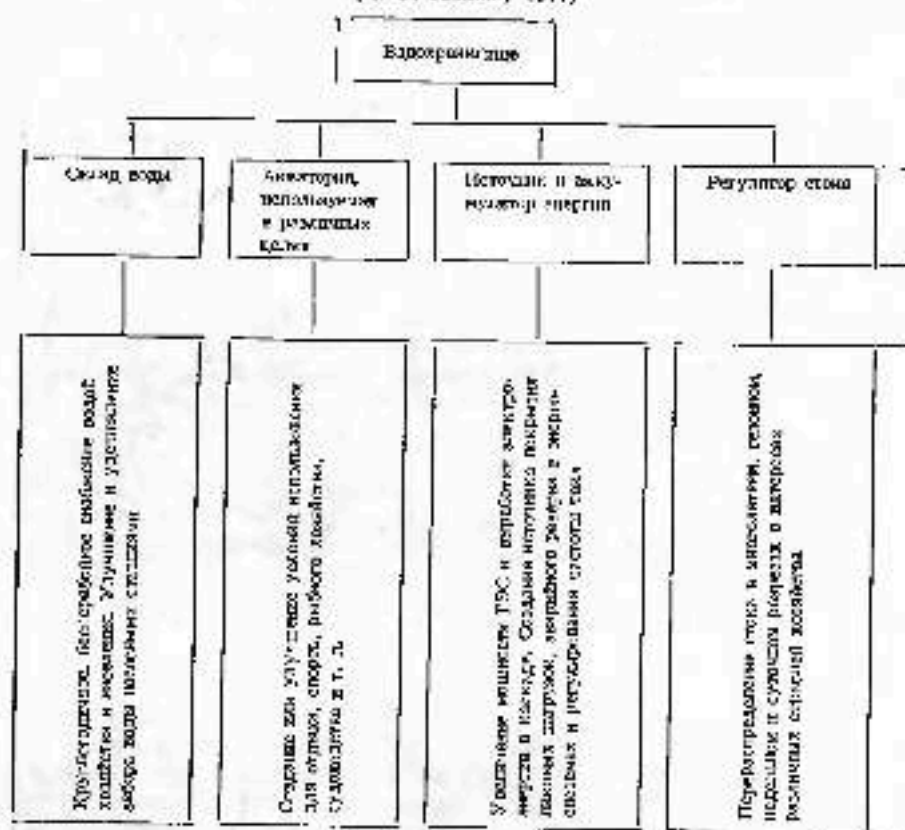
В последние десятилетия осязаются водные ресурсы крупных и многоводных рек, в связи с чем параметры крупнейших водохранилищ все время возрастают. В 1950 г. самым большим по объему было водохранилище Мил в США (36,7 км³), а по площади — Рыбинское в СССР (4550 км²). В настоящее же время самые крупные по объему, не считая озер-водохранилищ Виктория на р. Нил (204,8 км³), — это долинныя водохранилища Братское (169,3 км³), Кариба (160,3 км³) и Насер (157 км³). По площади, не считая озер-водохранилищ Виктория (76 000 км²), Байкал (32 966 км²), Онтарио (19 654 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

Подпись 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

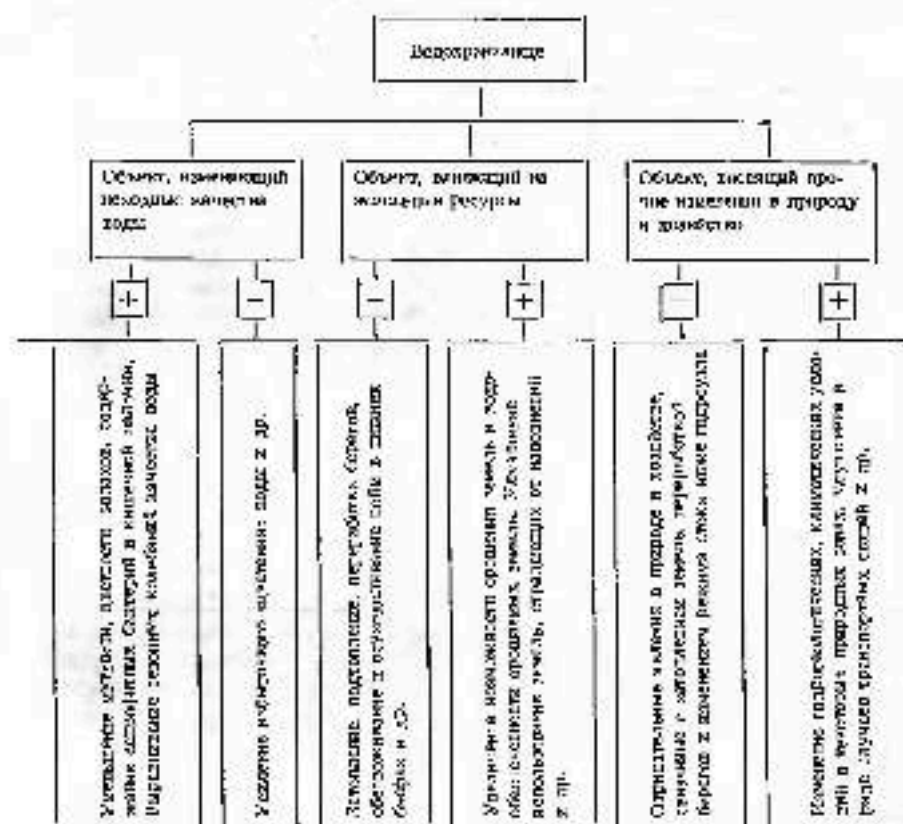
Схема 1
Экономическое и социальное значение водохранилищ
(А. Б. Лискин, 1977)



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

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

Специальные водоснабженческие водохранилища, как правило, 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, Северной Италии, Аппалачском бассейне и др.

2 РОЛЬ ВОДОХРАНИЛИЩ В БОРЬБЕ С НАВОДНЕНИЯМИ

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

Таблица 10
Водопотребление на земном шаре, км³/год *
(Мировой водный баланс ..., 1974)

Реципиент	1961	1965	1970	1975	2000
Коммунальное хозяйство	20	60	120	150	440
	5	11	20	25	85
Промышленность	30	180	540	630	1900
	2	9	20	25	70
Сельское хозяйство	350	260	1900	2100	3400
	250	650	1500	1600	2600
Водохранилища (испарение)	0	4	70	110	240
	0	4	70	110	240
Общее (с округлением)	400	1100	2800	3000	6000
	270	850	1600	1800	5000

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

Континент	1960		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	8
	25	6	100	7	350	8
Северная Америка	80	15	540	21	1300	22
	20	7	180	11	380	8
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	1800	100	5000	100

* В числителе — плановое, в знаменателе — безвозмездное 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 не раз страдают от наводнений, но до сих пор времени не могут с

ними справиться. Первая комиссия для разработки плана борьбы с наводнениями была создана в Риме еще во времена Тацита, а в Лондоне проблема борьбы с наводнениями впервые встала в 1691 г., когда водами Темзы был сплеснен 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 зажорами, а также разрушением дамб и плотин. В устьях некоторых рек наводнения могут быть вызваны продолжительными и сильными ветрами со стороны моря, в результате чего воды реки подпираются и выходят из берегов. Таким наводнениям подвержены Ленинград, Новый Орлеан, Сан-Франциско и другие города мира.

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

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

Известно несколько видов борьбы с наводнениями: создание регулирующих речной сток водохранилищ, строительство дамб для обвалования 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. Колумбии (США) за специальную плату используют канадские водохранилища для борьбы с наводнениями.

РЕКРЕАЦИОННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ

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

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

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

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

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

2) большинство водохранилищ комплексного назначения создано и будет создаваться вблизи городов, небольшие водохранилища рекреационного назначения могут создаваться и в пределах городских территорий. Так, по нашим данным (Авакян,

Яковлева, 1973), в Советском Союзе на берегах водохранилищ проживает более 20 млн. человек городского населения страны и около 22 млн. человек живет в пределах двухчасовой доступности от водохранилищ, т. е. около 40% жителей городов имеют возможность пользоваться водохранилищами для кратковременного отдыха, причем половина из них — как в 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 горячих 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 туристических баз, турбаз и других рекреационных объектов может осуществляться в короткие сроки; для целей рекреации могут быть использованы поселки строителей.

Однако следует отметить, что создание водохранилищ в ряде случаев вызывает и отрицательные последствия для рекреационного использования территории: затопление и подтопление существующих минеральных источников, санаториев, домов отдыха, памятников архитектуры и других объектов, представляющих ценность для организации отдыха, ухудшение условий отдыха на участках рек в нижних бьефах гидроэлектростанций из-за резких суточных и недельных колебаний уровня и снижения температуры воды иногда ниже 17°, при этом массовое купание исключается. К числу неблагоприятных условий для отдыха также относятся: «кислотные» 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, значительное отступление уреза воды при сработке водохранилищ и др.

За последнее время проблемами организации отдыха населения, и 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% туристических 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 отдых вблизи водоемов растет необходимость использовать в рекреационных целях водохранилища, в том числе и водоснабженческие.

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

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

Оптимальное использование в рекреационных целях акватории и прибрежной зоны водохранилищ возможно лишь при удовлетворении требований рекреации к режиму уреза, заключающихся в основном в необходимости поддержания постоянного или близкого к нему уровня водохранилища. Американские исследователи считают, что в период наибольшего прилива 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 в этих зонах промышленных предприятий. Условия отдыха во многих случаях существенно ухудшаются из-за загрязнения воды промышленными, транспортными и коммунальными стоками.

Не менее, а в некоторых случаях и более существенное значение имеют противоречия между отдельными видами рекреационного использования водохранилищ. Так, рыбная ловля несовместима 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 (экваториальная 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 пикников, причалы, стоянки автомобилей) и буферные зоны, разделяющие территории с различным типом использования. Рекреационные зоны на воде включают зоны отдыха у берега, «открытой воды» в центре водоема и заповедную зону.

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

Для районов с большой плотностью населения и ограниченными рекреационными ресурсами большой интерес представляет исследование возможности использования для отдыха водоснабженческих водохранилищ. Однако водоснабженческие организации действуют весьма осторожно при решении вопроса о возможности рекреационного использования водоснабженческих 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 рекреаци-

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, экономии 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-Мексико в бассейне р. Рио-Гранде показали, что прирост валового национального продукта от использования одного акрифта воды (1234 м³) составляет в сельском хозяйстве 44—51 долл., в рекреации — 212—307 долл., в промышленности — 3040—3969 долл. (Biswas, 1969). Анализ расходов и прибылей от рекреации на водохранилище Дэйви (штат Кентукки) показал, что при средней ежегодной стоимости эксплуатации водохранилища (включая рекреационные сооружения) 1067 тыс. долл. ежегодная прибыль составила 1540 тыс. долл., в том числе 814 тыс. долл. — от эксплуатации рекреационных сооружений. Основной доход дает рекреационное использование водохранилища, хотя оно было создано для борьбы с наводнениями и обеспечения попусков в межливневый период (Dauglas, 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) доказать 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, зарастание мелководий, отчленение заливов вдольбереговым перемещением наносов, впоследствии возможный залив их наносами впадающих рек, зарастание прибрежной территории водной растительностью и т. д.);

3) возможности повышения рекреационной емкости ландшафта и акватории за счет осуществления ряда инженерных, лесотехнических и других мероприятий (намыв пляжей, утолщение 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 площадью тысячелетий. В начале XX в. в мире орошалось около 40 млн. га. В настоящее время площадь орошаемых земель составляет около 250 млн. га, из них 150 млн. га было орошено за последние 25 лет. Представление о площади орошаемых земель на земном шаре дают данные, приведенные в табл. 12. Примерно 60% всех орошаемых площадей сосредоточены в Китае, Индии, США и СССР.

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

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

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

Континент	1950	1960	1970	2000
Евразия	9,5	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	1,6	3
Всего (округленно)	40	86	234	420

размеры орошаемой площади за счет более полного использования стока, подавать воду на поля в нужном количестве в соответствии с оптимальными сроками полива, увеличить подкомандные площади самотечного орошения, снизить затраты на подкачку воды при машинном орошении (Авакян, 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 изменяться в отдельные дни в 5—7 раз; в некоторые дни поливы не нужны вовсе (Бахтаров, 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, Чардаринское, 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	Рекa	Прирост орошаемых земель, тыс. га	Увеличение водообеспеченности земель, тыс. га
Андиянское	Кайракум	40	400
Чардаринское	Тянтук	150	300
Чардаринское	Сырдарья	420	110
Токтогульское	Нарын	550	1350
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 плотин увеличивается объем уже эксплуатируемых водохранилищ. Классическим примером в этом отношении служит Асуанская плотина на р. Нил высотой 22 м, построенная в 1902 г. (объем водохранилища составил 0,98 км³). В 1912 г. объем водохранилища увеличен до 2,5 км³, а в 1983 г. — до 5 км³. В настоящее время объем водохранилища Насер, образованного вновь построенной плотинной высотой в 110 м, составляет 157 км³ (Воропаев, Пизаев, 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 ценных качеств гидроэлектростанций делают экономически выгодным и энергетически целесообразным обеспечение определенного удельного веса гидроэлектростанций в развивающихся энергосистемах. Необходимость комплексного использования водных ресурсов также служит предпосылкой дальнейшего развития гидроэнерго-

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

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

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

Помимо природных предпосылок, вызывающих необходимость создания водохранилищ для гидроэлектростанций, нужно учитывать технические и экономические факторы. Как известно, электроэнергия потребляется неравномерно как в течение суток и 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 выше по течению другого водохранилища сезонного или многолетнего регулирования полезный объем нижележащего водохранилища должен, как правило, обеспечивать лишь регулирование боковой приточности между этими гидроузлами.

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

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

Гидроэлектростанции, обладающие водохранилищами, выполняют также функции аварийного резерва системы. Значение 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 гидравлическая энергия. Такие водохранилища регулируют работу не только своей гидроэлектростанции, но и других ГЭС, входящих в энергосистему.

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

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

ляемыми городами, а промышленными объектами, водным транспортом, сельским, рыбным и коммунальным хозяйством. После подпора ГЭС индустриально расположенным 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 перерегулирования 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 удваивается в последующий период каждые 7—10 лет. Свыше 80% электроэнергии во всем мире, в том числе и в СССР, вырабатывается тепловыми и атомными электростанциями. Для их работы требуется большое количество воды для охлаждения агрегатов (в среднем 35—40 м³/с на 1 млн кВт установленной мощности). Таким образом, современные тепловые электростанции на проточном 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 значение имеет повышение в водохранилищах температуры воды в результате сброса в них подогретых (иногда до 30—35°) вод после охлаждения агрегатов тепловых и атомных электростанций. Поступление таких вод, нередко еще и загрязненных, неблагоприятно отражается на гидробиологическом состоянии, процессах самоочищения и качестве воды водохранилищ. В настоящее время в ряде стран изучаются и проверяются на практике возможности использования теплых вод для орошения сельскохозяйственных культур, водоснабжения животноводческих ферм, обогрева теплиц, для выращивания зеленых водорослей и разведения рыб в бассейновых и садковых хозяйствах.

Учитывая, что в наиболее развитых промышленных странах к 1990—2000 гг. на охлаждение тепловых электростанций будет использоваться около 10% водных ресурсов, можно представить, сколь большое хозяйственное и экологическое значение имеет использование водохранилищ для их 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; по мнению специалистов, 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 переменный режим их работы ведет к резкому изменению режима расходов и уровней в нижних бьефах гидроузлов, что отрицательно сказывается на использовании водных ресурсов другими участниками водохозяйственного комплекса и отрицательно влияет на качество воды, биопродуктивность водоемов и рекреационное использование рек. Покрытие же пиков нагрузок тепловыми и атомными электростанциями, как уже указывалось, нецелесообразно.

Выход из создавшегося положения специалисты многих стран 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 — верхний и нижний, 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 станцией ГАЭС. В период пиковых нагрузок в энергетической системе энергии тепловых и атомных электростанций используется для подкачки воды из нижнего бассейна в верхний бассейн ГАЭС. В период же спада вода из верхнего бассейна сбрасывается в нижний, и ГАЭС питает энергией энергосистему.

На большинстве эксплуатируемых ГАЭС нижний и верхний бассейны построены специально: нижний — в результате подпора реки, верхний — путем выемки 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 озера 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 течение суток 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 в водоеме. Так, например, создание Кайндорской ГАЭС приведет к ежесуточным колебаниям уровня Каунасского водохранилища в пределах 55—60 см, что в 2 раза превосходит максимальные колебания уровня за сутки на этом водохранилище за все время его эксплуатации. В месте сброса воды на верховой бассейн существенные изменения претерпевает режим и скорость течения. Значительная ежесуточная амплитуда колебаний уровня водоемов активизирует процессы переработки берегов, окажет влияние на условия нереста и нагула рыбы, на водную растительность, качество воды, состояние и условия использования пойм.

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

ЗНАЧЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ДЛЯ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА

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

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

методы оценки роста и сужения запасов рыб и их уловов 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 выхвата половодья вызывают сокращение нерестовых площадей, несвоевременное образование полнов, пригодных для нереста, тибель икры и производителей на перестилищах, сокращение сроков пребывания молоди на местах откорма, в связи с чем она прерывает скатывается с перестилищ. Отрицательные последствия зарегулирования стока водохранилищами для рыбного хозяйства особенно сильно сказываются в маловодные годы. Для сохранения стада производителей проходных рыб следует обеспечить использование перестилищ, расположенных выше плотин гидроузлов. В этом отношении большое значение имеют рыбходы и рыбоподъемники. Большой известностью пользуются успешно работающие рыбходы для пропуска лососевых рыб на реках Колумбия, Тулома и рыбоподъемники для осетровых на р. Волге. Эффективна также перевозка в специальных судах-рыбонакопителях производителей, скапливающихся в шхерах бассейнов гидроузлов.

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

Располагаясь обычно в промышленных районах, большинство водохранилищ имеет важное значение для увеличения местных рыбных ресурсов, давая возможность снабжать население крупных городов живой и охлажденной рыбой. Тем самым достигается значительное 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 рыбозаводов, рыбопитомников, нерестово-выростных хозяйств¹ и организации в заливах водохранилищ товарных рыбных хозяйств для выращивания наиболее быстрорастущих рыб (кара, пелядь, ряпуха, нельма, чир, толстолобик, белый ахур и др.). Большие перспективы имеют 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, гидробиологический, гидротермический режим водохранилищ), в изучении эффективности устанавливаемых запретов и лимитов на лов рыбы и применении различных типов орудий лова, в изучении экологии 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, несправданием 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 гидроузлов и каналов и создании больших водохранилищ. Для речного транспорта желательнее начинать строительство гидроузлов в верховьях рек, поскольку в этих случаях водохранилища увеличивают судоходные глубины на наиболее мелководных участках рек. Иногда в интересах речного транспорта строительству гидроузлов предпочтительнее 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 волны. Потери времени на проход судов через плотины значительны: в среднем каждое плотинование 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 ПВХ объясняется тем, что молодь выпускают из шлюзов прямо в реки или из каналов в водохранилища. Большое количество молоди наводывается хищниками, или она гибнет из-за недостатка пищи. Молодь надо вывозить и доращивать на мелководных подзаводах (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. Финансовая длительность навигации на водохранилищах по сравнению с ее продолжительностью до создания водохранилища уменьшилась, эксплуатационный период при регулировании стока даже увеличился, так как осенью в бытовых условиях из-за мелководья и более интенсивного льдообразовании 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 полусуток в выходные дни резко снижаются глубины, в связи с чем невозможно в полной мере использовать повышенные полусуки в остальные дни недели. Отрицательное влияние суточных и недельных колебаний расходов проявляется также в резком переформировании перекатов и быстром зароскании судовых пропеллеров.

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

Несмотря на указанные отрицательные последствия, преобразование режима рек водохранилищами в СССР в конечном счете сыграло решающую роль в развитии речного транспорта за последние десятилетия, что наглядно видно на примере Волги и Камы. Гарантируемые глубины на ранее судоходных участках Волги возросли в 1,5—2, на Каме — в 2—2,5 раза, судоходным стал участок Волги от Рыбинска до 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 теплоходов на подводных крыльях ликвидирует один из наиболее существенных недостатков речного пассажирского транспорта — тихоходность. В перспективе скорость движения этих судов повысится.

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

страны в ближайшие морские порты без перевалки на морские суда. Речные суда разряда «О» грузоподъемностью 2000 т и выше, а тем более суда разряда «М» с некоторыми ограничениями обычно можно использовать и для каботажного плавания, так как большую часть года высота волн на морях, омывающих берега СССР, не превышает 3 м. Уже в 1965 г. из внутренних районов СССР грузы в судах без перевалки перевозились в порты Балтийского моря (Рига, Клайпеда, Калининград), во все порты Каспия, Белого моря, а также в порты Польши, ГДР и Финляндии. Отдельные суда с лесоматериалом 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 превосходят отрицательные. Себестоимость перевозок грузов по водохранилищам в зависимости от увеличения гарантируемых глубин по сравнению с себестоимостью перевозок по реке в естественном состоянии уменьшается в 1,5—5 раз, а капиталовложения в речной транспорт — в 1,2—3 раза.

Для хозяйства некоторых стран большое значение имеют перевозки леса по рекам. 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, а следовательно, и сплавопропускной способности рек (в результате создания Камского водохранилища сплавопропускная способность Камы возросла вдвое); в обеспечении более постоянных уровней в период навигации; в возможности укрощения естественной формирования рекой, что позволяет повысить механизацию и автоматизацию рейсовых работ. Большое значение для улучшения сплота леса 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 транспортировку 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, встро повышенные условия сплава, сокращение длитель-

КЛАССИФИКАЦИЯ И ТИПОЛОГИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

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

Зарегулирование стока рек водохранилищами создает совершенно новые условия для лесосплава, учет которых при организации лесосплава по водохранилищам позволяет свести до минимума отрицательные последствия зарегулирования рек и максимально использовать положительные. Отрицательные последствия создания водохранилищ для лесосплава в Волжско-Камском бассейне были практически ликвидированы за счет создания волноустойчивых типов плотов секционной конструкции, обеспечивающей с наименьшими затратами времени 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 однообразными глубинами и с большой шириной судового хода и более постоянными уровнями на всей протяженной слиява.

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

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

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

Систематизацию с четко выраженными основаниями деления (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 высказываются различные понимания 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 пути, 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, полезная регулирующая емкость которого превышает 5 тыс. акрофутов (6,167 млн. м³, Thieme, Harbeck, 1956). Водоемы, имеющие меньший полезный объем называются прудами (pond). В большинстве стран Западной Европы и 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 перегорожен плотинкой, а искусственные водоемы, аккумулирующие сток временных паводков, независимо от их размеров относить к прудам, с нашей точки зрения, недостаточно обосновано. В странах с аридным климатом, например Марокко, Алжир, Тунис, южные штаты Индии, юго-западные штаты США, много водохранилищ расположено на временных потоках. Среди них имеются водохранилища годового и многолетнего регулирования.

Водохранилищами, по нашему мнению, следует считать искусственные и естественные (озерные) водоемы с замедленным водообменом объемом более 1 млн. м³, уровень которых искусственно повышается 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 безвозвратным изъятием из водохранилища (рыбное хозяйство, водный транспорт, рекреация, охлаждение энергетических установок ТЭС и АЭС).

В отличие от резервуаров и бассейнов водохранилища имеют преимущественно естественные ложа и берега. Существенны от-

личия и в размерах. Бассейны и резервуары обычно гораздо меньше водохранилищ, хотя некоторые верховые бассейны ГАЭС с искусственным дном и берегами имеют объем в десятки миллионов кубических метров.

Важно подчеркнуть, что водохранилища можно систематизировать по многим признакам, выбирая любые качественные свойства и количественные критерии. Однако наиболее существенны именно те признаки, которые определяют основные черты природных процессов и 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, перегороженных плотинами (в том числе и расположенные на временных водотоках); зарегулированные озера (озера-водохранилища); павильные водохранилища, водохранилища в местах выхода грунтовых вод и в карстовых районах; водохранилища, созданные в прибрежных участках моря и эстуариях, отделенных от них дамбами (Австрия, Швейцария, 1977).

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

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 (цитат 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 питаемых 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.

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

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

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

Особую группу водоемов, связанных с эксплуатацией каналов, составляют водохранилища — коллекторы сбросных вод. Водоемы этой группы создаются ниже основных массивов орошаемых земель с целью сбора возвратных вод. В районе Северно-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 принять, что озерами-водохранилищами следует считать водохранилища, 3/4 площади зеркала которых составляет площадь зеркала озера при среднем естественном уровне.

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

Существует также многочисленная группа средних и небольших зарегулированных озер, полезная емкость которых позво-

ляет обеспечивать водоснабжение, пропески, попуски воды для улучшения судоходства, а в пределах лесной зоны также попуски в период молчевого сплава леса. Многие небольшие, но глубокие горные озера превращены в энергетические водохранилища в различных горных странах на всех континентах.

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

Нередки случаи, когда озера находятся в местности, затопляемой при сооружении водохранилища, в результате чего озеро становится составной частью акватории нового водоема — озерно-речного водохранилища. Примерами расположения большого озера в верхней части водохранилища можно назвать оз. Зайсан, Белое озеро и ряд других. Оз. Зайсан стало верхним плесом Бухтарминского водохранилища (рис. 13), а Белое озерное — протопилом в Белозерский плес Шекснинского водохранилища. В качестве примера, когда «исчезнувшее» водохранилищем озеро находится в средней части водоема, можно указать Верхнетуломское водохранилище, в состав которого входят зарегулированные Хотозеро и Туимозеро. Некоторыми водохранилищами «поглощены» по несколько озер; примерами могут служить Иояско, Верхневожжское, Верхнетуломское водохранилища в СССР, водохранилища Черчилл, Катл-Репидс и др. в Канаде, Гурдон в Тасмании и др. Особенно характерным примером может служить водохранилище Черчилл на п-ве Лабрадор, созданное на водоразделе рек Гамильтон, Уайтфаш Фолс, Норт Ривер, Портлэнд-Крик в результате строительства нескольких десятков плотин и дамб. В акваторию водохранилища Черчилл вошли озера Мишикамю, Сангерт и др.

При затоплении 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. Волжные животные и растения таких водоемов составляют основу биоты, на которой затем формируется бентос и планктон нового водохранилища, что важно принимать во внимание при гидробиологических исследованиях и прогнозах.

К специфической (по цели создания) категории относятся водохранилища, питающиеся подземными водами (в частности вселяющиеся в качестве емкости подземные пустоты). В том или ином количестве подземные воды поступают в большинство водохранилищ. Но есть водохранилища, для которых этот источник главный. Часть запасов воды таких водохранилищ иногда находится в карстовых пустотах. Наиболее интересные примеры использования карстовых пустот для сохранения воды известны в Югославии (водохранилища 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 делет, отгороженных от моря шлюзами. Такие водохранилища можно разделить на две группы: водохранилища в бухтах и эстуариях и водохранилища среди полей. В обоих случаях соленая и солоноватая вода постепенно вытесняется пресной, пригодной для технического водоснабжения.

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

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

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

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

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

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

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

Водоохранилища равнин характеризуются следующими основными признаками: значительной площадью зеркала и площадью затопления земель на единицу объема и напора; небольшой средней максимальной глубиной (15—25 м); небольшой и средней глубиной сработки (в пределах 2—7 м); большим изменением площади зеркала при колебаниях уровня; интенсивностью переработки берегов и подтопления 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) глубина; большая глубина сработки (до 10—20 м); меньшая (чем на равнинах) интенсивность переработки берегов; высокие и в большинстве своем крутые берега, что затрудняет хозяйственное освоение береговой полосы; относительно большие нарушения в хозяйстве работами созданы, вследствие сосредоточения хозяйственных объектов в речных долинах.

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

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

Таблица 14
Классификация водохранилищ по высотным положениям

Типы водохранилищ	Климатические пояса				
	Субарктический	Умеренный		Субтропический и тропический	Субэкваториальный и экваториальный
		Степная часть	Холмистая часть		
Равнинные	0—200	0—500	0—700	0—1000	0—1200
Предгорные	200—500	500—1000	700—1200	1000—1500	1200—2000
Горные	Выше 500	1000—1500	1200—2000	1500—2500	2000—3000
Плоскогорные	—	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, во с небольшими поправками, по-видимому, применима 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 гомомиктические, 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 вмиктические водоемы, постоянно покрытые льдом. Невозможность полного перемешивания верхнего слоя меромиктического озера (миксомиктизма) с нижним слоем (гомомиктизмом) объясняется повышенным содержанием в воде нижнего слоя минеральных веществ. Поэтому градиент плотности воды в хемоклии на границе этих слоев всегда выше, чем градиент, обусловленный различием температуры воды в разные сезоны. Меромиктические водоемы (озера, фиорды и внутренние моря) встречаются в разных районах земного шара, их распространение зонально.

Гомомиктические водоемы, в свою очередь, могут быть разделены на следующие подтипы: холодные гомомиктические (полное перемешивание один раз в год, в начале лета); теплые гомомиктические (перемешивание один раз в год, зимой); демиктические (циркуляция два раза в год, весной и осенью, с летней и зимней стагнацией); олигомиктические (циркуляция при вторжении холодных воздушных масс, вызывающих выпадение холодных дневных осадков); полимиктические (высокогорные 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-

тическом водохранилище 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 Куйбышевское, Кремленбургское, Иловское, Каховское, Козьмодемское) создаются условия стратификации водной толщи, промежуточные между реками и озерами.

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

Сравнительное изучение соотношений между площадью водного зеркала, полным объемом водохранилища при НПУ и мертвым объемом при УМО важно для прогнозирования свойств и особенностей новых водоемов. При сравнении необходимо учитывать и климатические особенности местности, в которой создается водохранилище (в особенности годового хода 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 водоема.

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

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

ТИПИЗАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ ПО ВАЖНЕЙШИМ ПАРАМЕТРАМ

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

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

В СССР предлагалась типизация водохранилищ по их конфигурированию, в которой выделялись: озеровидные (расширенные), речные и сложной формы (Лифанов, 1946). В настоящее время есть предложения различать русловую и озеровидную формы водного зеркала (Жадия, 1961); речные и озерно-речные (Алякин, Шаронов, 1977). По сравнению с указанными схемами более детально выделялись по конфигурации пойменные, долинные, озеровидные и водохранилища сложной формы (Фортунов, 1970).

Пойменные водохранилища по конфигурации сходны с рекой в период половодья (рис. 13). В пределах большей части водохранилища бывает затоплена только пойма. В нижней, припониженной, части затопливается часть надпойменной террасы.

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

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

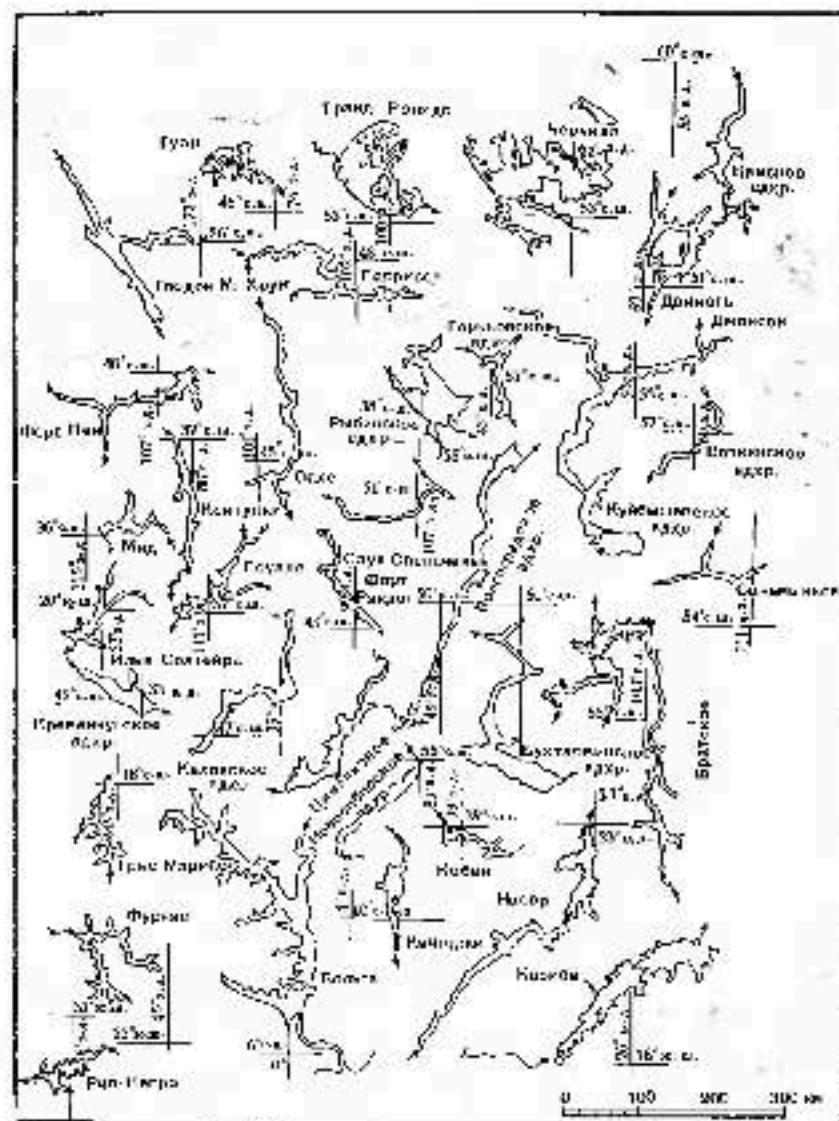


Рис. 13. Конфигурация водного зеркала ряда водохранилищ мира (Grangg, 1975). Цифрами указаны географические координаты (широта и долгота)

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 чрезвычайно извилистой береговой линией, большим количеством островов и заливов расположено в районах, ледяные шафты 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 воронкообразные 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 винообразной формы (см. рис. 13). Их акватория разделяется на два или более удлиненных, обычно извилистых, плеса, которые разветвляются выше основной пластины водохранилища. Площадь и длина этих плесов могут различаться в широких пределах. Иногда также 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
Небольшие	0,1—0,01	20—2
Мелкие	Менее 0,01	Менее 2

Общепринятой 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 глубокие водохранилища мира считались Гранд-Данксанс (высота плотины 284 м) в Швейцарии и Вайонт (262 м) в Италии. В ближайшее время глубочайшим в мире станет Пуевское водохранилище в СССР, сооружаемое на р. Вахит (высота плотины 300 м).

Таблица 16
Классификация водохранилищ по глубине

Группа	Максимальная 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
Полумелкие	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 суточного регулирования. Эта типизация очевидна и не требует особых комментариев, необходимо лишь отметить, что многие водохранилища, запроектированные для многолетнего регулирования стока, по ряду причин используются практически как сезонные регуляторы стока.

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

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

Классификация по показателю водообмена. Для характеристики водообмена и степени прочности водохранилищ, и озер различными авторами применяются разные показатели.

Большая часть этих показателей схематически отражает истинную прочность водоемов. Одним из основных и наиболее удобных массовых показателей для характеристики емкостей воды, аккумулируемой 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, Аятское, Галицкое, Сарайское, Днепропетровское, Таганское; водохранилища каскада Волга—Дон, Рейн—Майн—Дунай и др.
Небольшая	1—3	Волгоградское, Усть-Илимское, Горьковское (СССР), Ашах (Австрия)
Средняя	3—10	Рыбинское, Кузнецкое, Цимлянское, Братское, Бухтарминское, Вильямское (СССР), Зальце (Швейцария)
Большая	11—30	Черкейское, Хангайское, Красноярское, Минусинское (СССР), Каспийское, Инсерталь (Швейцария), Тауеринское, Зальцетт (Австрия)
Очень большая	31—100	Ахатанское, Туркское, Тонтогульское, Чиркейское (СССР), Паскаль-Ботел, Моэрибоден (Австрия), Гейсерахаль, Люендеро (Швейцария)
Исключительно большая	Более 100	Гранд-Джакон, Мопулан (Швейцария), Топи, Розелин (Франция), Джарское (СССР)

Таблица 18
Классификация водохранилищ по водообмену

Степень водообменности	Показатель водообменности в годах и долях года*	Примеры
Исключительно большая	Менее 0,10	Саратовское, Днепропетровское, Киевское, Угличское (СССР), из Франклина Рузвельта, Лейк-Валлиа, Мак-Пери (США)
Очень большая	0,10—0,24	Кузнецкое, Волгоградское, Новосибирское, Канское (СССР), Фиг-Бонд (США)
Большая	0,25—0,49	Кайраккумское, Кременлугское, Каспийское, Черкейское (СССР), Форт-Ралли (США)
Средняя	0,50—0,99	Усть-Илимское, Свинское, Рыбинское, Красноярское (СССР)
Небольшая	1,0—1,99	Цимлянское, Минусинское, Тонтогульское, Братское (СССР), Оак, Поуэла (США)
Малая	Более 2,0	Бухаринское, Катмаринское, Кузнецкое, Велланское, Пролетарское (СССР), Форт-Лек, Мил (США)

* Водообменность крупных водохранилищ СССР выражена в пределах от 0,05 до 4,5 года. В США водообменность водохранилищ принято выражать часами 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 аридных районах, этот показатель неудовлетворителен в связи с большими потерями воды на испарение с поверхности водного зеркала.

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

КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКОМУ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОМУ РЕЖИМАМ

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

В СССР распространена классификация природных вод по их минерализации, согласно которой природные воды делятся на следующие четыре группы (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 слабосоленоватыми водами. Однако в заливах водохранилищ многолетнего регулирования, расположенных в аридных областях, концентрация растворенных минеральных веществ в некоторых случаях 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 звеньев каскада водохранилищ формируется при взаимодействии зональных, а зональных и интразональных факторов (Фортунатов, 1970). Среди типичных примеров интразонального процесса при формировании гидрохимического режима водохранилищ, входящих в систему транзитного каскада, можно привести внедрение вод из пределов лесной зоны в смежную зону лесостепи, а далее в зону степи и полупустыни (водохранилища Волжско-Камского и Днепропетровского 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 в 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 — бихроматной и перманганатной. Однако массовые определения окисляемости вод водохранилищ, расположенных в различных природных зонах, пока недостаточны для классификации водохранилищ по этому показателю. Отметим, что хотя и косвенным, но важным показателем, характеризующим органические гуминовые вещества, могут служить достаточно простые и давно определяемые показатели цвета и степени окисляемости.

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

Группа	Степень окисляемости	Показатель окисляемости
1	Почти лишнее окисление	менее 20
2	Слабоокисляемые	20—30
3	Среднеокисляемые	40—50
4	Интенсивно-окисляемые	60—90
5	Темноокисляемые	100—200
6	Почти полностью темнокисляемые	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 соответствующим водоемом аналогом.

Для зоны тундры и большей части лесной зоны характерны воды средней, повышенной и интенсивной окраски. В тех случаях, когда бассейн питания сильно заболочен, дренарующие его реки нередко вносят в водохранилища воды цветностью 100—150 градусов.

Классификация по трофности и сапробности. В условиях усиливающегося антропогенного воздействия на водоемы большую практическую важность приобретают вопросы классификации и типизации водохранилищ по характеру и степени этого воздействия. В этом отношении может быть использован ряд показателей (критериев) и прежде всего так называемый критерий трофности. Это понятие, сформулированное, как известно, Тинсманом еще в начале века, значительно трансформировалось относительно своего первоначального смысла и трактуется ныне шире, чем понятие «кормность». В современных условиях евтрофикации водоемов рассматривается как процесс нарушения биохимической 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 сапробности, устанавливаемый по характерному видовому составу животного населения вод, в соответствии с которым выделяются олигосапробные, α - и β -мезосапробные и полисапробные 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 изосей, непрерывно поступающих с притоком, задерживается 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 эволюция водохранилищ 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 биологического водохранилища, созданных на равнинных реках, довольно четко проявляется три фазы: первая — вспышки трофии, вторая — трофической депрессии и третья — нового постепенного повышения трофии. Високт свои, к подчас весьма значительным, коррективы в эту схему антропогенная евтрофикация водохранилищ, в процессе которой в водоемы поступают избыточные количества биогенных веществ. Экосистемы евтрофированных водохранилищ при условии достаточного количества внешней тепловой энергии (солнце, сбросы тепловых и атомных станций) продуцируют огромное количество органического вещества. Однако полезная для человека биопродуктивность экосистем таких водохранилищ невелика и составляет лишь проценты.

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

Можно привести немало примеров, когда изменение режима работы водохранилищ нарушало сложившиеся относительно равновесие и активизировало геодинамические процессы. Более подробно все эти вопросы рассмотрим 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 них сам, 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 отдаленное научно-прикладное значение, определяемое прежде всего поставленными задачами (проектирование, эксплуатация, прогноз).

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

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

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

ризующих водохранилище как природный комплекс, экосистему (биогеоценоз), являющуюся водным ресурсом 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 сама по себе сложность их построения еще не гарантирует прикладной 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 видится в двух направлениях. Первый заключается в создании отраслевых типологий водохранилищ (физико-географических, гидрологических, биологических), а второй — в разработке «визитной 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 позволит организовать сбор и обработку информации по водохранилищам мира в соответствии с современными требованиями. Во-вторых, разработка подробных типологических таблиц по водохранилищам мира и создание их картотеки будет иметь важнейшее прикладное значение при решении вопросов проектирования, эксплуатации и прогноза динамики водохранилищ. Наконец, накопление такого рода систематизированных данных в конечном итоге будет способствовать обобщению и разработке как отраслевых, так и универсальных (многомерных) 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 уже специализы. Например, подробно исследовались на ряде водохранилищ США и Индии заплески (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 большому числу аспектов выше, о чем свидетельствует, в частности, большое количество научных работ (перечень основных из них приведен в работе Н. С. Сметанина (1974)), в том числе ряд монографических обобщающих работ (Авакян, Шаранов, 1962, 1968, 1977 и др.; Кибальнич, 1965; Печеркин, 1966, 1969; Румянцева, 1966; Буторки, 1969; Вендров, 1970; Влияние водохранилищ лесной зоны, 1970; Инженерно-географические проблемы..., 1972; Милерония, Хоситашвили, 1974; Дьяконов, 1975; Российский, 1975; Финаров, 1974; Шпроков, 1974; и др.) и работ по комплексной характеристике крупных водохранилищ (Водохранилище Волжской ГЭС..., 1968; Комплексные исследования водохранилищ, 1971; Киевское водохранилище, 1972; Рыбинское водохранилище..., 1972; Вспом и др., 1973). В зарубежной научной литературе известны лишь несколько работ близкого типа (Man-Made Lakes, 1966, 1973; Dams in Africa, 1968; Man-Made Lakes. Planning..., 1969; Man-Made Lakes as..., 1972; ICOLD..., 1973; Man-Made Lakes..., 1975). Поэтому приводимые данные о влиянии водохранилищ по отдельным аспектам имеют фрагментарный характер.

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

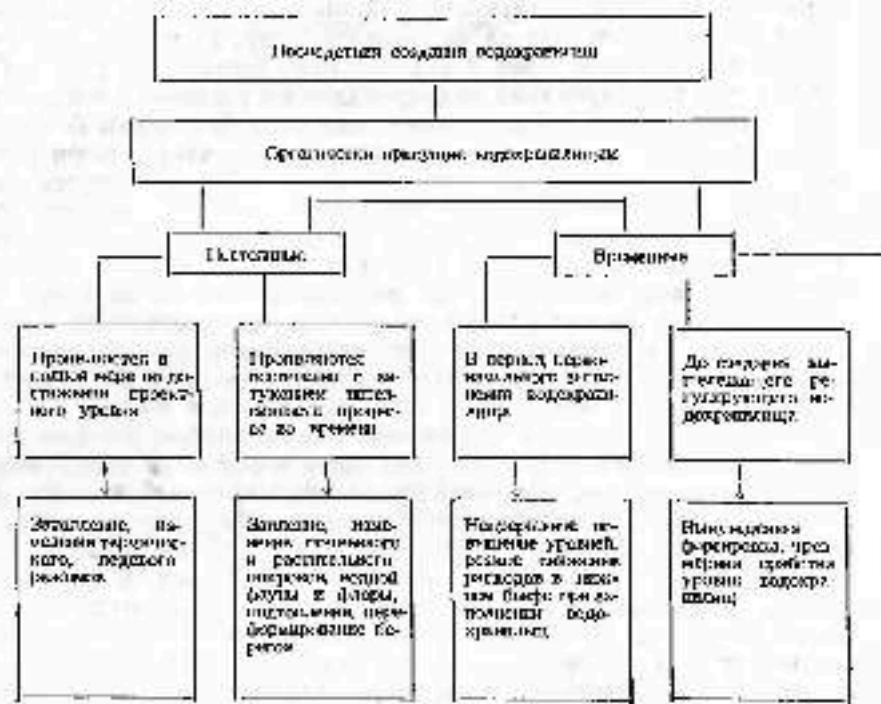
Изменения природной среды проявляются по-разному на прилегающих к водохранилищу территориях и в зонах их гидрологического и водохозяйственного влияния. Представляется целесообразным выделить следующие районы воздействия водохозяйственного строительства на природную среду: а) район самого водохранилища (его чапа и прилегающие территории); б) район влияния регулирования водохранилищем жилого 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 затвора стока из реки с подразделением на подрайон обводнения водоемов вследствие отвода воды из водохранилища в деривационные каналы или каналы ГЭС (обычно ограниченного по длине, посплыву 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 доплотительного стока на водохранилища (пропавшие таспаны, 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 затвора и уменьшения стока изменения природной среды определяются в первую очередь величиной и режимом затвора стока, наличием боковой проточности на затрагиваемом участке реки и физико-географическими условиями долины.

Сложность и многообразие воздействия водохранилищ на природную среду отмечают многие исследователи (Авакян, Шаранов, 1968, 1977; Вендров, 1970; Матарзин, 1971; Широков, 1974; Вендров, Дьяконов, 1976; Fels, 1965, 1967; Töndury, 1969; Link, 1970; Darrell, 1971; Trefelchen, 1972; Chetel, 1973; Dulbic, Ostrofsky, 1975; Chadwick, 1970). 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, Великие Американские озера и Великие Африканские озера, то можно утверждать, что создание водохранилищ существенно увеличило озерность СССР, США, а также Африки и Южной Америки. Для примера можно привести европейскую часть СССР, где площадь водохранилищ увеличилась с 20-х годов этого века на 50 тыс. км², что равносильно появлению здесь примерно пяти таких озер, как Онежское. Существенно возросла

Классификация последствий создания водохранилищ
(по А. В. Азьянгу)

озерность США, где площадь водохранилищ увеличилась за последние 60 лет с 9,7 тыс. до 30,0 тыс. км², а также таких государств, как Гана (после создания водохранилища Волата она увеличилась 3,5%), Нигерия, Замбия, Южная Родесия, Египет, Ирак, Иран, Индия, ЮАР, Мексика, Бразилия и др. В регионах меньшего размера, например в отдельных районах государств, озерность территорий в результате создания водохранилищ увеличивается иногда в несколько раз, например в ардемах 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 выходящая здесь озер, как правило, соленая или солоноватая, а большинство рек (кроме транзитных рек типа Нила, Нигера, Тигра, Евфрата, Амударьи и значительных местных рек) в сухие периоды обычно пересыхают.

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



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

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-

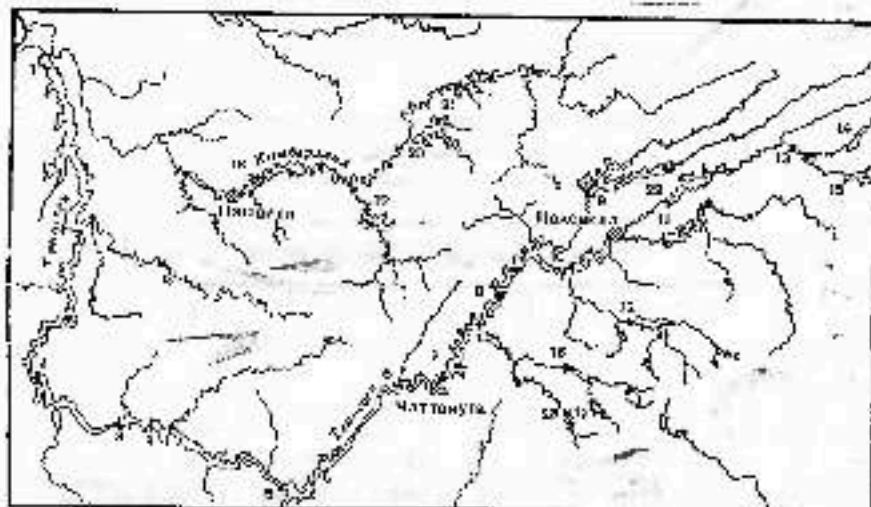


Рис. 14. Система водохранилищ в бассейнах рек Теннесси и Камберленд (Map-Made Lakes, 1973)

Водохранилища: 1 — Кантукли; 2 — Пинукки-Лэндинг; 3 — Уилсон; 4 — Уилсон; 5 — Гангс-свилл; 6 — Хейлс Бор; 7 — Чоккеттс; 8 — Уэлл-Рив; 9 — Шарри; 10 — Форт-Лоуэлл; 11 — Дуглас; 12 — Фонтана; 13 — Бью; 14 — Саут Холмс; 15 — Мотто; 16 — Ашланд; 17 — Ноттин; 18 — Камберленд; 19 — Сентер-Хилл; 20 — Дойл Холлоу; 21 — Вольф Крик; 22 — Чероки; 23 — Блу-Ридж.

остров, максимальная ширина — 20—40 км и более, площадь водного зеркала — многих тысяч, а по крупным озерам водохранилищам — десятков тысяч квадратных километров. При этом на всем протяжении на первых местах оказываются в несколько раз большей 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 выступами плотинами в узких долинах.

Большие водохранилища, со значительной площадью и значительным объемом воды, уровень которой поднят плотной 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, Теннесси (рис. 14), Колумбии (рис. 15) и ряде других рек. Примерами каскадов с перерывами участками реки между некоторыми водохранили-

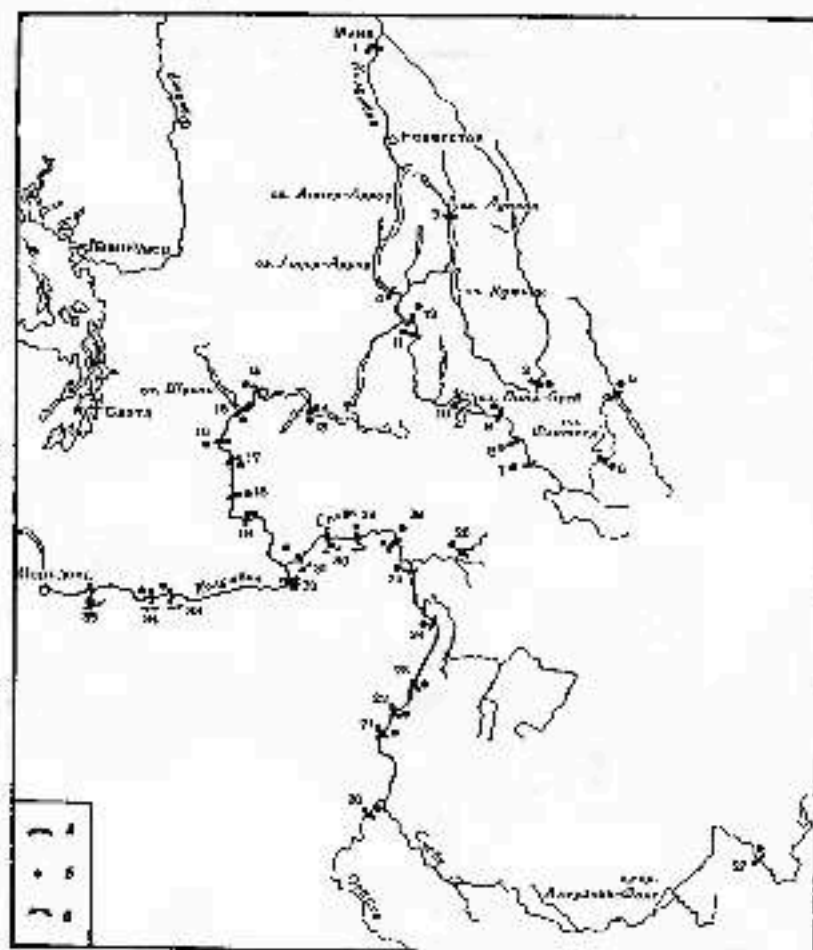
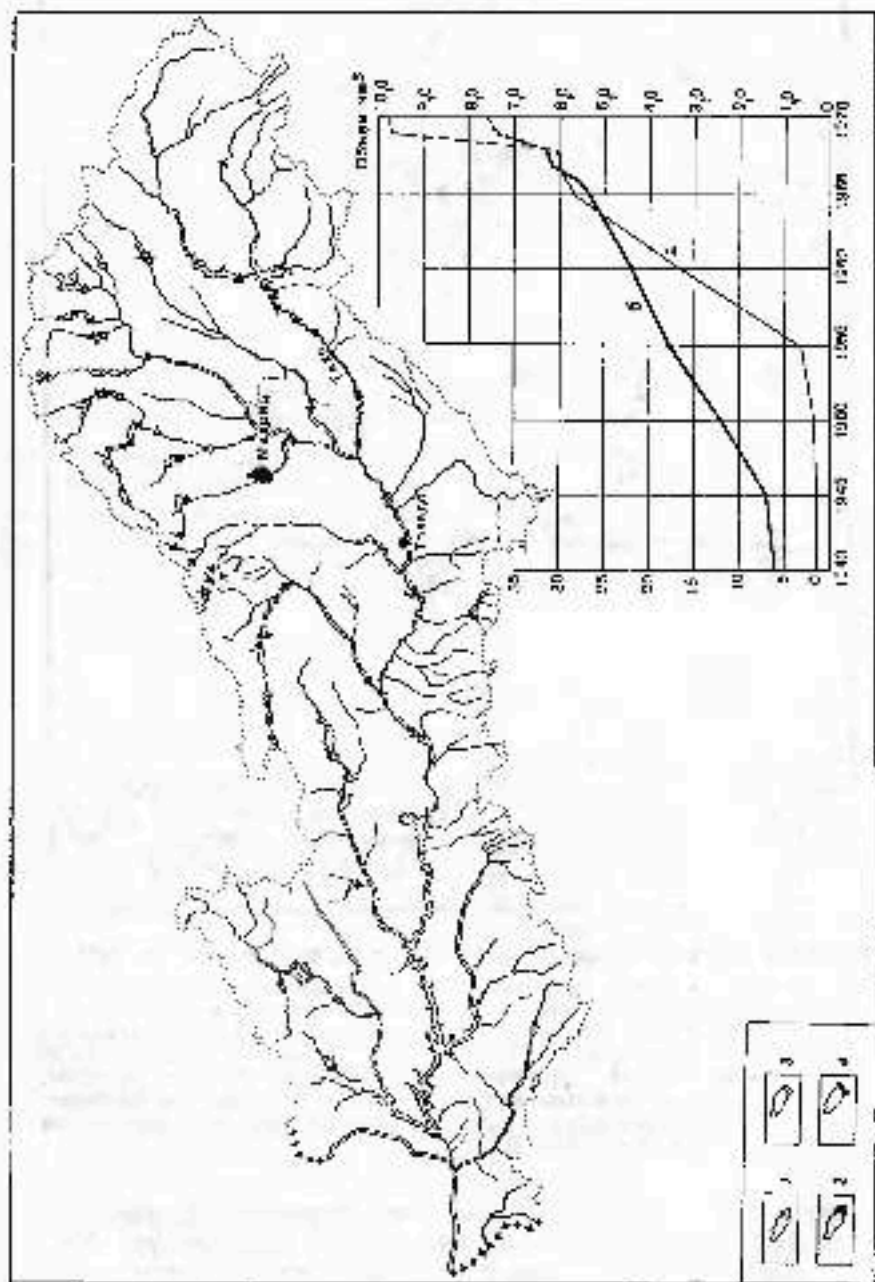


Рис. 15. Система водохранилищ в бассейне р. Колумбии (Grispy, 1974)

1 — плотины; 2 — гидроэлектростанции; 3 — паводковые плотины; 4 — водохранилища; 5 — плотины; 6 — плотины; 7 — плотины; 8 — плотины; 9 — плотины; 10 — плотины; 11 — плотины; 12 — плотины; 13 — плотины; 14 — плотины; 15 — плотины; 16 — плотины; 17 — плотины; 18 — плотины; 19 — плотины; 20 — плотины; 21 — плотины; 22 — плотины; 23 — плотины; 24 — плотины; 25 — плотины; 26 — плотины; 27 — плотины; 28 — плотины; 29 — плотины; 30 — плотины; 31 — плотины; 32 — плотины.

щами могут служить каскады на Сырдарье, Дунае, Тахо (рис. 16), Дуэро, Евфрате, Оранжевой, Снейке, Миссури, Колорадо, Грималье, Риу-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 отдельных водохранилищ и переброски стока из них в другие речные бассейны также нередко вызывают существенные изменения гидрографий 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, Рион, Аракс, Рона, Рейн, По, Муррей, Сакраменто, Дезавар, Рио-Негро и т. д.

Весьма существенные изменения в гидрографии происходят в результате создания водохранилищ, предназначенных для переброски части стока из одной реки в другую для орошения земель, водоснабжения, создания речных путей. Так, канал им. Москвы, реки Москва и Ока ниже Коломны стали фактически рукавом Волги с существенно увеличившимся стоком по сравнению с естественным. Значительно изменилась гидрография Северного Кавказа и Нижнего Поволжья в результате переброски части стока Кубани в реки Егорлык и Калаус, строительства ханжонских водохранилищ, канала Волга-Дон, водохранилищ в бассейне Кубани и др. Местами переброски речного стока осуществляются в ряде речных бассейнов Испании, 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 несколько 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. Схема каскада водохранилищ на р. Таго (Образ тейлэзэс, 1969)

Водохранилища государственные: 1 — проектируемые; 2 — существующие и проектируемые. Водохранилища частные кооперативные: 3 — проектируемые; 4 — существующие и проектируемые. По графикам — динамика роста за период 1949—1968 гг.: а — объема водохранилищ; б — количества водохранилищ.

Таблица 11

Суммарные данные по некоторым каскадам водохранилищ

Река	Страна	Кол-во водохранилищ	Объем, км³		Гидроэнергетический потенциал, тыс. кВт	Средняя длина водохранилища, км	Среднее полезное водохранилище
			летовый	зимний			
Европа							
Волга	СССР	9	142,6	70,6	20,5	2900	ЭСИРА
Днепр	»	8	43,8	18,3	7,0	910	ЭМСРБ
Нижний Вольга	»	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	ЭС
Арма	Болгария	5	1,0	1,0	0,1	...	ИЭ
Волга	Чехословакия	7	1,3	0,9	0,1	200	ЭСВ
Тахо	Испания	11	7,8	8,0	0,3	500	ИЭ
Дуэро	»	5	2,3	1,1	0,1	300	ЭП
Азия							
Ангара	СССР	3	276,3	97,4	40,3*	1500**	ЭСЛ
Наран-Сурдарь	»	6	30,1	21,4	1,8	250	ИЭН
Кура	»	3	18,6	8,8	0,7	125	ЭИЛ
Евфрат	Турция, Сирия	3	52,4	29,7	1,7	500	ИЭН
Дамодар **	Индия	5	2,5	Нет данных	0,3	Нет данных	ИЭ
Северная Америка							
Ла Гранд	Канада	5	138,6	88,6	0,6	650	Э
Манитоба	»	5	156,7	Нет данных	2,5	400	Э
Колумбия	Канада, США	15	58,3	20	1,5	1500	ЭАС
Снейк	США	8	7,2	3,0	0,5	Нет данных	Э
Миссури	США	8	97,0	83,4	4,9	500	НИЭС
Темпеган	»	15	32,4	16,0	3,5	1240	НЭСВ
Нис-Плейн-Ривер	»	7	6,6	6,5	0,4	Нет данных	ЭВН
Кларк	США, Мексика	11	78,2	66,6	1,5	1400	ИЭН
Гринландия	Мексика	4	16,2	Нет данных	Нет данных	300	ИЭ
Южная Америка							
Парана с Паранагвай	Бразилия	5	75,4	То же	3,8	500	Э
Риу-Гранди	»	5	41,0	»	3,0	Нет данных	Э

Примечания: * С учетом Байкала;

** 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 пламенность, где водные связи связаны каналами все крупнейшие реки Польши, ГДР, ФРГ, Франции, а в персидские появиваются устойчивые водохозяйственные связи с бассейном Дуная (по каналам Рейн—Майн—Дунай, Лаба—Дунай и др.). Тесные водохозяйственные связи возникли в результате создания водохранилищ и каналов между некоторыми речными бассейнами в США и Канаде, в Скандинавских странах, Австралии и т. д. (Varlet, 1966; Michaels, 1975; Amyot, 1976).

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

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

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

ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК

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

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

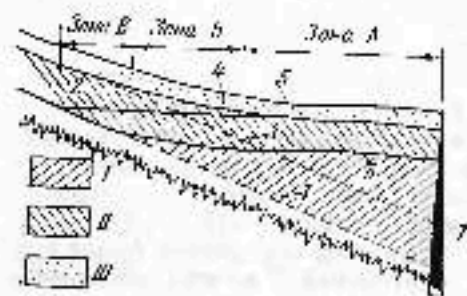


Рис. 19. Основные элементы и зоны водохранилища

1 — засыпной уровень реки до сооружения водохранилища; 2 — нормальный полноводный уровень (НПВ) водохранилища; 3 — уровень реки в полноводье до сооружения водохранилища; 4 — НПВ водохранилища в паводок; 5 — фиксированный уровень водохранилища; 6 — уровень сработки; 7 — плотины; I — мертвый объем; II — основной объем; III — резервный объем. Зоны водохранилища: А — низшая; Б — средняя; В — верхняя

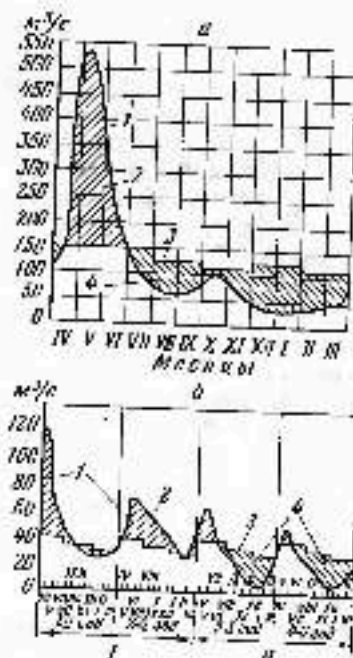
областях с редкими и интенсивными ливнями (Средиземноморские страны Европы и Африки, Ближний Восток, Австралия, Южная Африка, Запад США, Аргентина и др.), требуются, как правило, более емкие водохранилища и с большим приливоводковым объемом, который должен быть свободным от воды большую часть года.

Данные о соотношении полезного объема водохранилищ мира и годового стока и о степени регулирования ими речного стока имеются для СССР и США, а также для ряда крупных водохранилищ мира. Эти данные позволяют считать, что на земном шаре достигнута высокая степень регулирования стока многих интенсивно используемых рек. Так, в СССР многолетнее и сезонное регулирование стока осуществляют примерно $\frac{3}{4}$ водохранилищ; в США из 465 водохранилищ объемом более 100 млн. м³ примерно 360 водохранилищ, т. е. также $\frac{3}{4}$, многолетнего и сезонного регулирования (за критерий принят коэффициент регулирования более 0,1—0,15; Martin, Nelson, 1966).

Высокая степень регулирования характерна для озерных водохранилищ Канады, Скандинавии, Японии, Тасмании и некоторых других регионов, для горных водохранилищ всех стран, а также для большинства пустынных и сухостепных районов земного шара и для лесных рек тропических и субтропических стран. В части этих регионов мира созданы более емкие водохранилища благоприятствуют природные условия (узкие створы, скальные породы, акватория озер и т. п.) и не препятствуют большим нарушениям в хозяйстве (здесь при создании водохранилищ затоняются, как правило, относительно небольшие площади

Рис. 20. Пример графика регулирования стока водохранилищем

и — исходное;
1 — фактический расход;
2 — объем воды, накапливаемый в водохранилище;
3 — регулируемый расход;
4 — объем воды, расходуемый из водохранилища;
6 — минимальное;
1 — объем воды, накапливаемый в водохранилище;
2 — фактический расход;
3 — регулируемый расход;
4 — объем воды, расходуемый из водохранилища;
Г — истовые воды;
II — многолетние сток (Лавин, Павлов, 1977)



для ценных земель и малое количество хозяйственных объектов). И наоборот, в плотно заселенных и интенсивно освоенных в сельскохозяйственном и промышленном отношении странах и районах, приуроченных в основном к умеренному и субтропическому поясам, удельный вес водохранилищ сезонного регулирования значительно ниже, а водохранилищ многолетнего регулирования относительно мало. Примером могут служить равнинные части ряда стран Европы, многие районы США, европейской части СССР (Украина, Прибалтийские республики, Центр, Урал, Северный Кавказ).

Степень зарегулированности стока рек на земном шаре непрерывно растет. В начале 70-х годов было зарегулировано уже около $\frac{1}{3}$ части рек земного шара; ожидается, что к 2000 г. их число существенно возрастет (The eleventh..., 1973). В США водохранилища еще в середине прошлого десятилетия могли принять и свои части $\frac{1}{3}$ всех выпадающих осадков (Fels, 1967).

Многолетнее и глубокое сезонное регулирование речного стока (рис. 20) осуществляют многие крупнейшие долговые водохранилища мира (Братское, Карiba, Пасер, Вольга, Гордон М. Хрум, Зейское, Саньмынься и др.), абсолютное большинство водохранилищ, образованных в результате подпора озер (Виктория, Даниэль-Джарсон, Чарилла, Бухтарминское, Байкальское, Онтарио, Онежское, Нипитон, Ненерн и многие другие водохранилища СССР, Канады, Скандинавских стран, Тасмании),

многие водохранилища горных и предгорных районов, используемые в основном для гидроэнергетики, а также мелиоративные 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 коэффициенты 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 Минд, Форт-Пик, Кентукки, Флеминг-Гордж, Тринити, Элефант-Бут, Руавильт и др.). Таким образом, преобладающая часть больших водохранилищ США позволяет регулировать сток в многолетнем разрезе. В СССР из 66 существующих и строящихся водохранилищ объемом более 1 млрд. м³ многолетнее регулирование стока осуществляют 24 водохранилища, из них у 15 коэффициент регулирования составляет 0,5—1,0 и у 7 — более 1,0.

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

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

Гидрологические процессы в водохранилищах и в нижних бьефах гидроузлов в зарубежных странах протекают с теми же закономерностями и особенностями, какие достаточно подробно изучены в СССР и описаны в советской литературе (Бахтзаров, 1961; Кусков, 1964; Попов, 1965; Калинин, 1968; Бугорин, 1969; Вендров, 1970; Грин, 1971; Реяшниковский, Рубинштейн, 1974; Россинский, 1975; Авакян, Шарипов, 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 весеннего половодья (в умеренном и полярном поясах), летнего паводка (в экваториальных районах с ледниковым питанием рек) или в конце многоводного периода (плодородного 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 продолжительности и величина спада уровня различны в за-

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

Водохранилища:
а — Гореканское (экватор.);
б — Куйбышевское (гадацин.);
в — Рыбинское (экваториальное).

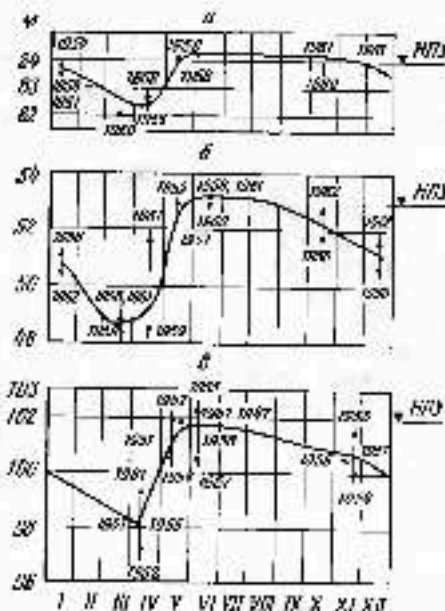
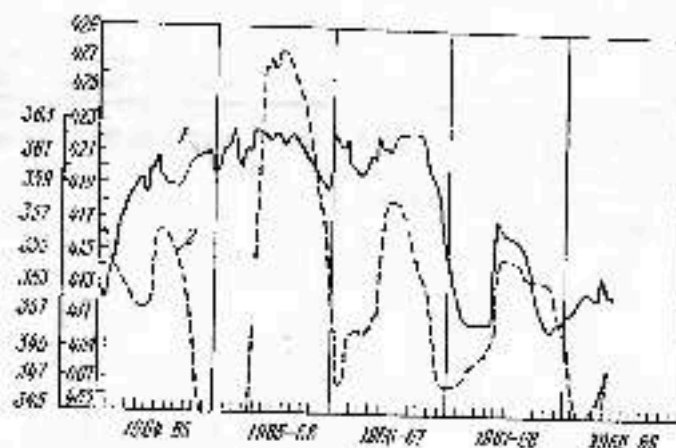


Рис. 22. Режим уровня водохранилища на р. Гладанис (Образ realized..., 1969)

Водохранилища:
1 — Гидро для Сога;
2 — Сингир.



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

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

мости от типа гидроэлектростанций (плотинная, 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, охлаждения, водного транспорта, рекреации и гидроэнергетики (кроме горных районов), и значительная сработка в странах и районах с большим значением ирригации и борьбы с наводнениями.

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

Таблица 20
Отношение полезного объема водохранилищ к полному их объему
в СССР и США и их отдельных регионах

Страна	Регионы	Количество водохранилищ	Объем водохранилищ, млн м ³		Отношение полезного объема к общему, %
			Общий	Полезный	
СССР	Всего	202	1137,3	540,9	47
	В том числе:				
	ЕЭС (кроме Северного Кавказа)	113	318,1	161,3	51
	Средняя Азия и Казахстан	50	114,1	61,0	54
	Кавказ	35	60,2	32,4	54
США	Сибирь	15	555,8	237,5	43
	Всего	1187	500,8	443,4	88,5
	В том числе:				
	Тихоокеанский Северо-Запад	121	48,9	33,9	69
	Северо-Восток	203	19,3	18,9	97
	Юго-Запад (штаты Техас, Нью-Мексико, Юта)	130	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%, плохой, 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 годовую сток реки в створе плотины, поэтому их первоначальное заполнение до отметки НПУ производится, как правило, в течение ряда лет (Братское, Дамель-Джонсон, Бухтарминское, Касан, Гордон М. Хрум, Волга г. др. 6—8 лет, Иркутское и Насер — 4 года и т. д.). Такое длительное заподнение обуславливает ряд затруднений при подготовке ложа этих водохранилищ.

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

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

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

Изменения в результате создания водохранилищ таких гидрологических явлений, как течи, волнобой, 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 водобюжета в водохранилищах, поскольку в индустриально развитых и плотно населенных странах (зарубежная Европа, Северная Америка, Япония, некоторые страны на других материках) реки сильно загрязняются; фактор водобюжета 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 аридных зонах земного шара с поверхности водохранилищ испаряется слой до 2000 мм и более (Zapke, 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, Кароба, Кабора Басса, Вольта, Каинджи и Косу) ежегодно испаряется более 35 км³, что соответствует суммарному полному объему таких водохранилищ, как Косу и Каинджи. На величину испарения с водохранилищ влияют, помимо географической широты и высотной поясности, в частности, площадь и режим эксплуатации вытекающих водохранилищ. Так, после создания емкого водохранилища Пуэбл на р. Колорадо испарение с акватории расположенного ниже водохранилища Мид уменьшилось с 2170 до 1910 мм; причиной этому было поступление из водохранилища Пуэбл более холодной воды, чем до его создания (Hoffman, Lopez, 1973). Аналогичное явление наблюдается на Усть-Каменогорском водохранилище после создания Бухтарминского гидроузла на р. Иртыш.

Ледовый режим водохранилищ и нижних бьефов, которому в СССР уделяется большое внимание, для многих зарубежных водохранилищ не имеет значения, так как ледовый покров и 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 первые годы

после подпора реки и как следствие этого бурное развитие водной фауны и флоры, особенно бактерий, водорослей, высшей водной растительности и рыбы. В наиболее интенсивной форме это явление наблюдалось в водохранилищах, создававшихся в жарких поясах земли, например на водохранилищах Кароба, Вольта, Каинджи, Броклендо, Уболратана и др. (Кинауи, Меллуда, 1975; Dan's in Africa, 1968; Cheret, 1973; Inevbore, 1975; Chamlong, Narinasuta, 1975).

Для ряда водохранилищ мира характерно засоление воды в результате ее контактов с засоленными грунтами и грунтовыми водами. В советской литературе отмечено влияние на качество воды гипса и других пород на Камском водохранилище (Печеркин, 1969). Такое же явление наблюдалось на водохранилище Шоунда 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 промылок 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-геологической 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. И. Раткович, Н. В. Рослова, Г. И. Шамоц, X. Абиджитев, И. Бачев, I. Bujoi, Brune, 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 большого количества и массовых наблюдений на водохранилищах советскими и зарубежными учеными (Н. В. Бутория, Н. Г. Варашинский, С. И. Вендров, Л. В. Иконников, Ю. М. Матарзиди, Е. Е. Минервина, 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-

налась необходимость более тугкого 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

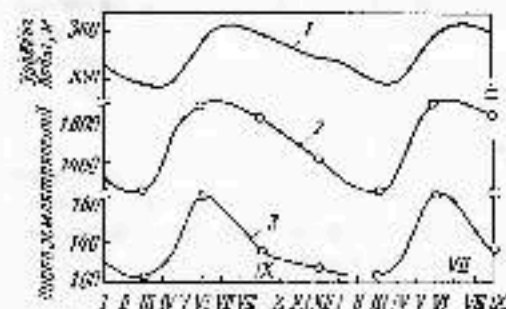


Рис. 23. Сравнение уровня воды в водохранилище Мид с количеством землетрясений в его районе за период 1939—1951 гг. (Man-Made Lakes, 1973)

1 — колебания уровня воды;
2 — число зарегистрированных землетрясений (периодические колебания по 5-минутным интервалам);
3 — число опущенных землетрясений (периодические колебания по 5-минутным интервалам)

возникновении землетрясений в период наполнения 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), Кариба (Африка), Майла, Койла, Курба (Азия), Кремста, Марафон, Белеча, Грандид, Молгайяр, Каньялес (Европа); в СССР локальная сейсмичность проявилась в районе Нурекского водохранилища, на примере которого можно показать степень изменения сейсмической активности. До его заполнения район отличался слабой 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, вызванных 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 (Школяев, 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 и продолжительность периода ледостава. Водохранилища, расположенные на севере Евразии и Северной Америки, свободны от 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 климатических поясах. Интенсивность волновой деятельности во многом зависит от топографии района водохранилища. У горных

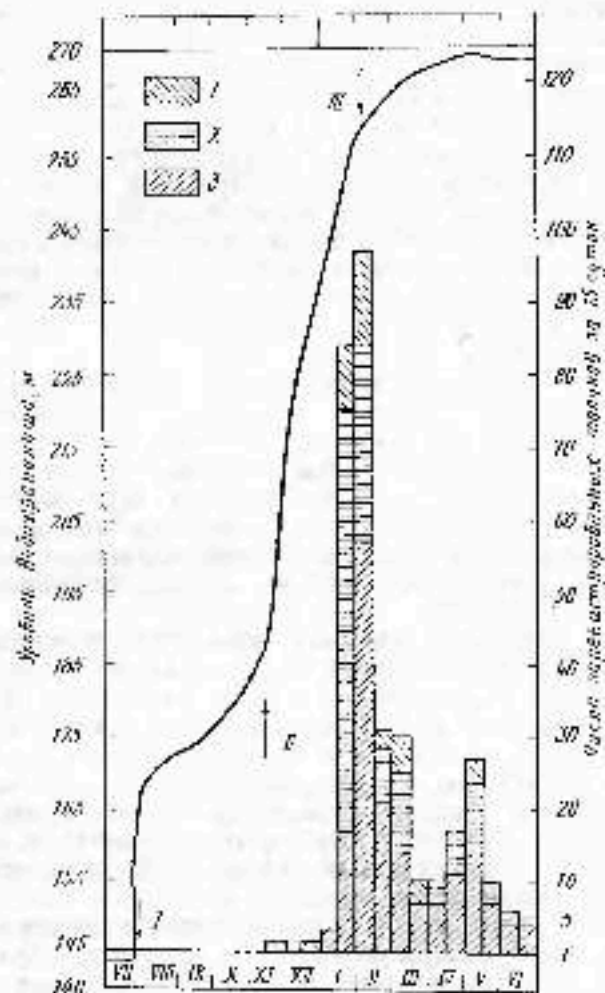


Рис. 24. Связь изменений уровня воды в водохранилище Кременское с сейсмической активностью в его районе (Man-Made Lakes, 1973)

1 — изменение уровня водохранилища (июль 1965 г.); 2 — изменение уровня воды в водохранилище; 3 — наиболее значимые зарегистрированные землетрясения (45 февраля 1966 г.). 1 — число толчков, зарегистрированных за двух-суточными; 2 — число толчков, зарегистрированных на водохранилище; 3 — число толчков, зарегистрированных на водохранилище

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

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

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

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

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

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

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

В формировании берегов водохранилищ велика роль антропогенного фактора, не только определяющего положение береговой зоны, но и формирующего ее как непосредственно путем строительства дамб, обваловывающих водохранилища, так и косвенно. К таким косвенным мероприятиям можно отнести создание в береговой зоне пригатишско-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. Вепдров (1959) у больших равнинных водохранилищ выделяет следующие пять гидрологических зон, каждая из которых характеризуется спецификой гидродинамических условий и формирования берега (см. рис. 19).

1. Прилиженная 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 прилиженной зоны, а при сработке уровня водохранилища в этой зоне остается озерайным, 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 откладывается преобладающая часть приносимых рекой наносов и быстро формируется прибрежная отмель.

4. Зона инклинивания 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 залыжение их материалом, сносимым с берега.

Вследствие многообразия сочетаний указанных факторов и условий формирование берегов водохранилищ протекает на разных водохранилищах и различных участках одного и того же водохранилища весьма неодинаково. Имеются, по всей видимости, четкие зональные различия, однако они практически не освещены 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 плывуками, за 4,5 года отступил на 750 м. В других случаях берега практически остаются неизменными. Материал, поступающий с берегов и прилегающий вдольбереговой течением, накапливается на прибрежных мелководьях и в заливах, имеющих невысокую гидродинамическую активность; здесь формируются прибрежные аккумулятивные формы: отмели, косы, пересыпи. В результате размыва одних участков берега и аккумуляции материала в заливах береговая линия водохранилища постепенно становится более кривой и плавной. Так, протяженность береговой линии Куйбышевского водохранилища за 1959—1963 гг. сократилась с 2500 км до 2100 км, а коэффициент извилистости уменьшился с 8,9 до 7,4.

В результате гидродинамических процессов у водохранилищ формируются два основных типа берегов: абразионные и аккумулятивные. Некоторые исследователи выделяют также берега пайтального 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 пределами зоны непосредственного переформирования берегов. Особо следует отметить существенное понижение базиса эрозии, создание устьев и заметное уменьшение площади водосбора небольших оврагов и ручьев, подъем уровня грунтовых вод и т. п.

В результате воздействия местных рельефообразующих процессов генетически однородные берега водохранилищ приобретают существенные различия, позволяющие разделить их на ряд типов. Так, среди абразионных берегов выделяются обшаластые, пыльные, эрозийные, оползневые, плавучие, солифлюкционные, карстовые, торфяные и др. Аккумулятивные берега можно разделить на элюво-дюнные, дельтовые, пересыпные, илово-соляные, спланинно-затрфованные, ракушечные, кашкиновые 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, углубивших под воду, затрудняет развитие прибрежных отмелей и, следовательно, способствует абразии во время следующей стадии развития берега.

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

Первая стадия периода стабилизации длится достаточно долго, нередко десятки лет. В это время берег формируется под воздействием абразионно-аккумулятивных процессов, широко развивающихся вдольбереговые потоки наносов, заметно возрастает значение пелюшковых 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 подповерхностных функций водохранилища, тектоническими движениями, циклическим 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 смениться периодами их интенсивного прироста (Печерский, 1969; Вендров, 1970; Мазаране, 1971; Широков, 1974).

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

У водохранилищ, расположенных в умеренных широтах, процессы волновой абразии выражены в наиболее чистом виде. Формирование прибрежных отмелей определяется характером вдольбереговых потоков и волновой 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, и результате обрушения берегов, сложенных легко размываемым материалом, и за счет большого количества песчаного и пылеватого материала, приносимого ветром. Прибрежные отмели интенсивно заболачиваются и засоляются, вдоль уреза формируется пояс тростниковых или камышовых зарослей.

Характер процессов формирования берегов горных водохранилищ обусловлен относительно малой ролью 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 вдольбереговые потоки развиты слабо; например, аккумулятивные отсыли у закавказских водохранилищ захватывают лишь 3% береговой линии (Минералов, 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 вводом в каскад новых водных объектов. В результате с учетом непериодических увеличений водности реки конечная стадия развития берегов может быть продолжительнее, чем у одиночных водохранилищ.

Заведение 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) гирдулирование фитопланктона и высшей водной растительности; 4) физико-химические процессы в водоеме и 5) эоловые процессы.

Если у естественных внутриконтинентальных водоемов в балассе наносов доминирует материал, поступающий с поверхностным стоком, то у большинства равнинных водохранилищ в первые годы их существования донные отложения формируются преимущественно за счет продуктов разрушения берегов и дна; с течением времени их количество убывает и начинают преобладать наносы, поступающие с поверхностным стоком. Так, за первые 12 лет существования Угличского водохранилища (1939—1951 гг.) среднегодовое количество обрушенного грунта превышало суммарный сток внешних наносов в 2,3 раза, в последующие десятилетие они были примерно одинаковы, а в начале 60-х годов количество речных наносов начало превышать поступление материала за счет береговой абразии (Бут-

рин и др., 1975). У горных водохранилищ, берега которых сложены скальными породами, это соотношение существовало 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 фитопланктона и высших растений также служат заметным источником пополнения донных отложений. Их количество в водохранилищах зоны умеренного климата составляет 1—6% от общей суммы наносов, а у водохранилищ, расположенных в районах с арктическим и тропическим 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 хо-

Таблица 21

Количество песка, поступающего в водохранилища из основных источников (Шерков, 1974; Буторин и др., 1975)

Водохранилище	Год ввод- ления	Сток наносов	Размыв бере- гов и дна	Продукты разложения и гибели вы- сшей раститель- ности	Всего
Ишимское	1937— 1968	82,56	11 440	1150	21 640
		26,26	68,1	5,3	100
Угличское	1941— 1968	71,66	10 700	850	18 410
		38,9	58,1	3,0	100
Рыбинское	1941— 1968	18000	80 600	2400	108 500
		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 — лит., в знаменателе — %.

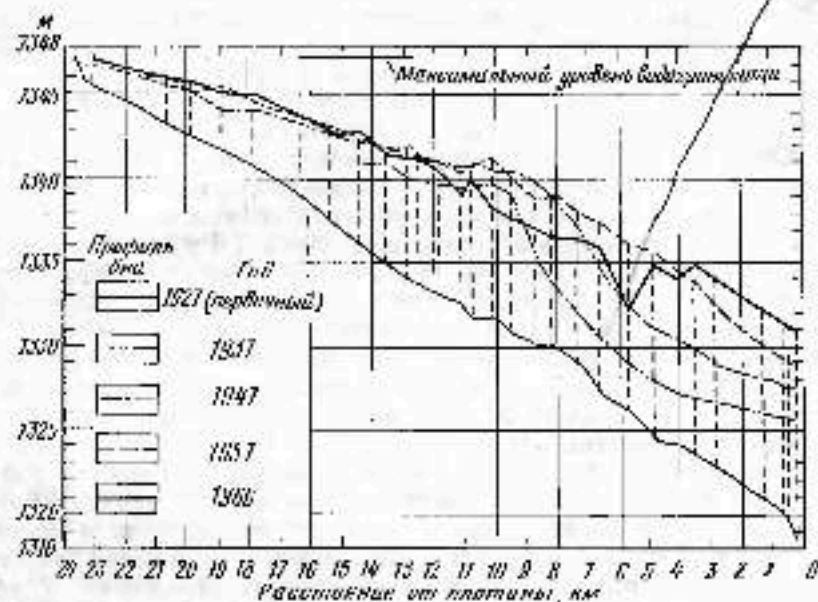


Рис. 26. Изменение водохранилища Герген на р. Норт-Шлейх (США) (Man-Made Lakes, 1973)

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

Для замены этого водохранилища было построено 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 сбросов 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. Бугорин и др. (1975) при изучении верхневолжских водохранилищ разделили донные грунты на три основные группы: а) первичные затопленные долины, существенно не изменившие свои свойства; б) трансформированные затопленные почвы, в значительной мере утратившие прежние свойства; в) вторичные грунты (галечники, пески, ил, образовавшие 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. Илловые пески образуются на границе распространения песков, где наблюдаются изменения гидродинамической активности. Илосистые и серые илы делятся по происхождению на аллювиальные и местные; первые образуются из наносимых в водохранилище аллювиальных наносов, и жесток их накопления служат зоны выклинивания подпора, а жесткие илы формируются в основном из продуктов 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 наполнением водохранилища. Размыв и переуглубление дна течениями чаще наблюдается у русловых водохранилищ. Размыв в результате волновой деятельности обычно происходит на участках акваторий с глубинами не более 8—10 м. Плавнировка дна как в мелководной, так и глубоководной зонах происходит за счет отложений наносов и понижения рельефа.

Из зоны размывания взвешенный материал поступает в открытую часть водоема, где и осаживается на дно, образуя слой песчано-иловых или иловых отложений. Наибольшая мощность их наблюдается в зажатых котловинах (затопленные овраги, старицы и межречные низины). С удалением от берега и по направлению к плотине мощность отложений уменьшается.

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

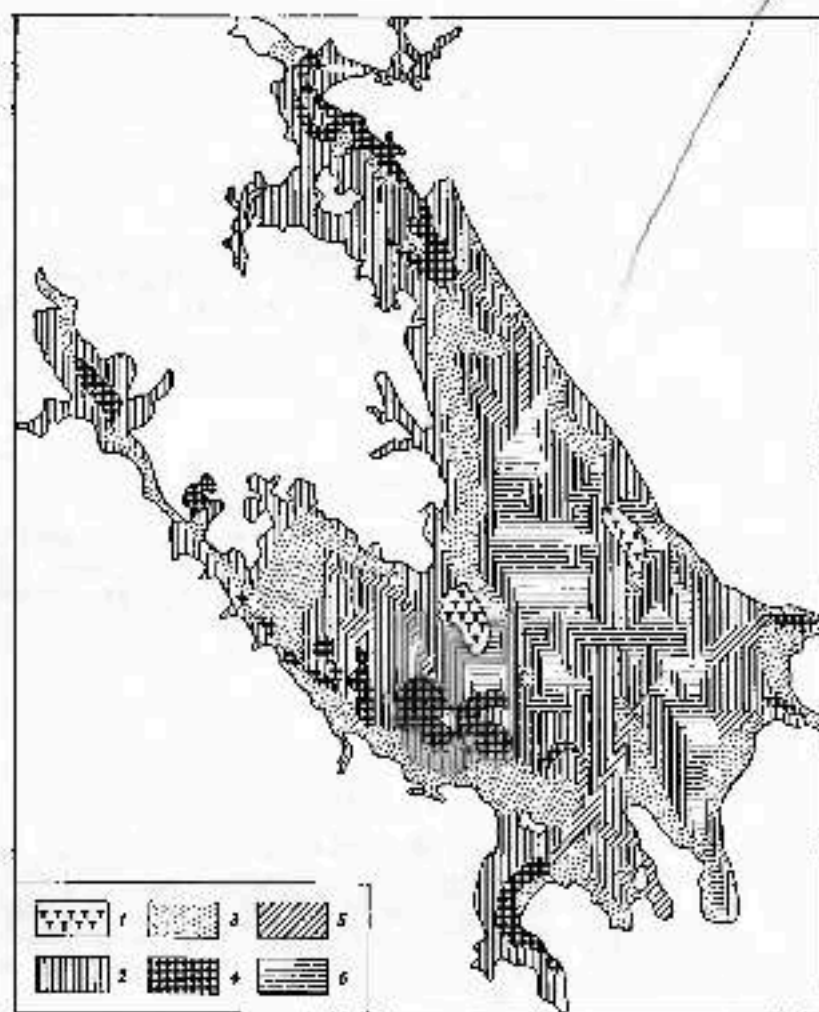


Рис. 26. Схема распределения дольных отложений на Рыбинском водохранилище (Бутурин и др., 1975)

1 — мелководный торфяной ил; 2 — ил; 3 — песок и илистый песок; 4 — песчаный серый и серый ил; 5 — переходный ил; 6 — осредненный ил

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

Таблица 22

Распределение дольных отложений в верхневолжских водохранилищах, % от площади водохранилища (Бутурин и др., 1975)

Тип грунта	Водохранилища		
	Ивановское	Угличское	Рыбинское
Мелководные почвы	41	19	55
Пески и илистые пески	10	17	20
Господствующий серый и серый ил	45	64	8
Торфянистый ил	—	—	13
Переходный ил	—	—	4
Отложения на мелководьях	4	<1	<1

Во вторую стадию также интенсивно обрываются прибрежные 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 ложа водохранилища принадлежит процессам перемещения наносов вдоль берега, отложения и занесения заливов; происходит также медленное зарастание мелководий, завершается формирование комплекса дольных отложений. Во время второй стадии рельеф ложа 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 дольных отложений и, следовательно, рельефа ложа 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 избыточные наносы только при транзитном сбросе весеннего половодья по каскаду и с притоков. При этом поступление твердого стока в дельту реки резко сокращается.

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

наносов, поступающих в дельты или устья. Уменьшения поступления наносов в дельты рек было зафиксировано на Волге, Кура, 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 защитных дамб, опоры мостов, территория береговых населенных пунктов и т. п. (Кизлаук, 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 (заблачивания), умеренного подтопления, слабого подтопления, активного климатического влияния и эволюционного 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 в верхнем и нижнем бьефах гидроузла существуют значительные различия. В первом случае зоны влияния обычно располагаются в указанной последовательности концентрическими поясами вокруг водохранилища, обычно сужающимися впереход от плотины. Во втором случае зона влияния простирается сравнительно узкой полосой вдоль русла реки. Размеры территории, на которой фиксируются изменения почвенного и растительного покрова, могут быть, особенно у равнинных водохранилищ, достаточно велики и соизмеримы с площадью зеркала 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, Малек, 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 известны, имеются лишь отдельные публикации по конкретным водохранилищам; вопросы влияния водохранилищ на климат кратко освещаются также в работах общего характера.

Влияние даже самых крупных водохранилищ на климат распространяется на сравнительно небольшую территорию прилегающих районов и еще менее заметно в нижних бьефах гидроузлов. Так, по расчетам Ю. М. Матвеева (1971), площадь зоны климатического влияния такого большого водохранилища, как 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 переходами. Поэтому при движении с юга на север в СССР ширина полосы активного влияния на климат увеличивается. В то же время абсолютные и относительные показатели изменения микроклимата возрастают при движении с севера на юг (Вендров, 1970).

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

Веской водохранилища оказывают охлаждающее влияние на прибрежные территории, а во второй половине теплого периода (до ледоставя), 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 (Cheret, 1973; Кинауи, Шенуда, 1975; Tondury, 1969; Link, 1970; Man-Made Lakes, 1973). Так, водохранилища Локка и Портинлахта должны, по мнению Casteln (1961), оказать смягчающее влияние на местный климат, создание водохранилища Блэкра 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 в районе водохранилища Вольта (Cheret, 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, Камбиджи, Табка и др. Увеличение влажности воздуха и частоты туманов при подпоре озер установлено в Швеции (Cheret, 1973).

Создание обширных водных поверхностей приводит к значительному увеличению скорости и повторяемости ветра и к увеличению продолжительности штормовой погоды. В районах всех крупных водохранилищ отмечаются ветры у берегов. Так, на Иракском водохранилище скорость дневных бризов у земной поверхности достигает 3—4 м/с, на Камском — до 3,5 м/с, при этом 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 отопляющее влияние сказывается 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 Пуэбл, отразилось на микроклимате долины р. Колорадо в зоне водохранилища Мид. Аналогичное влияние оказало создание глубоководного Бухтарминского водохранилища на микроклимат в районе Усть-Каменинского 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 техных 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 освоенности 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 водохранилищ Ваоцзювек на р. Висле (Szotuczynski, 1974) и Зегже 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 Джердап на Дунае пришлось осуществлять ряд мероприятий, направленных на уменьшение фильтрации через противопаводковые дамбы 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 предгорных реках Альп. Как положительное явление рассматривается подъем уровня грунтовых вод на берегах водохранилищ на реках Энс, Дунай и Траун в Австрии (Кляуз, 1964; Dornat, 1965; Kraftwerkbau, 1964). Очень часто в зарубежной практике подпор уровня грунтовых вод при создании водохранилищ рассматривают как средство для обогащения запасов грунтовых вод в целях их использования для питьевого водоснабжения.

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

палания в верхней части водохранилища сильно фильтрующих 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 накопление в почвенном покрове происходит вследствие поднятия грунтовых вод. В подзоне сильного подтопления (с глубиной затопления грунтовых вод менее 1 м³) уровень грунтовых вод нередко доходит до поверхности земли. Нисходящий поток почвенного раствора сменяется устойчивым восходящим. Поэтому в умеренном поясе, по данным С. А. Влadyквенского (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 омушования подзолистых почв. Его характерные признаки — повышение содержания гумуса, азота, фосфора, кальция и соединений железа, появление в верхнем горизонте почвы охристых пятен и прожилок и уменьшение кислотности в нижнем слое под действием грунтовых вод, имеющих нейтральную реакцию. В переувлажненных почвах может происходить рассоление, омушечное, например, на берегах Цемлянского и ряда других водохранилищ. На участках с более близким к поверхности залеганием грунтовых вод указанные изменения химических процессов усиливаются и наблюдаются ясно выраженные процессы олесения почв; дерново-подзолистые почвы могут переходить в подзолисто-глееватые. Можно предполагать, что в аридных районах в этой зоне почвы могут исторично засоляться.

Положение уровня грунтовых вод на глубине 2—3 м, характерное для зоны слабого подтопления, вызывает увеличение подкисности гумусовых веществ и железа и ослечение 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 подсоса. Величину его в зависимости от механического состава грунта может колебаться от 0,5—2,0 до 5,0 м при наполненности капилляров до 75—80%.

цвета. В зоне климатического влияния изменяется 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, влияющие их на почвы менее постоянно, так как в годы с низкими уровнями признаки заболачивания и оглеения на многих участках исчезают или ослабевают (Успенская, 1966). Большая сработка некоторых водохранилищ сезонного регулирования в безледостатный период также уменьшает воздействие подтопления на почвы.

В нижнем бьефе гравитационный покров изменяется дифференцированно. Это объясняется своеобразием трансформации гидрологического режима реки — более сильным и продолжительным увлажнением прирусловой части поймы и уменьшением поверхностного увлажнения ее остальной территории. Поэтому в узкой прирусловой полосе изменяется и почвенный покров: происходят в интенсификации процессов заболачивания или оглеения и аналогичным процессом в зоне подтопления вокруг водохранилищ. На большей части территории поймы, где уменьшается или прекращается увлажнение поймы паводковыми водами, наблюдается ксерофитизация почв. Особенно заметно это в ардных 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 паводков в нижний бьеф. В условиях ардных районов ежегодно поступления паводка поддерживали плодородие пойменных земель. Так, например, во время ежегодных разливов Пыля на его пойме откладывалось до 5,4 млн. м³ ила. В результате создания водохранилища Пысер этот процесс прекратился; для восстановления плодородия, по расчетам некоторых исследователей, необходимо внесение не менее 13 тыс. т аммиачной селитры в год. Однако и для почв пойм рек зоны избыточного увлажнения поступление взвешенных наносов не менее важно. Так, по данным Б. В. Воробьева (1973), в нижнем бьефе Воткинского гидроузла 55% снижения урожайности зерна и 90% уменьшения количества кормовых единиц в нем — следствие снижения количества плодородного налива. Ранее ежегодно сглаживалось 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 ивы. На Диньковском водохранилище ивовые заросли развиваются нормально даже на участках, вот уже много лет затопленных на глубину до 1 м в течение большей части вегетационного периода. На водохранилище Зетже в Польше наиболее устойчивым в зоне затопления оказался дуб (Cherel, 1973). В субтропических ардных 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 климата при глубинах менее 2—2,5 м формируется пояс из тростника, камыша или рогоза. В более глубоких местах обильны рдесты, урути и другие плавающие и погруженные водные растения.

На развитие гидрофильной и гигрофильной растительности большое влияние оказывает уровень режима водохранилища, защищенность берегов от волнения, характер и состав прежней растительности, а также рельеф и грунты дна, химизм воды, наличие в водохранилище растительоядных рыб и т. п. На водохранилищах с большой высотой волн зарослей водной растительности на открытых участках побережья почти нет. Не развивается растительность также и у приглубых берегов, при большой сработке особенно в вегетационный период и при чередовании лет с высокими и низкими уровнями наполнения, как, например на Рыбинском водохранилище. На берегах водохранилища Пысер 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). Потоками уровня воды, наоборот, способствует быстрому формированию прибрежных и водных сообществ. Летнее снижение уровня благоприятствует массовому распространению земноводных видов растений. Для многих водохранилищ в субтропических, тропических и экваториальных поясах земного шара характерно бурное распространение водных сорняков (рис. 27), особенно водного гиацинта (*Eichhornia crassipes*, E. azul), водного папоротника (*Salvinia auriculata*), индийского салата (*Pistia stratiotes*) и др. Однако на водохранилищах с большой сработкой водный гиацинт, папоротник и индийский салат распространены незначительно. Практически нет этих водных растений на водохранилище Пысер, хотя в пойме Белого Пыля они занимают огромные площади (Cherel, 1973; Leentvaar, 1975).

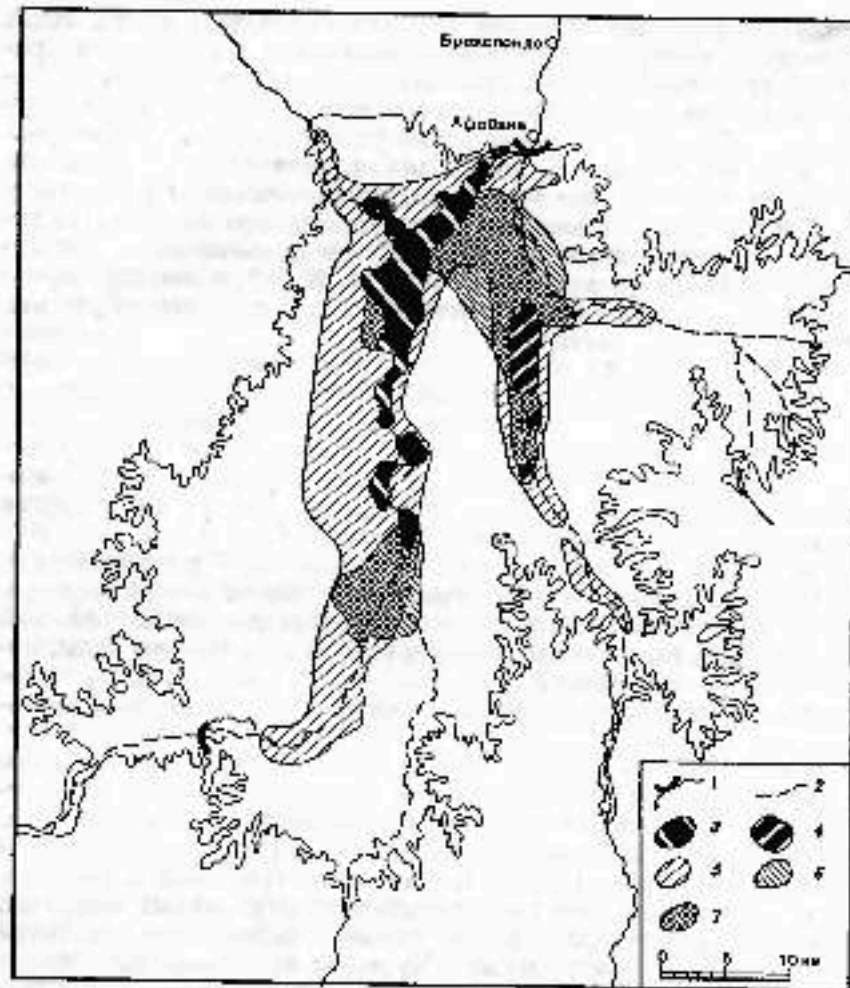


Рис. 27. Схема размещения водохранилища Братского (Сурин) (Map-Made Lakes, 1973)

1 — тростник; 2 — кочкарники русла рек; 3 — распространение сообщества степной тундры в 1964 г.; 4 — то же, тростниково-степная; 5 — распространение сообщества степной тундры в 1966 г.; 6 — то же, тростниково-степная; 7 — зоны распространения разных видов растений.

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

ревьев или гибнет, или же сильно угнетено. Последнее выражается в усыхании кроны, разрежении древесного и скелетных их боковых. Однако выносливость различных древесных и кустарниковых пород к подтоплению различна. По наблюдениям на берегах Цимлянского и Волгоградского водохранилищ большую устойчивость при подтоплении, кроме ив, показали ясень, клен, береза, осина, липа, тополь, ильм, береза, береза 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 многие злаки. Однако некоторые злаки и в таких условиях развиваются хорошо (полевица белая, мятлик, тимофеевка, лядвенец и др.). В этой зоне обычно доминируют гигрофиты, в том числе осики, щучка и др. При умеренном и слабом подтоплении, когда уровень грунтовых вод располагается на глубине 0,7—1 м, улучшается не только водный, но и питательный режим, в результате чего увеличивается общая масса травостоев таких трав, как коостер безостый, овсяница красная, полевица белая, мятлик, клевер, тимофеевка, 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 нижнем бьефе гидроузла обуславливает изменения в характере растительности, соответствующие сдвигам в увлажнении почвенного покрова. Влагодобывающая растительность остается в узкой прирусловой полосе, а на большей части поймы развивается менее влаголюбивые сообщества. Сильнее, вплоть до опустынивания, это сказывается в аридных районах, где поселение или поселение-летние наводки были (при относительно глубоком залегании уровня грунтовых вод) основным источником создания запасов влаги.

Сокращение продолжительности и частоты весенних паводков 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. Обь, низшем Иртыше и т. д., умеренное сокращение продолжительности затопления долей благоприятствует увеличению биомассы растительности. В Приамурье, Прикорье и в северо-восточных районах Китая дождевые земли затопляются часто в разгар вегетации луговой растительности, что приводит к ее гибели, а иногда и к полной гибели.

На поймах большинства речных долин зоны умеренного климата при зарегулировании стока перестраиваются ленточно-растительные комплексы. На пойме высокого уровня развиваются холмистые террасовые или водораздельные комплексы; на пойме среднего уровня развиваются комплексы высокой поймы (затопление на небольшой срок один раз в несколько лет); поймы низкого уровня приобретают 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, Вольты 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 (Волковский, 1962).

Появление нового искусственного водосма — водохранилища — причина существующих изменений 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; дождевно-долинные экосистемы обычно характеризуются разнообразием животного мира (Инженерно-географические проблемы..., 1972; Trefethen, 1972; Townsend, 1975; и др.).

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

При создании водохранилищ в поймах рек с богатым растительным и животным миром, например в степных районах СССР, многие населяющие их животные концентрируются на отдельных сохранившихся участках в верхней части водохранилища и в устьях притоков; из-за недостаточности территории 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 пересыхающих 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 лож, строительстве дорог и т. д., когда нарушаются места обитания и кормовые угодья.

Во время наводнения 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, появление угрозы эпидемий и др.).

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

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

Сработка уровня весной приводит к обсыханию икры у многих ямноводных, 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 (Реткум, 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 гусей. Значительно возрастает количество беспозвоночных.

В нижних бьефах водохранилищ изменения животного населения обуславливаются в основном изменением почвенно-растительного покрова и заключаются в сокращении численности водных животных и гнездящихся в пойме птиц. Резкое ухудшение условий жизни индустрии произошло в дельте р. Или после создания Канкайского 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 Бафало численность оленей 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 коши, стабилизируемый по условиям жизни биотопос. На водохранилищах с небольшими колебаниями уровня биотопосы более богаты и быстрее формируются, чем на водохранилищах со значительной сработкой. Наиболее неблагоприятны в этом отношении водохранилища мультисетного регулирования.

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

ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

Исследования, проведенные в течение последних десятилетий как по инициативе Всемирной организации здравоохранения, так и в соответствии с национальными программами многих стран, позволили установить основные последствия создания крупных водохранилищ для условий жизни и состояния здоровья населения (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 изучение влияния водохранилищ на изменение природных условий обитания возбудителей и переносчиков некоторых инфекций. Как известно, с водным фактором связано распространение инфекционных заболеваний, вызываемых возбудителями (микрорганизмами), 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, опасная в отношении возникновения вспышек кишечных инфекций, осложняется в период строительства водохранилищ. Здесь могут вступать в силу такие факторы, как большое скопление строительных рабочих, прибывающих из районов с различной 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 Каньджун в Ингрии. За 4 года в строительстве 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 централизованном водоснабжении, 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. (Имеvбог, 1975).

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

Паразитарные заболевания, связанные с водным фактором, на протяжении многих лет являются предметом внимания Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). Еще в 1950 г. группой экспертов ВОЗ обращалось внимание на необходимость принятия энергичных мер противодействия распространению этих болезней при создании крупных гидротехнических сооружений и ирригационных систем, при изменении режимов орошения — переходе от сезонного к круглогодичному и т. п. (Деоп, 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 лимфатом Индокитай создало весьма благоприятные условия для развития первичных и вторичных переносчиков этих заболеваний (моллюсков, рыб). В то же время обычай их употребления в пищу в сыром виде достаточно прочен 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 заполнения водохранилища резко сократились участки территории, подходящие для вылеса кошачьих переносчика. В результате заболеваемость онхоцеркозом значительно снизилась, хотя вместе 10 прибрежных деревень появлялся около 70 новых селений (Деоп, 1975; Имеvбог, 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 (Деоп, 1975; Имеvбог, 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 и среди населения равнины Джезира в Судане после строительства плотины Сенгар на Голубом Ниле. Система ирригационных каналов и здесь послужила идеальным местом развития улиток — промежуточных хозяев возбудителя болезни.

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

Возможность расширения ареала обитания другого опасного — кожной цисти — переносчика смертельно опасного трипаномоза — сонной болезни, также отмечена при создании некоторых водохранилищ Африки. Многочисленные примеры поражения у водохранилищ дополнительных или новых очагов выплода переносчиков малярии — комаров-антофелесов, нуждающихся в мелководьях для периода развития личинок. Успешная борьба с малярией в Советском Союзе, завершившаяся практически 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 естественная эмиграция с затопляемых территорий, изменение характера трудовой деятельности переселенных контингентов, специфики питания и т. п.

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

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ

БАКТЕРИАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

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

Необходимо принимать во внимание, что в первую очередь исследовались более крупные и важные в хозяйственном отношении водохранилища. Большинство водохранилищ мира 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 бактериальные процессы в Рыбинском водохранилище, где по некоторым показателям имеются данные за 15 лет (Романенко, 1972), в водохранилищах Днепровского каскада (Гак, 1975), в алтарских водохранилищах (Кожова, 1970; Мамонтова, 1976) и в некоторых других.

За рубежом многолетние и разносторонние микробиологические исследования проведены на водохранилищах Вальтского каскада в ЧССР (Štrálskářova et al., 1973) и на водохранилище Вомба (Biswas, Rishi, 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.

Известные микробиологические работы не равны между собой 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 бактериовластителей в водохранилищах

Водохранилище	Год исследования	Объем воды, отобранной для исследования, м ³	Годовой объем водохранилища, км ³	Период исследования	Число обследованных образцов	Объем воды, отобранной для исследования, м ³	Число обследованных образцов	Источники
Олиготрофные								
Иркутское	1956—1959	46,5/—	24	III, 1958—II, 1959	—	0,45	—	Кожан, 1970
Караганское	1956—1959	4,2/12,0	—	—	—	0,4—0,75	0,5—1,120,4—0,75	Богданов, 1975
Шиховское (ЧССР)	1940	0,01/0,8	240	VI—IX, 1943	—	0,59	—	Strakosova et al., 1973
Мезотрофные								
Спаль (ЧССР)	1954	0,3/—	9	VI, 1953—VI, 1954	—	0,53	—	Trachizkova et al., 1973
Братское	1961—1967	139,3/31,0	0,5	V—IX, 1964—1970	—	0,45	0,77	Кожан, Мазон, 1973
Тяньцзунское	1956	0,05/6,8	9—12	VIII, 1956—V, 1960	—	—	1,1	Янбасингян, 1966
Угль-Кинетогорское	1954	0,6/17,6	23	V—IX, 1950—1953	—	1,5	0,71	Гулая, 1975
Рыбинское	1947—1947	25,4/5,6	1,8	V—XI, 1943—1948	250	1,42±0,18	—	Романенко, 1973

Таблица 23 (окончание)

Водохранилище	Год исследования	Объем воды, отобранной для исследования, м ³	Годовой объем водохранилища, км ³	Период исследования	Число обследованных образцов	Объем воды, отобранной для исследования, м ³	Число обследованных образцов	Источники
Эвтрофные								
Гарьское	1955—1957	16,0/0,4	—	V—X, 1957	—	1,7	0,77	Таракан, 1973
Хушосинское	1955—1957	58,0/0,0	4,4	V—X, 1955—1972	—	1,8—2,7	—	Мазон, 1975
Саратское	1958	43,4/7,3	15—18	V—X, 1971—1973	—	1,8	—	Давидов, 1975
Востокское	1958—1960	31,4/10,2	7,7	V—X, 1957—1959	—	1,85	—	Донченко, 1970
Духовническое	1961—1957	49,0/9,0	0,3	V—X, 1961—1969	1300	2,1	1,74	Гулая, 1975
Врань (ЧССР)	1955	0,01/4,4	300	VI—IX, 1953	—	2,12	—	Strakosova et al., 1973
Валата (Гана)	1964	146/18,0	—	1963—1970	—	—	—	Riswas, Ruth, 1972
Батрофные								
Имандульское	1957	1,1/3,4	10,6	V—XI, 1973—1974	200	3,0	—	Старбукин, 1978
Кокское	1964—1966	4,0/4,0	5—12	V—X, 1965—1969	250	4,22	3,34	Гам, 1975
Кривинское	1959—1961	13,5/0,0	2,5—4,0	IV—XI, 1955	42	3,51	1,53	—
Днепровско-жиганское	1963—1965	2,5/4,3	4,3	IV—X, 1963	17	3,44	2,20	—
Запорожское	1946	3,3/8,0	12—14	IV—X, 1958	40	3,68	2,10	—
Камское	1955—1958	18,2/5,4	2—3	IV—X, 1955—1959	100	5,40	4,10	—
Дубосарское	1955	0,5/6,5	18	IV—X, 1953—1959	64	0,06	4,88	Демичева-Кристенко, 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 по измерениям у автором данных по отдельным станциям в отдельные месяцы. Например, в табл. 23 для водохранилищ Иргышских, 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 мл, его биомасса составляет 0,1–1,2 г/м³, а число гетеротрофов — 0,3–0,75 тыс. кл./мл. В евтрофных водохранилищах эти показатели значительно выше. Так, концентрация бактерий в воде колеблется от 3 до 6 млн. кл./мл, биомасса бактерий составляет 2–5 г/м³, а численность гетеротрофных бактерий колеблется в широких пределах — от 0,3 до 13,8 тыс. кл./мл. В мезотрофных водохранилищах (Братское и большинство волжских водохранилищ) общая численность бактерий колеблется в пределах 0,5–2,7 млн. кл./мл, биомасса бактерий — 0,4–1,7 г/м³, а 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 привели биомассу без пересчетного коэффициента. В табл. 23 приведены данные о биомассе бактерий, вычисленные авторами на основании измеренных ими средних объемов бактериальных клеток. Расчет биомассы на основании условного стандартного объема бактерий (например, 1 мкм³) может привести к существенным ошибкам, так как, по нашим данным (Гал, 1975), этот показатель довольно значительно меняется в разных водохранилищах в разные сезоны (табл. 24).

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

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

где a — концентрация бактерий, растущих только на богатой среде (аукоэтрофы); 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/к)

Водохранилище	апрель-май	июль-август	сентябрь-октябрь	Средняя величина (на испытательный сезон)
Кременчугское	0,63	0,58	0,44	0,55
Днепродонецкое	0,63	0,64	0,50	0,60
Запорожское	0,48	0,49	0,63	0,53
Киевское	0,35	0,46	0,58	0,47

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

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

где m — мезофилы (могут расти при 37°С и при 20°С); P — психрофилы (могут расти только при 20°С). В результате исследований ученые Испании (Gonzalez et al., 1975) установили, что:

для олиготрофных водоемов $I_a < I_p$, $b > m$, $a < p$;
для мезотрофных водоемов $I_a \approx I_p$, $a \approx p$;
для евтрофных водоемов $I_a > I_p$, $a > p$.

Значения индексов, полученных для водохранилищ Суэрана, Рну-Декальос и Сау (в Испании), хорошо согласуются с этими условиями. Аукоэтрофный и психрофильный индексы соответственно равны: для водохранилища Суэрана — 3 и 3, для Рну-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 ресс или несколько ниже (рис. 28). Это явление обычно объясняют евтрофирующим воздействием вымытых в воду биогенных элементов являющегося 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 днепровских 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-

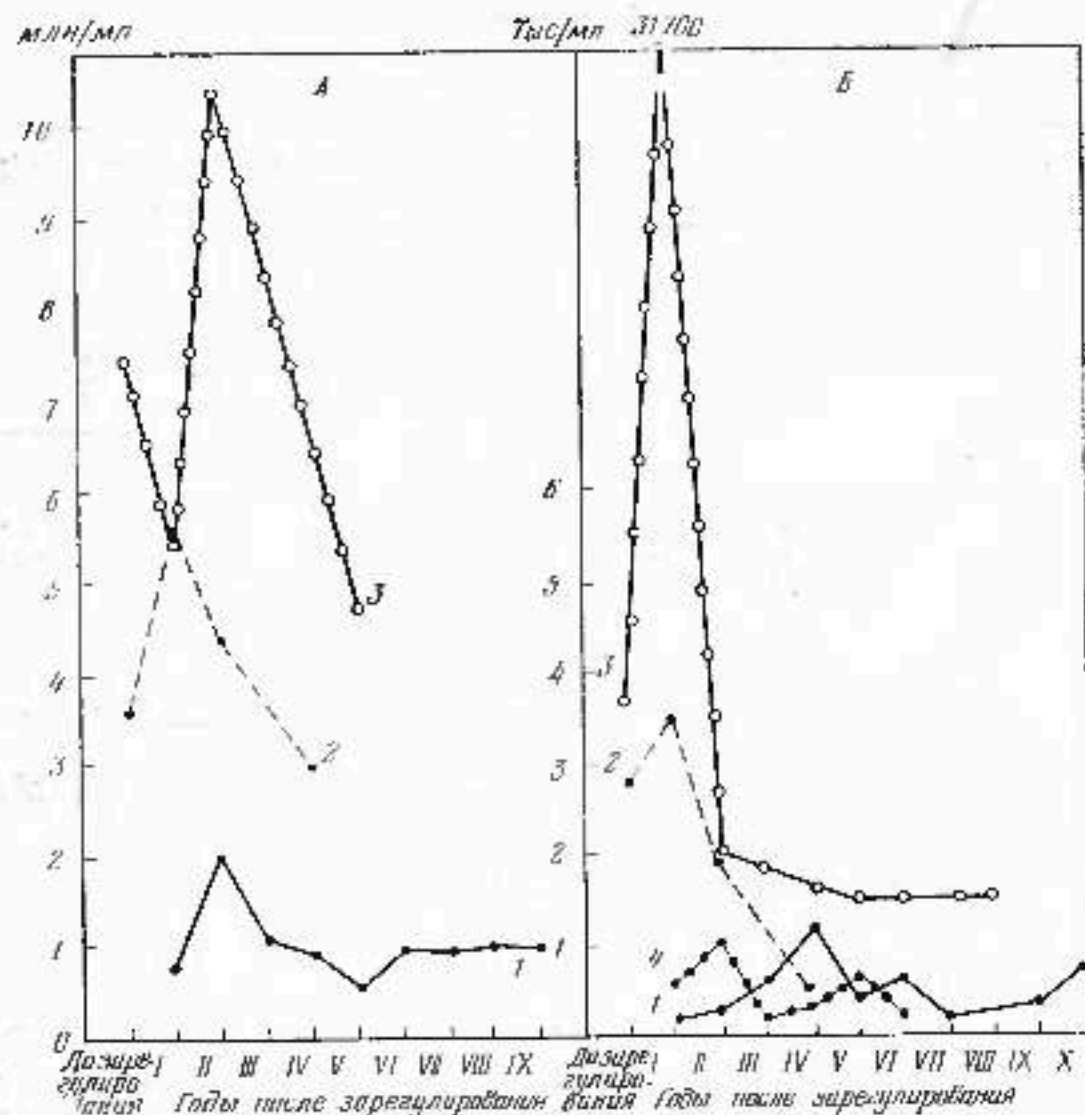


Рис. 28. Формирование микробиологического режима водохранилищ
А — общее количество бактерий (млн. кл./мл); Б — численность гетеротрофов (тыс. кл./мл)
1 — Братское; 2 — Киевское; 3 — Кременчугское; 4 — Вольта

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

Обращает внимание тот факт, что в нижневолжских водохранилищах концентрация бактерий почти одинакова (1,9 млн. кл./мл в Саратовском и Волгоградском и 2,2 млн. кл./мл в Куйбышевском водохранилищах). Близкие показатели по нижневолжским водохранилищам (2,5—2,6 млн. кл./мл) были получены В. М. Кудрявцевым (1973), Д. З. Гак и Г. А. 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 БПК, 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.

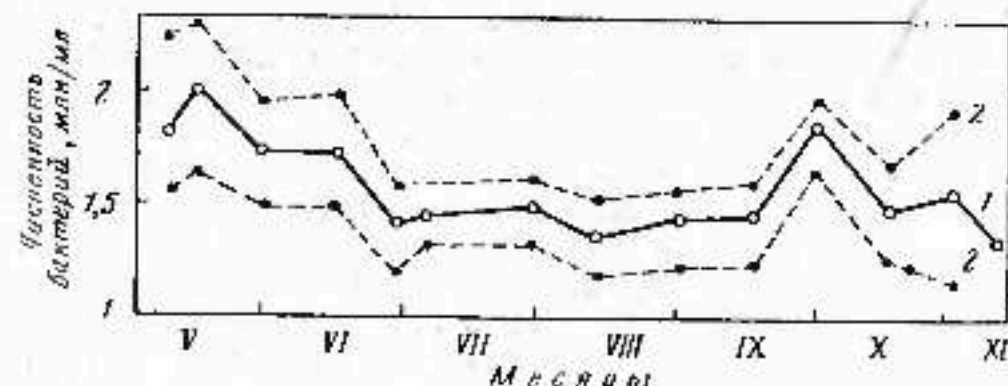


Рис. 29. Сезонная динамика численности бактериопланктона в Рыбинском водохранилище (Романенко, 1972)

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 (ЧССР)	V—X, 1964	0,45	—	315	Štráskrabová, 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	—	Дзюбап, 1975
Братское	1965—1972	0,55	0,43	420	Кожова, 1973
Мингечаурское	VII—X, 1958	0,55	—	—	Салманов, 1960
Киевское	V—X, 1965	0,50	1,25	101	Гак, 1975
»	V—XII, 1966	—	1,00	156	»
»	V—X, 1967	0,40	0,65	165	»
»	V—X, 1968	0,23	0,75	133	»
Кременчугское	V—X, 1968	0,47	0,90	197	»
Каховское	V—X, 1968	0,45	0,60	318	»
Днепродзержинское	V—X, 1968	0,93	1,60	209	»
Запорожское	V—X, 1968	1,15	1,50	232	»
Бухтарминское	Лето, 1966—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

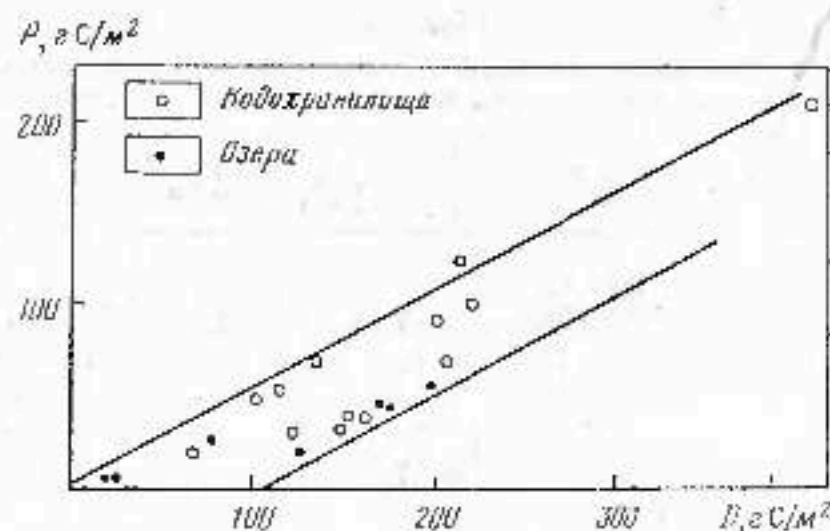


Рис. 30. Отношение продукции бактериальной биомассы (г С/м² за вегетационный сезон) к деструкции органического вещества (в тех же единицах)

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 водоема. Этот дополнительный источник энергии в Рыбинском водохранилище составляет около 50% его первичной продукции.

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

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

аллохтонной органики. В днепровских водохранилищах бактерии — связующее трофическое звено между первичными продуцентами и водными животными. Фотосинтез здесь осуществляется в основном некормовыми растениями (крупными колонными 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 (Андриевская, 1963, 1969). В равнинном Чардаринском водохранилище на р. Сырдарья (с глубиной 20 м) в зимний период доминируют золотистые и диатомовые, весной — зеленые, а в летне-осенний период — зеленые, синезеленые, пиррофитовые водоросли (Халилов, 1972).

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

Распределение фитопланктона по акватории и сезонная динамика состава биомассы. Гетеротопность экологических условий в водохранилищах влияет и на фитопланктон. При характеристике распределения фитопланктона по акватории обычно выделяют транзитные районы и заливы, характеризующиеся специфическими чертами в связи с их большей или меньшей изолированностью от открытых частей, влиянием речного потока и относительной мелководностью. В верхних частях водохранилищ доминируют комплексы 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 hanitzchii*, *Melosira granulata*, *M. Varians*, *Asterionella formosa*. При этом весной наибольшие показатели биомассы отмечаются в верхней части водохранилища (до 18,7 г/м³), а летом — в нижней (до 20 г/м³). В Каховском водохранилище, питающемся водами Днепровского водохранилища, доминируют с мая по октябрь синезеленые водоросли *Aphanizomenon flos-aquae* и *Microcystis aeruginosa* при преобладании последнего. Второе место занимают диатомовые, доминирующие в некоторых районах весной и осенью, а также хлорококковые и вольвоксовые водоросли.

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

Доминирование в летнем планктоне синезеленых водорослей, таких, как *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* и некоторых видов *Anabaena*, особенно заметно проявляется на малых реках. Например, в Комратском водохранилище, относящемся к малым водоемам Молдавии, биомасса планктона за счет вегетации *Microcystis aeruginosa* составляет 130 г/м³ (Шаларь, 1972), а в канзасских водохранилищах (США) при преобладании *M. aeruginosa* и *Aphanizomenon flos-aquae* — до 52 г/м³. Это происходит при слабом развитии диатомовых и хлорококковых и при значительной роли вольвоксовых (*Chlamidomonas* sp.) в холодное время года. Пик в величине биомассы для таких водоемов обычно 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 lepiculatus* 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 spirroides* 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 «внутриводосмных» 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 части 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 лотамопланктонных 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 вступление в третью, зависит, в частности, от продолжительности периода заполнения водохранилища, т. е. установления гидрологического режима, свойственного тому или иному его типу.

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

На разных участках Братского водохранилища перестройка речных биоценозов в лимнопланктон происходила не одновременно и зависела от скорости наполнения водоема, которое 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 плотины и образования водохранилища на Белом Ниле водный гиацинт *Eichhornia crassipes* начал активно развиваться, а в водохранилищах южных штатов США вызывает значительные трудности при их эксплуатации. Только на борьбу с развитием водного гиацинта в водохранилище на Белом Ниле тратится ежегодно 500 000 фунтов стерлингов и заняты

этим 200 человек. В водохранилищах южных штатов США с помощью механических и химических мер борьбы удалось добиться освобождения значительных площадей от водного гиацинта и *Alternanthera philoxeroides*, называемого «аллигаторным сорняком». Однако в тех случаях, когда в условиях тропического климата ослабляется борьба с развитием высшей водной растительности, она начинает весьма интенсивно распространяться и создавать серьезные трудности, резко ухудшая качество воды, препятствуя насыщению кислородом эпилимниона. Водные сорняки не только наносят ущерб 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 значительны 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 (*Nimphoides peltatum*). Сообщества горца земноводного распространены в большинстве днепровских и волжских водохранилищ; фитоценозы нимфейных встречаются в верхних частях днепровских водохранилищ, расположенных главным образом в пределах лесостепной зоны, а также в 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 валлиснерия спиральная (*Vallisneria spiralis*) (Запорожское, Каховское и др.).

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

Сообщества свободноплавающей растительности в водохранилищах умеренной зоны встречаются редко. Иногда в укрытых местах мелководий или между пятнами воздушно-водной растительности на значительных площадях в несколько десятков и даже сотен квадратных метров могут образовываться ковры сальвинии плавающей (*Salvinia natans*), многокоренника обыкновенного (*Spirodela polyrrhiza*) и ряски маленкой (*Lemna minor*); на несколько меньших площадях разливаются 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 волжских водохранилищ *

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

* Таблица составлена по данным И. Л. Корсакиной (1976), В. А. Экзерцева, В. В. Экзерцевой, А. П. Белявской, Т. Н. Кутковой (1966), Б. В. Девкина (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 констатировано во многих случаях в нескольких типах растительных сообществ: манника большого — на Иваньковском водохранилище, тростника и рогоза узколистного — на Киевском и Каховском, телореза алоэвидного — на Киевском. Вновь сформированные за счет растительности славинны 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 Волга, 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 (Leentvaag, 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* (Дзюбан, Ривьер, 1976). В американ-

Таблица 27

Относительное количество видов основных групп зоопланктона в некоторых водохранилищах, %

Водохранилище	Местоположение	Группы зоопланктона			Базисная зоопланктонная группа	Источник
		Ротиферы	Сиднейеры	Сарановы		
Иваньковское	Центр	30	35	20	1,2	Елагина, 1975
Горьковское	б	38	40	22	1,0	Планига, 1975
Кубовицкое	Новоселье	48	32	20	0,73	Небылсина, 1976
Саратовское	»	47	25	25	Нет данных	»
Волгоградское	б	36	42	22	»	б
Кавказское	Прибалтика	42	40	18	»	Печенене, 1970
Целявское	Северный Кавказ	51	34	18	»	Мирошницко и др., 1970
Келчгайское	Кавказ	64	22	14	2,7	Мусина и др., 1978
Красноярское	Сибирь	44	34	22	0,6	Вершинин, Червицкая, 1970
Катлаунское	Средняя Азия	57	30	7	Нет данных	Мухомедов, 1970
Пашкынарское	То же	59	28	13	»	»
Тудульское	б	63	26	11	»	Чуприна, 1972
Куюкзарское	»	68	19	13	0,31	»
Ольгин	Куба, пруды	53	33	14	0,84	Петров-Пирог и др., 1977
Зель-Песчиро	Куба, горное	58	22	22	0,01	»

ских водохранилищах (Beaver, Bull Shoals) на р. Белой (штат Арканзас) 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 coreuta* (rigaudi), представители рода *Moina*, *Phyllocladus blanchi* (Мельников, 1966; Чуприна, 1972).

Для предгорных и горных водохранилищ Тянь-Шаня и Памира специфичны *Acanthocyclops* — *diaptomus densicornis*, *D. pulex* — виды, обычные в высокогорных озерах этой области (Мирошницкий, 1969).

Водохранилища юва Куба свойственны тропические и субтропические виды Американского континента: *Daphnia ambigua*, *Moinodaphnia maculata*, *Diaptomus salinus*, *Thermocyclops hyalinus*. И здесь встречаются виды — ксенохонты — 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 однородно распределен от поверхности до дна. По мере снижения скорости течения и приближения к плотине количество зоопланктона увеличивается, вертикальное распределение становится тетрагонным. Такая картина наблюдается в самых различных водохранилищах (Вершинин, Червицкая, 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 низовых бьефах регулирующих гидроузлов, например, в низовых Волги после зарегулирования срок существования популяции сократился почти вдвое и большинство планктонных ракообразных не успевают пройти свой жизненный цикл и отложить покоящиеся яйца (Косова, 1968).

Значительная зимняя сработка уровня в некоторых горных водохранилищах достигает 80 м (Мон-Сеи 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 (Pechenet, 1961). В проточных водохранилищах умеренного пояса создаются благоприятные условия для обитания зоопланктона во всей толще воды. Однако в глубоких затопленных пойменных озерах (оз. Видошье на Ивановском водохранилище), в слабо проточных, сильно естественных водохранилищах умеренного пояса (Пичаевское, Кременчугское) наблюдается непродолжительные периоды, когда создается дефицит кислорода в гипоксичном 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 Кариба термоклин образовался сразу после зарегулирования и сероодородная зона, лишая жизнь, располагается от глубины 20—30 м и до дна (максимальная глубина 123 м) (Harding, 1966). Аналогичная картина наблюдается на водохранилищах Броктонодо и Вольта, где кислород присутствует всего до глубины 3—4 м (Lenters, 1966; Ewer, 1966). Как уже указывалось, у южных тропических водохранилищ зарастает водным гиацинтом (*Eichhornia*). В его зарослях фотосинтез угнетен, кислород отсутствует, зоопланктон практически нет.

В приплотинных 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 процессы самоочищения водоема (Богданов, 1968; Дзюбан, Ривьер, 1976; Margolf, Osbatse, 1972). Крайняя степень такого процесса наблюдается на участках водохранилищ, где проводятся большие гидростроительные работы или данные отложения интенсивно размываются при прохождении судов и работе шлюзов. Так, в Вытегорском и Нювтинском водохранилищах (Волго-Балтийская водная система) прозрачность составляет 10—40 см, количество бактерий 6—7 млн. кл/мл, фильтраторы-зоомакродермы отсутствуют, встречаются лишь отдельные особи хищных *Cyclops* и *Ascanthocyclops*. Отсутствие фильтраторов и формирование зоопланктона за счет личинок форм происходит в некоторых мутных мелководных водохранилищах Кавказа (Кутубидзе и др., 1970).

В водохранилищах предгорий (Минтепурском, Кайраккумском, Зеравшанском и др.), куда поступают богатые минеральными частицами воды горных рек, фитопланктон и зоопланктон бедны и по числу видов, и по биомассе (Алиходзева, 1963; Спенсеракова, 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*, *Limnosedra*, *Lepidodora*, *Bythotrephes*, *Mesocyclops*, *Eubosmina*, 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; Казанское водохранилище, 1972; Рыбинское водохранилище, 1972; Ривьер, 1976).

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

В водоемах тропического пояса, где сезонная смена метеорологических условий незначительна, видовой состав, биомасса зоопланктона и структура сообщества отдельных видов почти не изменяются в течение года (Giblin, Viney, 1973). Изменения в гидробиологическом режиме тропических водохранилищ обусловлены колебаниями уровня и периодами тропических дождей, когда организмы, особенно в верховьях рек, просто вымываются (Leentvaar, 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 (Лужерова, 1963; Дзюбан, 1965; Казанские водохранилища, 1964; Мельников, 1966; Morzhukhai-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 плесах Кузбасского, 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 продолжаются. В период массового развития сине-зеленых водорослей угнетается

размножение планктонных ракообразных. Бактериальное разложение синезеленых и высшей водной растительности усиливает вторичное еутрофирование водохранилищ. Образование обширных песчаных мелководий, подверженных сильному ветровому перемешиванию, 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 ветвистоусые и коловратки; вблизи сбросов сточных вод зоопланктон отсутствует (Исцова, 1970; Гольд и др., 1976).

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

Широкое использование водохранилищ как водосбросо-охлаждающих ТЭС и АЭС внесло новые изменения в их экологию. Сброс подогретых вод поднимает 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 волжские водохранилища уступают 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).

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

Водохранилища тропического пояса могут характеризоваться невысокими биомассами фито- и зоопланктона, но очень высокой продуктивностью, так как при устойчивых 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 более, 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). Кормок для рыб служит в основном мягкий зообентос.

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

Вылет хирономид — гетеротопных организмов — вызывает на 2—3 месяца сукцессию биогеннозоев, 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	Поверхность группы организмов				Прочие
		Олигохеты	Толстоногие ракообразные	Хирономиды	Моллюски	
Рыбинское	5,8—12,9	1,2—1,4	—	3,7—5,0	0,2—0,4	0,5—3,2
Горьковское	24,5	12,3	—	4,8	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	0,33	0,01	1,3	96,8	—
Иртышское	79,9	1,3	3,1	2,3	73	0,14
Дубовское	94,3	32	0,8	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
Казачаинское, 1970 г.	7,2	0,06	1,6	0,34	3,45	0,85

* По данным Гирожанской (1972), Билибинской (1976), Весишовой (1977).

Подвижные высшие ракообразные присутствуют в бентосе далеко не всех водохранилищ и представлены рассеянными естественным путем или введенными 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 (Широшников, 1971; Константинов и др., 1976) в волжских водохранилищах колеблется в пределах 2—10 г/м² (Ипатовское — 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 (ужиды), 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, скользящим способами — брюхоногие моллюски, ряд гаммарид.

2. Детритофаги (собиратели): 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. Цемлянское водохранилище и Днепровский каскад, пожалуй, можно считать насыщенными, поскольку в них широко развиты отсутствующие в волжских водохранилищах (за исключением Волгоградского) фильтраторы и фауны монодакны, собиратели и фауны дождевые, а также малочисленные в волжских водохранилищах подвижные фильтраторы — высшие ракообразные. Наименее насыщена фауна бентоса иртышских водохранилищ; в первые годы их существования она состоит почти исключительно из хирономид (Петр, 1972; Мусатов, 1974).

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

Вследствие низкого содержания органики в осадках волжских водохранилищ биомасса бентоса, которая могла бы служить пищей для рыб, остается 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 прибрежная аллохтонная органика. Затопленная суша заселена нежной слабее, в основном хирономидами и в меньшей степени олигохетами, роль которых постепенно растет с увеличением затапливания.

По руслам почти всех водохранилищ доминируют полихеты, так как здесь происходит основное осадкообразование за счет аллохтонной 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 аллохтонной органики.

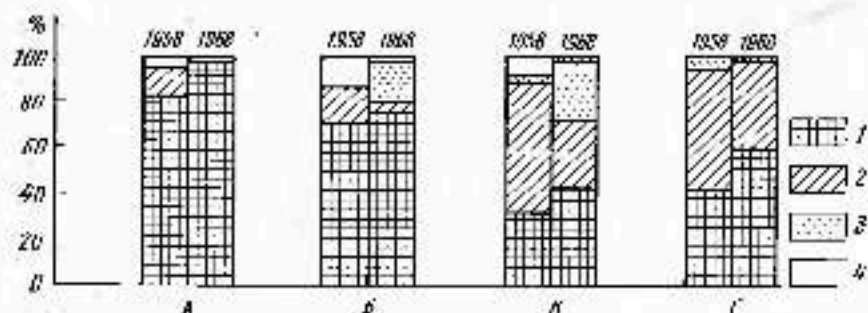


Рис. 31. Составление групп бентоса в % из разных групп в Рыбинском водохранилище (Путурляк и др., 1975)

А — озеро и мелкий пруд; Б — мелководная лужа; В — торфяное озеро; Г — сине и осадочно-сине цвета; 1 — олигохеты; 2 — гидрочелюсти; 3 — моллюски; 4 — личинки

Распределение детритофагов вдоль продольной оси водохранилища зависит от гидрологического режима и определяемого им характера осадкоаккумуляции. Это можно видеть на примере Кутулукского водохранилища, где приносимое аллохтонное вещество оседает в верховьях 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 литорали Братского водохранилища, где создается условие органического вещества, преобладают хируноиды ($60-80\%$).

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 Цюльенское. С уменьшением попадания органических загрязнений при устройстве очистных сооружений биомасса олигохет снижалась 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 плес этого водоема имеет наименьшую долю олигохет, здесь преобладают хируноиды. В профундали водохранилища преобладают олигохеты, доля которых выше в

зависимым приплотном участке и ниже в верховом 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 (Благоидова, 1976).

Низкое содержание органики в грунтах, определяющее низкий уровень развития организмов — детритофагов, например, в водоемах водохранилищах, не сказывается на состоянии (фильтраторе) дрейссены, условия обитания которой в этих водохранилищах благоприятные, в особенности в биотопах обрабатываемых (Лидов, 1971).

Факторы, определяющие развитие зообентоса. Уровень развития зообентоса в водохранилищах зависит от многих факторов, в том числе и от развития гидрофитов. Для крупных озер умеренного пояса И. И. Николаев (1976) отмечает зависимость их лимнического типа (бентосный или планктонный тип продуцирования) от степени зарастаемости водоема макрофитами, указывая на их особую роль в формировании трофического типа водоемов.

По данным табл. 29 видно, что развитие бентоса в водохранилищах коррелирует не только с уровнем зарастаемости водоема макрофитами, но и с показателями трофности водоемов. Количество аллохтонной органики, ко-видимо, репеллющий фактор.

Таблица 29

Зарастаемость макрофитами и биомасса бентоса в водоемах водохранилищах (по данным Экзерена, Дребин, 1974; Константинова, 1978)

Водохранилище	Доля макрофитов в общей биомассе	Зарастаемость водоема, %	Плотность продукции макрофитов, г/м^2 с 10-градусной сеткой	Коррелирующая биомасса, г/м^2
Иваньковское	45	17-20	75	9
Рыбинское	25	1,3	7	2,5
Цюльенское	57	1,4	6	3
Куйбышевское	60	1	—	4

Обнаружена зависимость общей биомассы бентоса от содержания органического вещества в наиболее продуктивных серых плах 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, Максимова, 1971; Константинов и др., 1976). В целом в волжских водохранилищах хорошо прослеживается корреляция уровня развития бентоса с биомассой и продукцией фитопланктона (Константинов и др., 1976).

Для развития бентоса важное значение имеет гидродинамическая 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 замораживания льдом или, наоборот, промыва плов 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. Дольше отложения часто размываются на глубинах до 10 м. Это приводит к уменьшению площади дна, покрытых местными фракциями, и к сокращению площадей продуктивных плов. На Рыбинском водохранилище — наиболее типичном примере интенсивной 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 уроща и промерзание дна обуславливают невысокий уровень развития бентоса осушной зоны. Сработка уроща и осушение мелководий и первой половины лета приводит к зарастанию этих участков наземными травами, дающими субстрат для нереста рыб и терригенный биогенный материал, который обуславливает богатое развитие бентоса зоны мелководий в защищенных от действия ветров заливах. В целом биоценоз бентоса дикорастет остается по составу и структуре «мелочным и несамостоятельным», 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 Кариба и Вольта, в которых затопленные леса и кустарники занимают большую часть площади. На затопленных деревьях в огромных количествах развиваются перифитонные водоросли и личинки водных насекомых, поедаемые рыбами.

В биотопе затопленного леса и кустарника в волжских и днепровских водохранилищах биомасса обрастаний (дрейссены) может достигать десятков килограммов на 1 м².

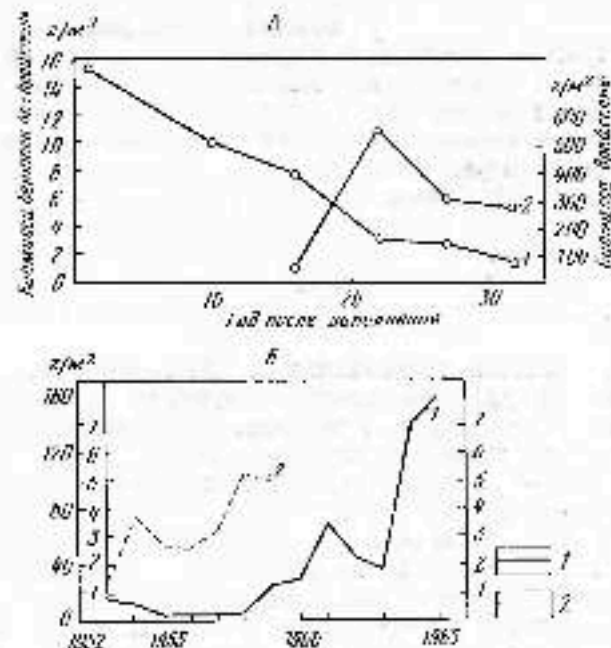


Рис. 32. Динамика средней биомассы бентоса, г/м²

А — Угличское водохранилище (по Соколову, 1973): 1 — бентос без дрейссены, 2 — биомасса дрейссены; Б — Симская водохранилище (по Лепетухову, 1969, Мусатов и др., 1971): 1 — бентос без дрейссены, 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 биоценозов в первое лето при массовом заселении нового ареала — затопленного суши — довольно однообразной фауной хиропоидов; в массовом количестве она развивается в условиях первоначальной высокой обеспеченности пищей — детритом терригенного происхождения — вне зависимости от исходного состава затопленного ложа и характера приносимого течением бентоса.

3. Стабилизация состава бентоса, сопровождающаяся снижением его биомассы по сравнению с предыдущей стадией (спустя 3–5 лет после создания водохранилища).

Указанные стадии формирования бентоса, по-видимому, характерны для водохранилищ всех типов, однако в высоких геог-

рафических широтах их продолжительность дольше, чем в низких. На третьей стадии может увеличиваться общая биомасса бентоса за счет усиления новых форм (например, мизид (рис. 32, Б)) или стихийного расселения дрейссены и ее развития в водохранилищах (вожжские, днепровские, Цимлянское, Дубоссарское), в результате чего наблюдается рост общей биомассы бентоса. В Новосибирском водохранилище произошло акалотичное расселение моллюска *Apodonta* (Благовидова, 1976). Доля дрейссены и эконоты (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: мизид, гаммарид, монодакны. 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 понижение биомассы бентоса (без вселенцев). Это хорошо подтверждается на примере существующего более 30 лет Учинского водохранилища (рис. 32, А). Численность и биомасса донного населения (без дрейссены) за период существования водохранилища упала во всех зонах, а прежде обитавшие виды хирономид 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 в противоположность озерам, которые проходят через фазу олиготрофности к мезо- и евтрофности. Для водохранилища Карбы также характерны изменения от евтрофности к мезотрофности. В водохранилище Волга в первые годы бентос был 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 илфауны), несколько снижается доля хирономид, способных фильтрация 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 в отдельных 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, и 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 водохранилища обычно наиболее многочисленны. Последующие годы, когда начинают производиться сработка уровня заполненных водохранилищ, менее благоприятны для воспроизводства, и численность рыб снижается. Например, в Куйбышевском водохранилище численность поколений колеблется в зависимости от условий воспроизводства, создаваемых уровнем режимом.

Величина родительского стада имеет особое значение для формирования поколения в первый год существования водохранилища при благоприятных условиях размножения, когда эта способность хорошо реализуется, то может, по некоторым данным, брать свое значение в последующий период с неблагоприятным для рыбного хозяйства уровнем режимом (Лукин, 1970; Танасийчук, 1970). В ряде крупных водохранилищ СССР фаза максимума падает на годы промышленной эксплуатации поколений первых лет существования водохранилища.

Фаза стабилизации рыбопродуктивности в водохранилищах, отличных по водному режиму, площади, глубине и конфигурации, протекает по-разному. Сохранение высокой рыбопродуктивности в течение длительного времени отмечено на равнинном Цимлянском водохранилище. Во многих водохранилищах уровень запасов ценных рыб в силу ряда неблагоприятных причин в фазе стабилизации снижается.

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

впит от площади 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

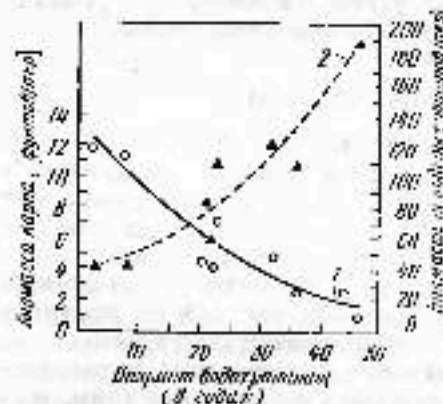


Рис. 38. Зависимость биомассы карпа и сельдевых в водохранилищах Южной Карелии (Жукин, 1969)

1 — карп;
2 — сельдевые

видов. Детрит потребляется многими донными рыбами, но пищевая ценность его невелика. Значение рыб второго трофического звена возрастает в направлении более низких географических широт, для которых характерны растительноядные рыбы и детритофаги, имеющие важное промысловое значение (водоемы Африки и юго-восточной Азии).

В водохранилищах и озерах тропического и субэкваториального поясов первостепенное значение имеют различные растительноядные виды семейства Cichlidae, главным образом тилapia, которые составляют 60—80% промыслового улова в водохранилище Вольта и 50—60% в водохранилищах Насер, Айязе и др. Столь же важное значение рыбы второго трофического звена имеют в мелких прибрежных водохранилищах, озерах и прудах стран Юго-Восточной Азии, Индии, Индонезии, Шри-Ланка. К ним относятся тилapia, рыбы индийского 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, меньше — 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, чехонью. Использование зоопланктона таким промысловыми рыбами, как лещ и плотва, более существенно в водоемах с невысокой биомассой бентоса, например в волжских водохранилищах, где он играет существенную роль в питании рыб. Массовое развитие рыбы-посредника — 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. Обычно в большинстве случаев численность судака, главного потребителя только, невысока, и только остается в основном «слепым звеном» в формировании хозяйственно-ценной продукции. Усиление «планктонного канала» формирования рыбопродукции за счет короткоцикловых пелагических рыб и пелагических хищников могло бы быть эффективным путем освоения биопродукции водохранилищ.

Преобладание рыб-бентофагов, таких, как плотва, лещ, густера, обуславливает формирование рыбопродукции преимущественно за счет бентоса. Так, например, формируется 70—90% рыбопродукции в Волгоградском водохранилище. Крупный состав — также преимущественно бентофаги — составляет свыше половины промысловой продукции водохранилищ Волги и Днепра. Основная промысловая рыба — лещ; в волжских и днепровских водохранилищах его доля в улове (по данным Л. А. Кудерского) колеблется от 8 до 61%.

Бентофаги формируют свою продукцию преимущественно за счет хирономид, а также за счет мелких моллюсков и высших ракообразных.

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

¹ В озерах Лоты и Волгоградском и Саратовском водохранилищах согласно исследованиям описаны.

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

Плохи утилизируются ценными рыбами организмы, населяющие бентосозы прибрежных зарослей, продукция которых тоже растет с актрофированием водоема. В Иваньковском водохранилище (Джобан, 1975) при биомассе бентоса в зарослях 19—27 г/м² (ка 50—95% состоящего из хирономид) в силу недоступности этой фитофильной фауны лещ старше двух лет вынужден переходить на питание зоопланктоном и детритом. Рыбам малодоступен и микробентос, который используется через промежуточных питателей, 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 усатый, щука, американский судак, сомик) в водохранилищах США; они обеспечивают уловы 23—28 кг/га и в основном служат объектами спортивного лова.

Величина рыбопродукции может определяться не столько количеством корма, сколько степенью его использования рыбами. Вследствие ряда неблагоприятных причин в водохранилищах редко достигается уровень численности рыб, соответствующий эффективному использованию кормовой базы. Такая ситуация сложилась, например, в первый год существования Куйбышевского водохранилища, когда появилось высокоурожайное поколение леща, обеспечившее эффективное использование кормовой базы. Рост леща при этом ухудшился. С выбытием по возрасту этого многочисленного поколения из промысловой эксплуатации запасы леща в водохранилище соответственно понизились, но обеспеченность рыб кормом улучшилась, что отразилось на повышении темпа роста леща.

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

Применительно к мезотрофным южским 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 актрофированного бентоса, соотношение F/B как показатель использования кормовой базы в ряде водохранилищ

Водохранилище	Улов F , т/м ²	Бентос		Остаточный улов F_1 , т/м ²	До бентоса раз F_1/B больше среднего улова	Общий улов F_2 из учета лова в зарослях, т/м ² в год	Соотношение F_2/B
		B , т/м ²	F/B				
Кавказское	4,2	9	1:7,5	4,5	5	2,4	4,5:5
Узуниское	0,7	9	1:1,3	4,5	6	1,4	1:6
Рыбинское	0,5	2,5	1:5	1,25	2	1,0	1:25
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. Казанского и др. (1976); Н. И. Лопухина (1976).

** Рыбопродукция в отношении $F/B=1,2$, остаточного лова в зарослях к численности актрофированного бентоса.

*** Приведенный лова актрофированного бентоса рыб в промысловый.

Примечания: F — улов, B — бентос, F_1/B — бентос.

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 Льюиса F/B (отношение промыслового улова к остаточной биомассе бентоса), на первый взгляд можно было бы сделать вывод о сильном недиспользовании донных кормов (табл. 30). Однако с учетом любительского вылова из водохранилищ, снижаемого по величине с промысловым, общий улов следует считать примерно вдвое выше. В связи с этим фактически 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 «корынным» по сравнению с южскими) бентос в значительной степени «недоиспользуется». Поэтому предлагается восполнение в него рыб-моллюсков. В Цимлянском водохранилище даже с учетом

¹ Однако в том и другом случае необходимо дальнейшее повышение невеликой кормовой базы водохранилища.

производного к 1972—1974 гг. снижения продукции бентоса в 5—10 раз и при возрастании роли олигохет, полихет и хирономид убеждается лишь 1/4—1/5 часть общей продукции бентоса: олигохеты и полихеты потребляются на 1—5%, хирономиды — на 50%, мшлоски — на 35%, высшие ракообразные — на 50—88% (Небольсин, 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 воды для нужд сельского и рыбного хозяйства в поймах и дельтах рек.

В случаях, когда сработка уровня водохранилища исключает возможность развития верхней растительности, пригодной для нереста фитофильных рыб, запасы рыб снижаются. Наблюдения на Куйбышевском водохранилище показали, что наибольший эффект в воспроизводстве дают мелководные участки, расположенные в верхней части водоема; по мере продвижения к плотине численность личинок рыб убывает, видовой состав беднеет, увеличивается доля малоценных рыб. Отмечено, что наибольшие уловы молоди приходятся на годы с заполнением водоема до НПУ к началу нереста и с превышением НПУ при незначительной сработке уровня до ледостава. Обращает на себя внимание тот факт, что в основном наибольшие уловы молоди приходится на годы повышенной водности Волги, т. е. на 1963, 1966, 1970 гг. По данным Махотина (1977), урожайные поколения в Куйбышевском водохранилище появляются один раз в четыре года, причем урожайному году предшествует год маловодный с хорошей зарастаемостью мелководий. Численность поколений отдельных лет в зависимости от обеспеченности воспроизводства может колебаться десятки и сотни раз.

Уровневый 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 многолетние 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 Параклиное, 1972; Мухомов, 1974; Гук, 1975; Константинов и др., 1976; Кудерского, 1977; Jenkins, 1969)

Водохранилище	Средняя численность, экз./га	Периодичность, лет	Средняя численность, экз./га	Бентос без крупных моллюсков, биомасса, г/м²	Прирост рыбы, т/га
Иваньковское	7	0,7	2,5	9	1,2
Угличское	4	0,5	—	—	0,7
Рыбинское	3	0,3	1	2,5	0,5
Горьковское	2,5	0,65	1	3	0,3
Куйбышевское	2,5	0,5	1,5	4	0,65
Саратовское	1,3	0,45	1	2	0,25
Волгоградское	1,1	0,5	2,5	2,5	0,73
Днепропетровское	2,9	Нет данных	2,4—7,6	7,2	2,5—3
Днепродонецкое	5,0	»	4,7	16	2,5—3
Криворожское	7,8	»	1,4—7,7	50	2,5—3
Киевское	21	»	2—3,9	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) *
Водохранилище США	»	»	»	»	1,1

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

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

Промысловая рыбопродукция и общая рыбопродукция иктациона. 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 сотни 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 в пересчете на площадь неэксплуатируемой составляет 60—90 кг/га. Для водохранилища США 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 диспроверских водохранилищах (25—45 кг/га). Еще более высок улов в небольших лужных водохранилищах — Хаузаханском (Туркменская ССР) — 60 кг/га, Шенджийском (Краснодарский край) — 52—309 кг/га, где преобладают растительноядные рыбы (75—80%).

Отношение промыслового улова к общей продукции иктациона, 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 подлагналы 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. Выпесказание в первую очередь относится к водохранилищам, находящимся под мощным антропогенным воздействием.

ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ПОНЯТИЯ

Обеспечение чистоты воды водохранилищ — одна из узловых проблем их создания и эксплуатации. Проекты создания и практика эксплуатации водохранилищ, как правило, учитывают интересы обеспечения коммунального, промышленного, сельскохозяйственного водоснабжения, развития рыбного хозяйства и рекреационного использования прибрежных зон.

Не существует водопользователей, не заинтересованных в определенном качестве воды. Кроме того, существование такого водохранилища положительно влияет на природные процессы лишь при условии достаточной чистоты его воды. Изучение особенностей формирования качества воды и водохранилищах позволяет утверждать, что правильный выбор их местоположения и режима эксплуатации в ряде случаев существенно влияет на характер внутроводоемных 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, жесткости, наличие вредных веществ, 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 почв. Развитие учения о циркуляции токсических веществ в окружающей среде, очевидно, усилит требования к качеству вод, пригодных для использования в сельском хозяйстве.

Состав воды водоема во многом определяет жизнедеятельность водных экосистем, с функциональным состоянием которых связаны процессы самоочищения водоемов и их продуктивность. Поэтому рассмотрение качества воды как характеристики среды, обеспечивающей устойчивость водных экосистем, при оценке состава вод не менее важно, чем учет иных критериев. Влияние изменений, происходящих в экосистемах водоемов, на качество воды изучено недостаточно.

Рассмотрение проблемы нормирования состава воды, в частности открытых водоемов, выходит за пределы темы настоящей монографии. Однако следует подчеркнуть, что необходима разработка единых критериев нормирования состава воды водоемов с учетом интересов не только рационального использования и охраны водных ресурсов, но и охраны их экосистем. Последние играют решающую роль в формировании качества воды, определяя возможность и интенсивность процессов самоочищения.

Рассмотрим факторы и процессы, изменяющие состав воды. Формирование качества воды в водохранилищах во многом определяется особенностями развития гидрохимических и биохимических процессов, зависящих от специфических воздействий ряда внутри- и вневодоемных факторов. Рассмотрение роли ведущих факторов позволяет представить основные процессы формирования качества воды в водохранилищах. Гидрохимические и биологические процессы формирования состава воды зависят от соотношения масс поступающей в вытекающей воды, в том числе от стока основной реки и боковых притоков, состояния залитого ложа (в первые годы формирования водохранилища), промышленных и бытовых стоков, стоков с полей минеральных удобрений и ядохимикатов, рекреации, растворения продуктов эрозии берегов и дольных 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 водохранилищ.

Для вновь созданных водохранилищ характерны два периода формирования качества воды: период наименьшей стабильности состава воды в первые годы их существования, что связано с излиянием 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 распределения кислорода в различных слоях и самоочищения воды. В последние десятилетия все более существенным становится влияние антропогенных факторов на качество воды водохранилищ. Сбросы неочищенных или недостаточно очищенных промышленных и коммунальных сточных вод, поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий и животноводческих ферм и комплексов 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, связанное с процессами их десорбции с дольных отложений и за счет разрушения 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 внешние вещества, природные органические соединения, макро- и микроэлементы.

По определению В. И. Вернадского, ведущим фактором, определяющим состав речных вод, являются геохимические процессы в географических (ландшафтных) зонах.

В зонах с избыточным увлажнением (тропическая, лесная, тундровая) происходит интенсивный вынос растворимых солей. Наиболее растворимые вещества — хлористый натрий, гипс — здесь в основном вымываются в тропической и тундровой зонах вымывают 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 (лесостепь, степь и полупустыня) вынос солей незначителен, но минерализация вод здесь выше. Выпесчливается наиболее растворимый галит (NaCl), а все остальные соли — гипс, углекислый и сернокислый натрий — могут сохраняться в зависимости от местных условий. Более подвижные речные воды в общем минерализованы меньше, чем менее подвижные озерные, грунтовые и почвенные воды, минерализация которых может достигнуть даже 10—30 г/л и выше. В зонах с недостаточным увлажнением, кроме того, формируются гипсовые, содовые и сульфатно-натриевые воды. В аридной зоне, или зоне засоления почв, происходит не вынос солей, а их накопление.

Руководствуясь соотношением ионов в различных водах, гидрохимики выделяют классы, группы и типы вод, причем в СССР, пожалуй, наибольшую известность получила классификация природных вод О. А. Алексеева (1955). Следует, однако, отметить, что она далеко не единственная. Выступили также геохимическими единицами являются гидрохимические зоны. Они делятся на гидрохимические области, а последние — на районы, районы — на фации. В распределении гидрохимических фаций как для почвенных растворов, так и для речных вод приваляется проточная и высотная зональность, причем Г. А. Максимович (1955) выделяет для почвенных растворов девять проточных фаций.

Минерализация озерных вод меняется в миллионы раз — от $6 \cdot 10^{-4}$ до 37,15%. В непереточных и малопереточных озерах из раствора могут выпадать и накапливаться наименее растворимые вещества, жизнедеятельности 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 различных химических характеристик самих вод в годовом цикле, можно определить четыре периода.

I период — осенний предпаводковый.

II период — река под ледяным покровом, когда прекращается сток поверхностных вод и основное питание реки происходит за счет глубоких подземных вод.

III период — половодье. Река питается талыми снеговыми водами.

IV период — лето до начала осеннего подъема уровня воды. Питается река за счет выпадения осадков и вод таяния поверхностного слоя многолетней мерзлоты, ледников и т. д.

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

Следует отметить, что, кроме вертикальной зональности, важный фактор, обуславливающий появление гидрокарбонатной гидрохимической фации, это литология. Реки, протекающие среди мощной толщ известняков, также относятся к гидрокарбонатным гидрохимическим фациям. Появление сульфатных гидрохимических фаций связано с гидрогеологическими особенностями, например впадением в реку сернистых источников с большим дебитом (р. Артун 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 солей, однако при этом сохраняются особенности состава воды того водотока, на котором создано водохранилище. Так, например, для водохранилищ верхней Волги показательно сравнительно небольшое содержание солей в воде и наличие гуминовых веществ, свойственных незарегулированной Волге; для Камских — высокая минерализация и разнообразный солевой состав по отдельным участкам как результат воздействия многочисленных впадающих в Каму притоков; для водохранилищ на 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 образованных на них водохранилищ за период 1950—1970 гг. (Зайцева и др., 1977). Установлено закономерное снижение органических веществ в воде водохранилищ по сравнению с питающими реками и обратная связь между содержанием органических веществ и величиной водообмена.

При малых значениях этой величины (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 водобоема выражена в таяжно-лесной, меньшая — в лесостепной и степной, наименьшая — в полупустынной и пустынной зонах. С увеличением водобоема различия в содержании органических веществ в воде водохранилищ и рек снижаются примерно в равной степени во всех природных условиях.

В первые годы существования водохранилища существенное значение в формировании качества его воды имеют состояние ложа и свойства затопленных почв. Санитарно-технические мероприятия, выполненные для подготовки ложа, играют при этом особую роль. Накопленный практический опыт в этой области показывает, что от качества очистки участков ложа, занимавшихся ранее населенными пунктами, обеззараживания источников, захоронений и других потенциальных источников загрязнения во многом зависит влияние ложа на качество воды в водохранилище. В первые годы сохраняет влияние и затопленная древесная растительность. Отмечено отрицательное влияние торфов на качество воды. В начале существования водохранилищ характерно повышение значений таких показателей качества воды, как БПК, окисляемость, цветность и снижение уровня содержания растворенного кислорода. Это влияние больших затопляемых территорий временно и постепенно теряет значение.

Процессы формирования качества воды во вновь 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 гидрологические, 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 аллохтонного вещества. Ни о какой сбалансированной экосистеме и формировании воды удовлетворительного качества как результате деятельности экосистемы в этот период не может быть и речи. К тому же едва сформировавшиеся водные массы находятся, как правило, под мощным антропогенным воздействием, поскольку с водосборной территории поступают минеральные соли, загрязнения и аллохтонные органические вещества.

Исследования, проведенные на верховскопесчаных 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 извлекаемых частиц, формирующих донные 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	1950	1951	1955	1956	1957
Жесткость					
Выше среднего	271	237	248	242	245
Ниже	256	240	236	234	235

Однако в первые годы существования водохранилища возможно и нарастание уровня минерализации воды. Имеются данные о начальном периоде формирования качества воды водохранилища Блэкстрейл (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 перекрытие его водонепроницаемым либо неактивным материалом.

В настоящее время рассмотрим природного состава вод, в том числе и водохранилищ, без учета огромного влияния веществ антропогенного происхождения приобретает все большую условность. Их включение в состав воды способно вызывать столь

значительные сдвиги в ее качестве, что в ряде случаев приходится рассматривать природный состав воды водохранилища лишь как фоновый.

САМООЧИЩЕНИЕ ВОДЫ

Важнейший внутриводоемный процесс формирования качества воды в водохранилищах — ее самоочищение. Под «самоочищением» природных вод принято понимать совокупность физикохимических, гидрофизических, гидрохимических 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 продления воды по водохранилищу таких показателей ее качества, как прозрачность, цветность, минерализация, бактериальная загрязненность (табл. 33).

Таблица 33
Улучшение качества воды в водохранилищах
(по Гринман и Кудальчин, 1973)

Участок водохранилища	Куйбышевское		Каховское			Центральное	
	Прозрачность, % Среднее	Количество осевших веществ в 1 м ²	Концентрация	Количество осевших веществ в 1 м ²	Концентрация	Прозрачность, % Среднее	Количество осевших веществ
Верхний	70—90	1800—1723	16180—53200	4000	10000	10—18	16200—20000
Центральный	150	700—1035	100	300	750	23—28	8400—12000
Припоселковый	150	29	30	507	10—100	25—30	6000—8000

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

На ряде водохранилищ (Клязьминское, Учинское и др.) качество воды в припоселковой части водоемов приближается к качеству воды, очищенной на водопроводных сооружениях, и иногда даже не требует специальной очистки от извесей. Очистление воды в водохранилищах значительно облегчает и удешевляет очистку на водопроводных сооружениях.

Отстой воды в водохранилищах в течение 2—3 недель приводит также к резкому уменьшению содержания сапрофитных бактерий и кишечной палочки (табл. 34).

Таблица 34
Коэффициент (по средним данным, Дричек, 1961)

Водоем	Объем водоема, млн. м ³	Число бактерий в 1 л воды
Пруды	До 1	10 ⁸ —10 ⁶
Водоохранилища:		
Шагское	75	100—5000
Клязьминское	88,5	100—10000
Иваньковское	1120	100—1000
Рыбинское	25420	20—100

Водоохранилища выступают в роли гигантских отстойников. Для оценки этой роли водохранилищ Хадсон (Hudson, 1971) употребил понятие «эффективность улавливания наносов», выражаемое в процентах от общего количества наносов, приносимых рекой. Эта величина зависит от объема водохранилища и их водообмена и в известной мере может быть охарактеризована таким показателем, как соотношение объема водохранилища и притока (C/I). С увеличением этого соотношения растет и процент задерживаемых водохранилищем наносов.

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

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

Учинском, получающем отстоявшуюся в Пестовском водохранилище воду, — на 9—19%; значительно уменьшается сильный «землистый» запах воды после отстоя в Фархадском водохранилище. С процессами отстаивания воды в водохранилищах связывают и некоторые снижения ее цветности, обусловленной присутствием окрашенных органических соединений гумусового 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 прогоне через Фархадские водохранилища уменьшилось приблизительно в 10 раз в меньш и в 20—40 раз в паводок. В некоторых водохранилищах (на загрязненных сточными водами) санитарно-бактериологические показатели качества воды в зимнее время приближаются к нормативным для питьевой воды.

Р а з б а в л е н и е. Объем водохранилища, его форма, рельеф, глубины, площадь и расположение впадающих притоков также оказывают значительный отпечаток на ход и характер процессов разбавления и самоочищения в водохранилищах.

Образование взвешенных масс воды на отдельных участках водохранилищ приводит к дефициту кислорода на глубинах свыше 3—5 м и, следовательно, самоочищения в придонных слоях (Торачевский и др., 1974). Ряд исследователей справедливо считают, что водохранилища обладают ограниченными возможностями самоочищения, а в результате спуска в них сточных вод и накопления токсических веществ затрудняется использование воды для водоснабжения и орошения (Жалил, 1967; Мельников, 1972а, б; Федий, 1973).

Отрицательные последствия зарегулированного стока связаны с замедлением скорости течения, резким ухудшением условий перемешивания водных масс до всей их толщи и их обогащения кислородом из атмосферы, а также образованием взвешенных зоев. При этом удаление сточных вод от места их впуска и их разбавление замедляются вследствие уменьшения течения, причем стоки иногда нагоняются ветром вверх по течению и могут распространяться до середины водохранилища или до противоположного берега, как это наблюдается в нижнем участке Каховского водохранилища (Костюченко, Рахов, 1975). Может даже возникнуть необходимость переноса водозаборов, которые в естественных условиях располагались выше по течению места впуска сточных вод, ратые Газозильны и относительной безопасности.

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 микроорганизмов 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 загрязнители стимулируют развитие представителей фитопланктона и зоопланктона, уровень развития гидробионтов отражает интенсивность процессов самоочищения.

Для быстрого окисления важно сочетание таких факторов, как разбавление загрязнителей и перемешивание водных масс, повышенная температура и достаточное количество растворенного кислорода (что обеспечивает преобладание окислительных процессов и ускоряет минерализацию органического вещества).

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

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

$$K = 1/t \lg (x_2 - x_1),$$

где x_1 и x_2 — потребление кислорода за время t и $2t$.

В последнее 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 (Жульковский и др., 1976). Следует, однако, иметь в виду, что соотношение Φ/D в большой мере зависит от степени трофики водоема и доли прироста нового аэробного 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 исследователей 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. повышение уровня трофии, новообразованного органического вещества, представляет опасность. Незарегулированные реки имеют обычно извилистые русла, участки с преобладанием относительно тихих плесов чередуются с перекадами: для вод рек характерными особенностями являются непрерывные контакты с песчаным или илистым дном и с воздухом. Все это способствует, с одной стороны, проявлению адсорбционной способности дна реки, и с другой — непрерывному насыщению речной воды кислородом.

Водохранилища — особая категория водоемов замедленного водообмена, которым свойственны не только своеобразные гидрохимические и морфометрические характеристики, но и особенности протекающего в них круговорота веществ и энергии (Буторин, Фортунатов, 1976). Так, в расширенной части волжских водохранилищ деструкция (при более высокой скорости водотока) идет медленнее, чем в суженной. В водохранилищах руслового типа численность осуществляющих деструкцию бактерий выше, чем в водохранилищах озерного типа. Самоочищение волжской воды в плесных участках водохранилищ замедлено в 2—3 раза. Так, на большинстве незарегулированных участков р. Волги за сутки минерализуется 20—30% легкоразложимых веществ, а в районах замедленного стока — 5—10% в сутки (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, сказывается 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 сомкнуты. Кислородный режим в этих водоемах наиболее благоприятен.

В более глубоких водоемах разность температур может приводить к расслоению водных масс на эпилимнион, металимнион (термоклин), гиполимнион. Важно подчеркнуть, что первый из них трофогенный, а нижний — трофолитический, в котором происходят процессы деструкции органического вещества. Соотношение мощности этих слоев существенно влияет на процессы самоочищения водоемов.

Для оценки интенсивности биологических процессов в водоемах могут быть использованы такие показатели, как соотношение объемов эпи- и гиполимниона, соотношение количества кислорода в эпи- и гиполимнионе, дефицит кислорода, отнесенный к площади гиполимниона, процент площади дна, занятого гиполимнионом. Отметим, что под воздействием донного и оседлого перемешивания вертикальная и горизонтальная зональность исчезают; то же наблюдается в ряде водоемов летом при сильном ветровом перемешивании. Чем больше процент объема водоема занимает эпилимнион, тем его продуктивность в плесях выше. Степень водообмена эпи- и гиполимниона и устойчивость вертикального расслоения водоема в большей мере зависят от степени термоградиснта 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 термоклина к средней и максимальной глубинам), водохранилища Минд, Булл-Шоу, Ф. Рузвельта характеризуются большей термальной устойчивостью, чем, например, Оахе и Норрис. В ряде случаев, как, например, в водохранилище Мэдлен-Лейк (зона Панамского канала), высокостабильный термоклин играет роль «второго дна». Градиент плотности воды замедляет погружение донного вещества в гиполимнион и поддерживает высокую продукцию эпилимниона.

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

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

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

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

Водохранилище	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м	Глубина термоклина, м	Относительная глубина термоклина к средней глубине
Мид	160	60	24	0,35
Сале	90	18	21	1,18
Пауил	51	17	*	—
Бул-Шонс	60	20	9	0,45
Ф. Рузвельт	60	24	9	0,45
Текелла	35	9	*	—
Кентукки	12	5	*	—
Тейси Рок	68	12	9	0,47
Норрис	80	18	25	1,4
Уитни	13	7,5	*	—

* Стабильный термоклин не образуется

3. Умеренно холодноводные — зона температурного скачка ниже средней глубины. Большую часть профундади занимают мета- и гипсомитон (оз. Переяславское).

4. Холодноводные озера — слой скачка выше средней глубины (озера Ладоское, Онежское, Валдай).

5. Очень холодноводные озера — самые глубокие. Придонные температуры постоянные (оз. Байкал).

Указанная классификация, по-видимому, может быть применена и к водохранилищам, занимающим по ряду показателей промежуточное положение между рекой и озером. Это позволит дифференцировать их по типу стратификации и уровню самоочищения.

Исходя из средней глубины и процента площадей с разными глубинами, большинство крупных равнинных водохранилищ бассейна Волги, Днепра по этой классификации могут быть отнесены к категории «тепловодных разнородных», в которых большую часть профундади занимает эпимитон (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 песенно-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
Куйбышевское	51	8,2	36
Саратовское	30	6,9	47
Волгоградское	44	10,1	37
Камское	21	6,2	50
Воткинское	10	9	35
Днепродзержинское	17	4,3	60
Днепровское	44	8	64
Кажеевское	38	8,4	22
Пондьянское	30	2,6	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 термоклин не характерен, в отличие от стратификации на процессы самоочищения ограниченно.

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 профундади, 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 мас выражается в изменении с глубиной O_2 , Fe^{+2} , pH; в июле — Fe^{+2} , NO_3^- , PO_4^{3-} ; в июле — t , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Fe^{+2} , CO_2 , pH; в сентябре — Fe^{+2} , NO_3^- , PO_4^{3-} . При этом наиболее характерны изменения 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, метана, аммиака, а также соединений железа и магния, переходящих в анаэробных условиях из нерастворимых форм в растворимые.

Для повышения самоочищающей способности водоемов, в том числе водохранилищ, в США, ФРГ и некоторых других странах применяют искусственную destratification озер и водохранилищ с помощью сжатого воздуха (Топачевский и др., 1975) либо взвешивание гипохлорита 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, нефтехимии, пластмасс и др., сточные воды которых содержат трудноразлагаемые 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 (исключительно-бурильные, 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 (биогеохимические элементы, ядохимикаты). Этот сток биогеохимических 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 оптимального процесса самоочищения водоема важно рассмотрение его вместе с водосбором.

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

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

Обнаруженное снижение выпаса минерального фосфора и взвешенного вещества в Северной Каспии 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 водосма, являющегося накопителем фосфатов, можно привести водохранилище Толькин во 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 78 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 волжских и днепровских водохранилищ содержание фосфора в 2 раза выше, чем в глубоководных частях, а скорость обменных процессов в прибрежных зонах выше на 1—2 порядка. Роль растительности и 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 извлечения 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 сочетались чисто природные факторы.

Однако в настоящее время эти процессы в 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/д сухого вещества, протекает фотосинтез с интенсивным поглощением углерода и других биогенных элементов из воды. Одновременно выделяется кислород. Однако при накоплении биомассы до 200—500 мг/д 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, эндотоксины и другие биологически активные вещества. При гибели и распаде водорослей выделяются фенолы, меркаптаны, алфатические кислоты, присутствие которых делает воду не пригодной для питьевых целей, а также для существования гидробиоценоза.

«Цветение» воды водохранилищ и других водных объектов в настоящее время, как уже указывалось, является формой евтрофирования, когда тонко и точно сбалансированные природные экосистемы оказываются нарушенными, в частности когда водоемы уже не могут справиться с прессом нагрузки биогенных элементов, ядохимикатов и других веществ. «Цветение» воды наблюдается в последние десятилетия в реках, озерах и морях, где не происходило каких-либо изменений гидродинамических и гидрологических параметров. В качестве примеров можно привести малые реки Молдавии, американские озера (Эри, Верхнее, Мичиган, Гурон), озера Канады, Швеции, Швейцарии (например, Цюрихское, Женевское), Венгрии (Балатон), Балтийское, Азовское и Черное моря. Однако «цветение» воды в водохранилищах, создаваемых для 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 (Голачевский и др., 1974).

Условия, способствующие «цветению», следующие: 1) несостоятельная «сбалансированность» экосистем или условия, нарушающие сбалансированность; 2) наличие повышенных концентраций биогенных элементов, в первую очередь азота и фосфора; 3) слабый водообмен и дефицит кислорода в толще воды и повышенный ее прогрев. Указанные условия взаимосвязанны. Отсутствие одного из биогенных элементов в среде, чаще всего фосфора, препятствует «цветению», поэтому в одной из рекомендаций предлагается предотвращение попадания фосфора в водоемы. Для водохранилищ умеренной климатической зоны характерны вспышки «цветения» воды в жаркие месяцы, когда повышается температура выше средних норм. Наоборот, в те годы, когда летние месяцы оказываются более прохладными, явление «цветения» воды выражено слабо.

Для борьбы с «цветением» рекомендуют следующие меры: 1) продувание водной толщи кислородом; 2) вселение растительноядных рыб и выращивание тростника на мелководьях; 3) применение химических средств борьбы, например медного купороса; 4) ограничение поступления в водохранилища биогенных элементов или их удаление теми или иными способами.

Выбор метода борьбы с «цветением» требует индивидуального подхода к водным объектам.

Удаление 1 кг фосфора предотвращает образование 1000 кг водорослей, а 1 кг азота или углекислоты — 100 кг водорослей. Технически легче предотвратить попадание в водоем фосфора, чем азота или углерода, или исчерпать фосфор в нерастворимую форму. Фосфор поглощается взвесью или частицами глины. Например, евтрофирование в озере Монд (Австрия), происходившее в 1958—1961 гг., удалось прекратить после внесения в него глины, образовавшей слой на дне. Один из способов сохранения качества воды заключается в извлечении избыточных масс водорослей до того, как они начали 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-

скохояйственных 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 вод водохранилищ заключается в весьма сложном взаимодействии между водной массой и донными отложениями; последние выступают в роли аккумуляторов минеральных элементов, в частности азота и фосфора, а также токсических антропогенных загрязнений.

Некоторые авторы справедливо отмечают, что результаты только физико-химического анализа воды недостаточны для суждения о самоочищении водоема, так как загрязнение накапливается в донных отложениях при замедленном водообмене. Так, осаждение взвесей в нижних слоях Ташкентского водохранилища (Узбекская ССР) привело к увеличению содержания ДДТ в 7—8 раз по сравнению с поверхностными слоями водохранилища и в 1,5 раза по сравнению с р. Ангрен (Укубова, 1967). В озере водохранилище Окичи (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 поглощательная способность грунтов проявляется также в отношении тяжелых металлов, что приводит к оседанию от них водных масс. В каскаде днепровских водохранилищ загрязнению промышленными стоками в наибольшей степени подвержены Запорожское и Каховское водохранилища, в наименьшей — Кислякское и Кременчугское. Так, в 1970 г. в каскад днепровских водохранилищ с промышленными и бытовыми стоками пришло с 36 400 т азота и 3600 т фосфора (это примерно равно их поступлению с естественным стоком) поступило 3—6 т хрома и по 1 т цинка и меди (Денисов и др., 1976). А. И. Денисов, Е. П. Нахашина, А. К. Паламарчук считают, что благодаря большой поглощательной способности грунтов в настоящее время водохранилища днепровского каскада еще «справляются» с нагрузкой тяжелых металлов.

Наблюдающееся усиление 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 внутриводосных 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+} , Sn^{2+} , As^{3+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+}), а в перечень гигиенических ПДК — 23 (кроме перечисленных выше, Br , Ba^{2+} , Ca^{2+} , Bi^{3+} , Bi^{2+} , W^{6+} , Mo^{6+} , Hg^{2+} , Sc^{3+} , Sr^{2+} , Sb^{3+} , Te^{2+} , Fe^{3+} , Ti^{4+} , Cl^{1+} , Cr^{3+}).

Сопоставление данных исследований, проведенных на ряде водохранилищ и озер, позволяет в известной мере установить некоторые особенности поведения таких элементов, как Mn , Zn , Ca , 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 наибольших количествах в придонных слоях. Перераспределение Mn в толще воды связывается с усилением циркуляции водных масс в период вскрытия и разрушения ледового покрова. Параллельно с этим происходит парадоксальное поведение содержания Mn в течение периода существования 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. Так, где процессы заиливания менее выражены, а почвы южа представляют лесными грунтами, наблюдается вынос Mn из водной толщи в грунты. В ряде исследований связывается увеличение концентрации Mn в воде водоема с размножением фитопланктона (Шахматова, 1977). Участие последних в круговороте марганца подтверждает и резкое снижение его растворимых форм в период наиболее интенсивного развития фитопланктона.

На характер направленности процессов адсорбции — десорбции влияют собственная концентрация интредиякта 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 из донных осадков в воду можно расположить в следующий ряд: $NH_4 > Fe > PO_4$, NO_3 , NO_2 . Роль обменных процессов такого рода возрастает в зонах небольших глубин (мелководий), влияя на развитие погружающей и допной 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 срабатывания уровня в связи с оттоком воды из мелководий, обогащенных биогенными элементами придонных слоев воды.

Например, система мелководий Киевского водохранилища, включающая погружающую растительность, лерифитон, илчатые водоросли и фитомикробентос, обеспечивает высокое качество самоочищения воды при биомассе водорослей до 2—5 кг/м². При биомассе выше 5—6 кг/м² преобладают факторы загрязнения.

При образовании мелководий развитие на них водной растительности (макрофиты) приводит к улучшению качества воды в том случае, если избыточная биомасса удаляется. В этом случае на водоеме выносятся избыточные биогенные элементы, сама же биомасса может служить кормовым сырьем.

Уместно отметить, что мелководья крупных водохранилищ, к особенностям которых относится более низкая проточность, образование застойных зон и слабый водообмен с основной водной массой, существенно влияют на состав воды и формирование биопродуктивности этих водоемов в целом.

Тепловое загрязнение. Новое и весьма специфичное для зарегулированных водоемов загрязнение — тепловое, связанное с поступлением теплообменных вод ТЭС, АЭС и т. д. Перспективность строительства ТЭС и АЭС заставляет обратить особое внимание на проблему их водообеспечения, вызванную необходимостью охлаждения агрегатов. Так, ТЭС мощностью 2 млн. квт требует для этой цели 80 м³/с воды, а АЭС мощностью 4 млн. квт — 240 м³/с. Потребности в большом количестве воды определяют размещение ТЭС и АЭС рядом с крупными источниками пресной воды, в частности на водохранилищах.

Температурный градиент сбрасываемых вод по отношению к забирным достигает 10° С. Сброс подогретых вод оказывает прямое и косвенное влияние на качество воды. С одной стороны, подогрев способствует развитию процессов самоочищения и увеличению на треть первичной продукции, с другой стороны, сброс воды усиливает вторичное загрязнение, связанное с новообразующимися органическими веществами микроорганизмов, фитопланктона и высшей водной растительности (Пидгайко и др., 1970). Следует иметь в виду и многократное повышение токсичности вредных веществ в подогретой воде.

Влияние сброса подогретых вод на биеносы показало на примере исследований, проведенных на Иваньковском водохранилище. В зоне сильного подогрева воды Кошаковской 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 беспозвоночных и рыб, снижение биомассы зоопланктона и угнетение развития личинок 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 биеносов водоема в целом и существенно снизить его способность к самоочищению. Необходимо иметь в виду и сопутствующее повышению температуры воды в водоеме проявление дефицита растворенного кислорода со всеми негативными последствиями этого явления — появлением анаксии и пр. (Траутман, Кибальчич, 1975).

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

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

В настоящее время вопрос о связи некоторых характерных загрязнений (бактерии группы кишечной палочки, нефтепродукты) с размещением по берегам водохранилищ зон отдыха достаточно исследован. В этом отношении характерны данные, полученные на водохранилищах США. Исследования, проведенные на 12 водохранилищах в штате Калифорния, на водохранилищах Форест-Лейк (штат Миссури), Ландлоу и Коби-Маунтин (штат Массачусетс), Комленсфитинд и Уэст-Бренч (штат Коннектикут), Гейт (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-

ванных водохранилищах было отмечено существенное загрязнение береговых территорий, отведенных для купания, рыболовства, отдыха и т. п.

Поскольку большинство водохранилищ используется, как правило, и для хозяйственно-питьевого водоснабжения, вопрос о порядке рекреационного использования того или другого из них должен решаться на основе анализа местной ситуации. Возможности надежной защиты зон расположения водозаборов централизованных хозяйственно-питьевых водопроводов — очевидно, недостижим аргумент при принятии соответствующего решения.

Режим эксплуатации. Качество воды водохранилища зависит и от режима его эксплуатации, в том числе от колебаний уровня воды. Важное значение при этом имеет изменение концентрации сточных вод, влияние которых при сработке водохранилища увеличивается.

В еще большей степени качество воды зависит от гидрологического режима в нижнем бьефе. Здесь прослеживается прямая зависимость качества воды от величины и периодичности 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 — подержанием необходимого объема воды, обеспечивающего должные условия самоочищения и разбавления нежелательных примесей, в отрицательное — с интенсивным загрязнением, распространяющимся вниз по каскаду. Так, для Волжского каскада показано существенное влияние на содержание в воде иловых реж: минерального и органического фосфора (снижение в два и полтора раза соответственно) и повышение в 2–2,5 раза нитратного азота (Беззубова, 1977).

Как отмечалось, в условиях каскада водохранилищ возможен вынос загрязнений и вверх по течению. Такие условия могут наблюдаться в нижнем бьефе при наличии подпора. Уменьшение величины 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 внутриводоемные процессы в водохранилищах.

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

очистительной способности водохранилищ. По данным А. Д. Приймаченко (1967), соотношение Φ/D в июле 1967 г. составляло в Кременчугском водохранилище 1,28, Днепродзержинском — 0,86, Днепровском — 0,32, Каховском — 0,23. Это приводит к ускорению продукционных процессов (исривная, вторичная продукция) (Мельников, 1970а, б).

Исследования последних лет позволяют оценить суммарный эффект продукционно-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 Ираньковском водохранилище, за навигационный период под 1 м² образуется 198—170 т 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 макрофитов сюда не входят, но они составляют относительно небольшую часть — 30 тыс. т. Не учитывается также деструкция органического вещества в дельтах 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 народного хозяйства, в интересах которых они создаются, рассмотрено в гл. II, поэтому здесь мы коснемся только причин отрицательного воздействия, которые попадают в зоны воздействия вследствие размещения в речных долинах и озерных котловинах.

В СССР выделяют следующие зоны воздействия водохранилищ на население и хозяйство (Лавкин, Шаранов, 1977).

1. Зоны прямого воздействия в верхнем бьефе:

а) зона постоянного затопления (принимается обычно в пределах уреза воды в водохранилище при НПУ с учетом кривой подпора в 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 форсированности уровня водохранилища;

г) зона повышения уровня грунтовых вод и подтопления; при ее установлении исходит из того, что предельно допустимой глубиной залегания уровня грунтовых вод считается глубина 1 м для сельскохозяйственных угодий, 2 м — для сельских населенных пунктов, 3 м — для городов и поселков городского типа;

д) зона переформирования берегов 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 под 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 временное затопление, и подтопление, 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, переформирования берегов, часть зоны повышения уровня грунтовых вод (где в первые годы после заполнения водохранилища проявляется заболачивание и сильное подтопление), а также спланированное систематическое климатическое влияние; 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 учитывают примерно те же зоны влияния водохранилищ в верхних и нижних бьефах гидроузлов, однако степень учета всех возможных видов влияния водохранилищ весьма неодинакова в проектах, осуществляемых 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 колониалистов или колонизаторов 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 ищутся возмещения в гидроузлах и водохранилищах вынужденно вытесняемых комплексацию.

В социалистических странах тщательный учет всех возможных побочных последствий создания водохранилищ обеспечивается плановостью хозяйства, заботой о благе народа и сохранении окружающей среды.

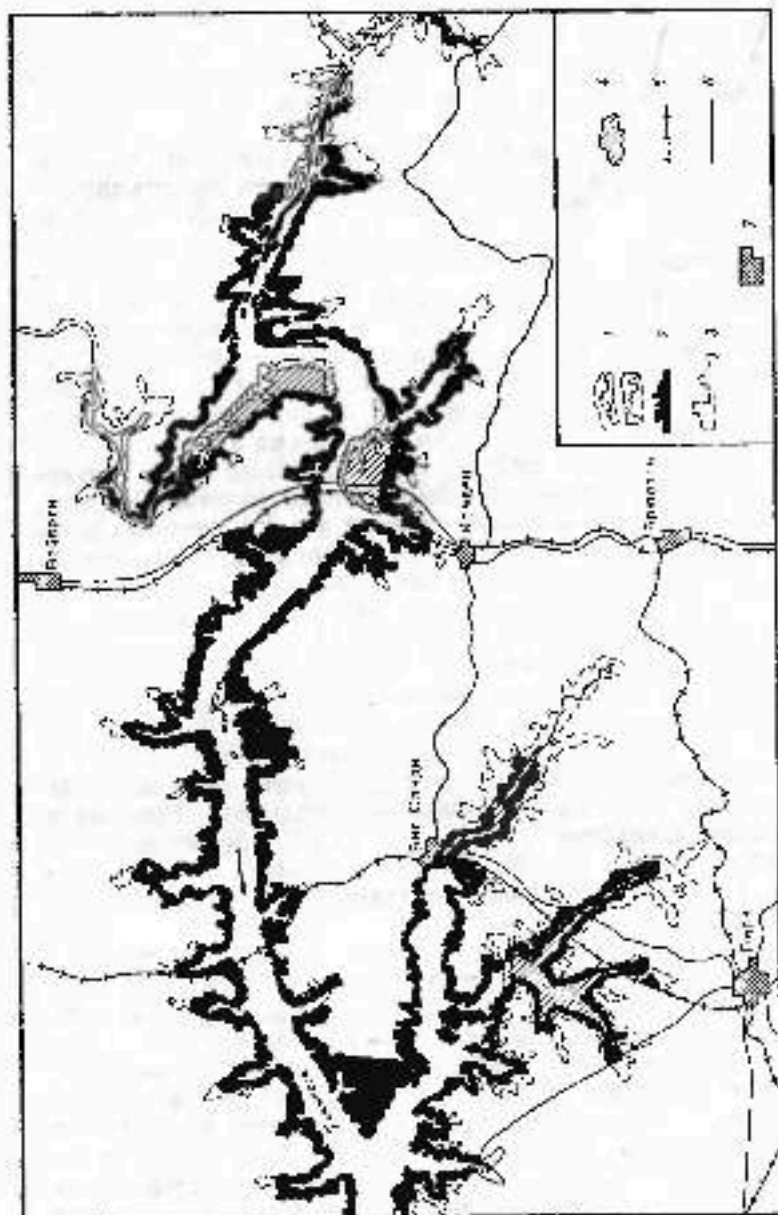


Рис. 34. Зона отчуждения водохранилища Кевеенау (США) (TVA Annual Report..., 1949)

1 — вода, 2 — водноболотные угодья, 3 — сельскохозяйственные земли, 4 — лесные земли, 5 — лесные земли, 6 — лесные земли, 7 — лесные земли, 8 — лесные земли.

земель — лесное и частное. Подле отчуждения распространяется на земли ниже отметки НПУ с учетом кривой подпора при межених расходах и на некоторые расположенные выше участки (водоохранные 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, производятся на водохранилищах многих других территорий США со значительными потерями и даже оседлыми наводками (TVA Annual Report..., 1950, 1968, 1969). Структура изымаемых земель в зарубежной литературе практически не освещена, если не считать кратких и разрозненных данных по отдельным водохранилищам. По СССР имеются достоверные данные, показывающие изменения структуры затопляемых угодий в зависимости от природных и экономических условий. 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 пашни, усадеб, пастбищ, садов.

Хотя создание крупных водохранилищ связано с затоплением значительно больших по абсолютной величине площадей земель, они выгоднее малых и средних водохранилищ по удельным затратам земельной площади на создание единицы запаса воды. Об этом свидетельствуют данные табл. 37 об отношении площади водохранилищ к их полному объему.

Влияние 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)

Регионы	Группы водохранилищ, по полному объему, млн. м³							
	До 10	10-50	50-100	100-1000	1 000-1 0000	10 000-25 000	25 000-50 000	Более 50 000
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 водохранилища объемом 100 млн. м³ и более.

** Внетерриториальный объем.

оно усиливает естественные высокие увлажнение почв и имеет, как правило, отрицательные последствия для урожайности сельскохозяйственных культур. В зонах недостаточного увлажнения подтопление в ряде случаев может рассматриваться как естественное пропущивание, 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.

Нижних бьефов гидроузлов с водохранилищами многолетнего и сезонного регулирования на сельское хозяйство оказывают влияние изменение режима обводнения и удобрения илом пойменных угодий в период половодья, зимние затопления, нарушения транспортных связей с поймой в зоне передвижения края полноводия и др.; в СССР этим вопросам посвящено много работ (Щацкии, 1956, 1962; Волковский, 1962; Шаранов, 1968; Воробьев, 1973; Ахирев, 1974; Шапиро, 1974; и др.).

Из указанных последствий для сельского хозяйства наибольшее внимание за рубежом привлекает уменьшение удобрения илом пойменных земель, особенно в аридной зоне, где речные долины наиболее благоприятны для земледелия благодаря наличию 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 преграждение затопления и удобрения полей илом привело к необходимости переустройства системы орошения земель (вместо бассейнового стали строить инженерные системы правильного орошения) и внесения больших количеств минеральных удобрений (часть необходимого количества удобрений производится в Египте на базе электроэнергии Асуанской ГЭС). Вместе с тем преграждение высоких паводков имело и позитивные стороны: возможность получения 2—3-х урожаев в год, усиление стабильности продукции сельского хозяйства в многолетнем разрезе и т. д. Сокращение площадей полей, удобряемых плодородным илом, наблюдается также в результате создания водохранилищ в Индии (Murthy et al., 1976), в нижнем бьефе водохранилищ Волты, Карнба и др. Так, в долине р. Волты 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 массовому уходу населения в другие районы (Hillog, Kown, 1970).

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

Наибольшее влияние на население оказывают переселение жителей из зон воздействия водохранилищ и изменение социально-экономических условий их жизни. В связи с плотным заселением большинства долин рек и озерных котловин создание в них водохранилищ, особенно крупных, приводит к необходимости переселения большого числа людей. В СССР из зон воздействия существующих водохранилищ переселено 1,25 млн. человек (Авакян, Шаранов, 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 среднем), тыс. чел.

Более 100

51—100

20—50

11—25

5—10

Сингапурские (500), Кубаньские (150), Кременчугские (130), Пагг (120), Рабинские (116), Тошгасгар (86), Волты (82), Манла (81), Братские (68), Асад (60), Коксу (57), Кабора Басси (55), Укан (52), Карнба (57), Красноярские (51), Кикотские (45), Фурнас (44), Цаланские (40), Киевские (40), Павлодарские (30), Бухтарминские (27), Горьковские (31), Шаранови (26), Кебан (28), Джерял (25), Саратские (24), Мигель-Алекан (22), Токтогульские (20), Кебан (20), Усть-Илимские (16), Мугоруд-Мушасул (16), Ургалинские (15), Маранжор (15), Кришгарамасевер (15), Меррис (12) и др.
Кентукки (10), Дамаск-Бутон (8), Саянские (8), Байкальские (8), Крандарские (8), Аркентские (7), Катунские (8), Фохуя (6), Лант Солт (6), Липтовска-Мара (6), Прокондо (5), Бел Чан Неп (6), Бов-Зетеранга (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, Дамаль-Джонсон, Гордон М. Хрум, Брикноло и др.) или, наоборот, в плотноразселенных 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 электропередач, газопроводы и другие коммуникации весьма разнообразно и наблюдается при создании большинства водохранилищ мира, особенно в плотно населенных районах.

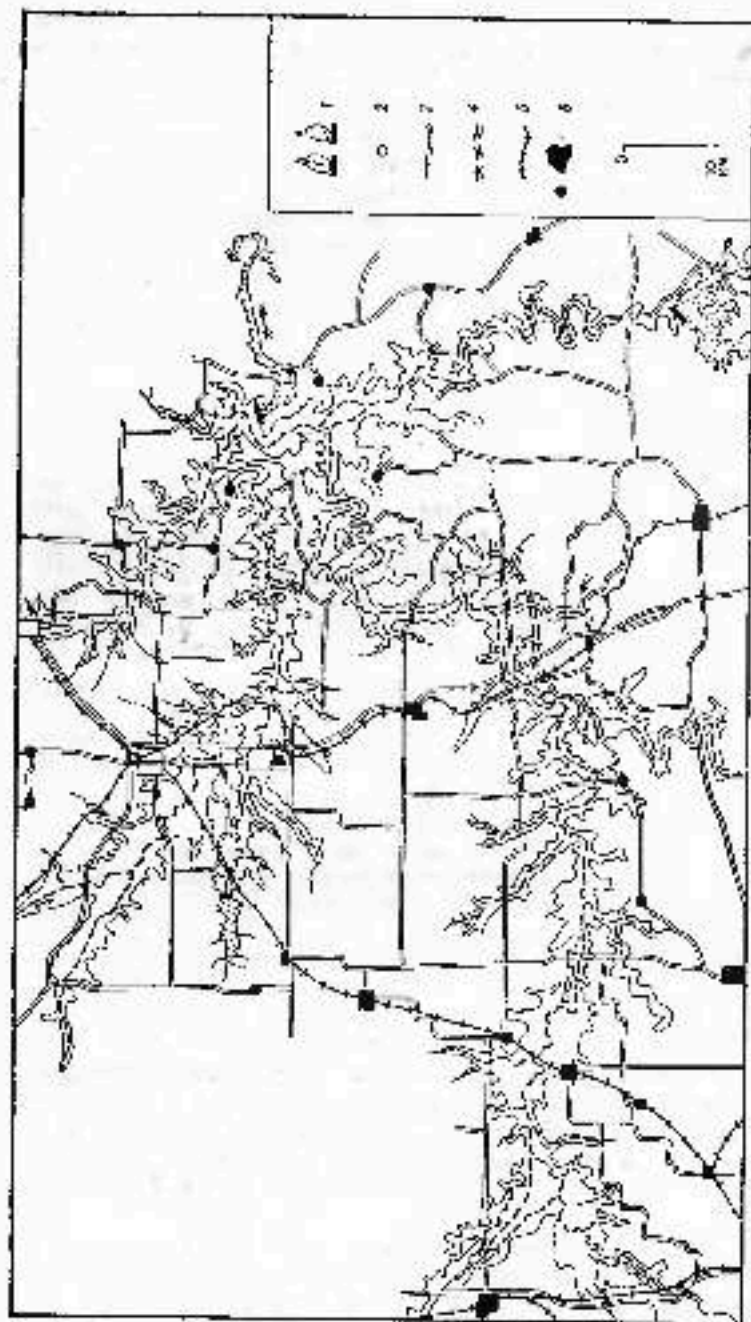


Рис. 35. Заторфовые автомобильные и железные дороги при создании водохранилища Каяштроблаф (США) (Cartech, 1972, т. 86, N 4)

1 — долины и водоразделы; 2 — ГЭС; 3 — существующие автомобильные дороги; 4 — проектируемые автомобильные 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 шлюза и связанных с ней сооружений, необходимы переселение населения, переустройство и перенос затрагиваемых 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 хозяйство и природные условия; 2) связанные с подготовкой к рациональному использованию водохранилища и зарегулированной реки ниже гидроузла; 3) сопутствующие мероприятия.

Опыт проектирования и осуществления мероприятий, 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; Кибальчик, 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 достаточно высоком уровне решения этих вопросов в США еще в 30–40-х годах нашего столетия. При этом наряду с выкупом земель, переустройством дорог, лесопосадкой 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.).

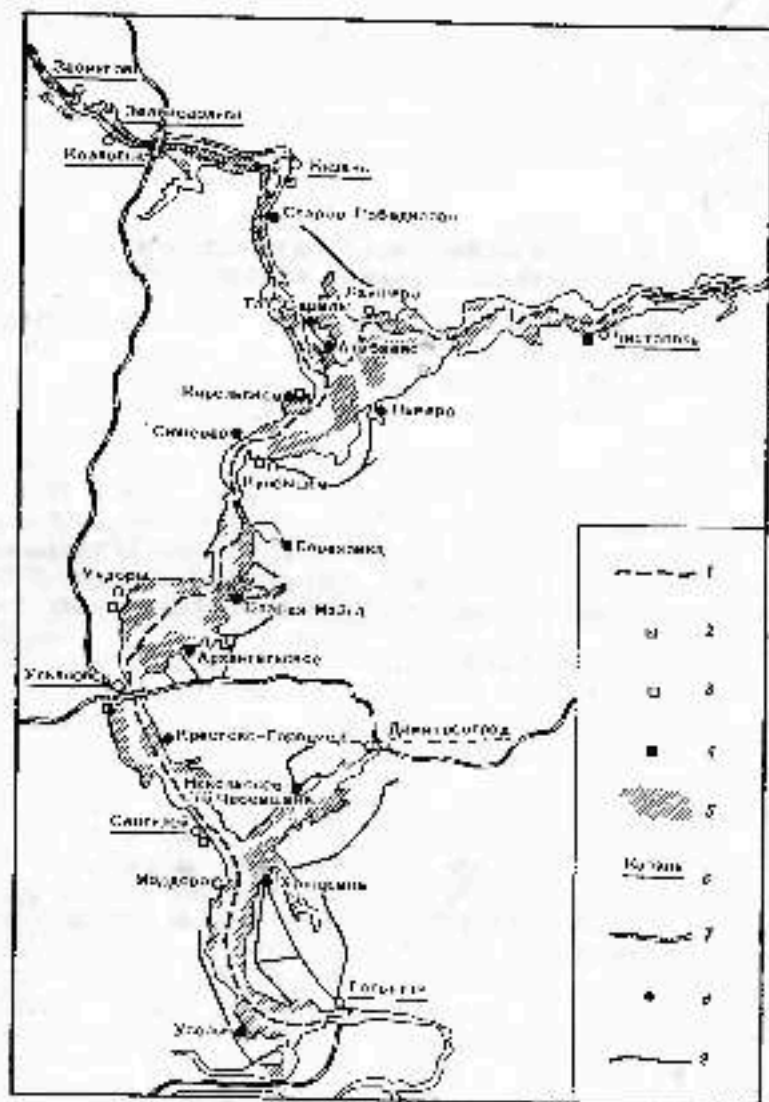


Рис. 35. Схемы мероприятий по подготовке Кубышевского водохранилища (Алексин, Шаронов, 1977)

мероприятий не проводилось при строительстве гидроузла Оуэн-Фолс в связи с намечавшимся подъемом уровня оз. Виктория.

При проектировании других водохранилищ в Африке (Восток, Насер, Каинджи, 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 Каинджи 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. Теннесси — 40%¹. В горных и предгорных районах, а также в малонаселенных 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. п.). Примером могут служить водохранилища на реках Канады, 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 создаются в результате подпора озер, затраты на подготовку водохранилищ 11 гидроузлов (Стурлфоре, Чилфорсен, Харсфиллет, Парси и др.) составили в среднем 11% капиталовложений; по каскаду ГЭС на р. Оулуйоки в Финляндии на отчуждения и административные расходы приходится 12% общих затрат (Эрнстсон, 1961).

Относительно низкий удельный вес затрат на водохранилища

¹ При сопоставлении приведенных показателей следует учитывать годы создания водохранилищ. Если бы водохранилища на Волге, Теннесси, Влтаве, Миссури, Луизиане и др. строились в настоящее время, 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 прибрежной среды, и тем более 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 — Мунтелул, Джердан (Румыния) и другие. Так, по гидроузлу Джердан доля этих затрат составила около 30% общей стоимости (Djordjevic, Putic, 1970), по проектируемому водохранилищу Кастанрейт на р. Энс (Австрия) и по ряду водохранилищ в Рурском бассейне — до 65% (Koenig, 1971), по ГЭС Бергенфорсен в Швеции — почти 40% общей стоимости. Аналогичные примеры можно привести и для других стран.

Структура затрат на создание водохранилищ зависит от природных и экономических условий района (в первую очередь степени и специализации сельскохозяйственного освоения речной долины, ее застроенности, системы путей сообщения и т. д.), параметров водохранилища, характера будущего его использования (числа и состава компонентов водохозяйственного комплекса, их требований к подготовке ложа и т. д.), а также от политико-социальных условий в данных государствах (методов и степени компенсации затопляемых объектов, учета интересов местного населения и др.). Так, в плотинно-заселенных сельскохозяйственных районах большой удельный вес составляют затраты на компенсацию сельскохозяйственных угодий и на переустройство населения пунктов или их запиту, в промышленно освоенных районах — затраты на запиту и переустройство жилищно-коммунальных объектов, промышленных предприятий, транспортных сооружений и т. д. Для примера можно привести водохранилище Джердан, по которому затраты на инженерную запиту 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 Пихья-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-

доходных реках — расходы на строительство портов, пристаней, подготовку судового хода. По некоторым водохранилищам преобладающую часть капиталовложений составляют затраты на переустройство путей сообщения; особенно характерно это для водохранилищ, расположенных в среднегорных долинах, где подпор, как правило, обязательно вызывает затопление дорог, идущих вдоль реки.

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

В ряде районов земного шара крутые и средние водохранилища предпочитают не создавать вообще, хотя они и позволяют бы кардинально решить проблемы развития подлого 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 и эти будущего канала Дунай — Одра — Лаба (на трассе которого будет несколько водохранилищ) не велись 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 (Сах, 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% (Липк, 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 увеличения водосборной площади водохранилищ путем подвода стока из других бассейнов характерен для всех гидроэнергетических каскадов в Альпах, высокогорных районах Испании, Норвегии, Японии, Австралии, Южной Америки; иногда применяется он также и в средне- и низкотерных районах (Центральный массив 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 территорий, укрепление берегов и откосов существующих земляных сооружений, устройство волноломных и волноотбойных сооружений, подсыпка (намыт) берегов и защитных пляжей, дренаж обвалованных и подтопленных территорий, планировка и берегов водохранилища, гидротехнические и другие работы по локальной защите и приспособлению объектов к новым гидрогеологическим условиям.

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

На многих водохранилищах меры защиты сельскохозяйственных массивов. В СССР обваловано 200 тыс. га при создании дисперсных, волжских, Каунасского, Плявиньского, Кайракумского, Краснодарского и других водохранилищ.

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

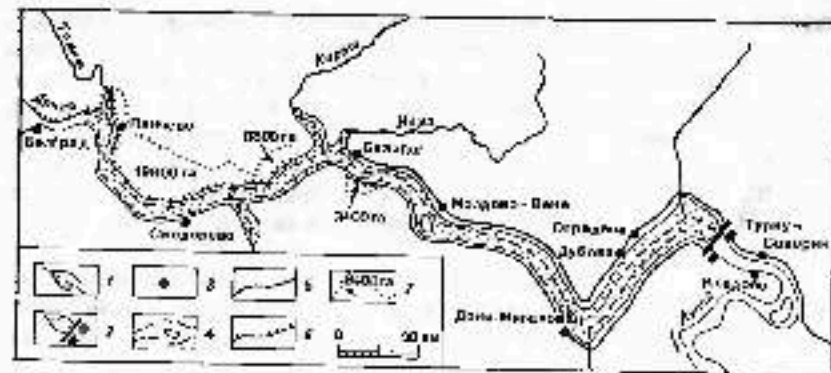


Рис. 37. Водохранилище Джердап на р. Дунай (Румыния, Югославия) (Саласаль, 1970, т. 20, № 4)

1 — водохранилище; 2 — каналы в ГЭС; 3 — населенные пункты; 4 — выпасающее русло реки; 5 — автомобильные дороги; 6 — дамбы обваловки; 7 — граница и район территории, защищенной от наводнения

ные угодья и курорт Шаптяни от затопления (Важский каскад, 1969). Нередко наращиваются и укрепляются существовавшие ранее противопаводковые дамбы; особенно характерно такое решение для водохранилищ в бассейне р. Дунай (рис. 37), где созданы в течение многих десятилетий сложные системы защитных дамб было вызвано частыми, нередко катастрофическими наводнениями.

В зарубежной Европе обвалование пойменных земель часто производится для их защиты лишь от низких и иногда средних по высоте паводков; при средних и высоких паводках такие земли затопляются, что способствует их обводнению и удобрению плодородным илом, а также повышению уровня грунтовых вод, что на некоторых реках (Лех, Изар и др.) имеет очень большое значение, поскольку в их поймах ранее резко снижались уровни грунтовых вод. На некоторых водохранилищах применяются системы двойных дамб: ближние к реке дамбы обеспечивают защиту лугов и лесов от низких (иногда и средних) паводков, а более отдаленные от реки дамбы рассчитаны на защиту от высоких паводков пахотных земель, садов, населенных пунктов, путей сообщения и т. п. Системы двойных дамб созданы при подготовке водохранилищ Эльгау, Обернхейм, Рейн, Фельдкаршен на р. Лех (Fuchs, 1955).

Инженерная защита земель и населенных пунктов сравнительно широко применяется в США. Так, в бассейне р. Теннесси защищены обвалованием многие сельскохозяйственные участки и ряд населенных пунктов. Применялась инженерная защита при создании водохранилищ на реках Миссури, Арканзас, Со, Лауретти и др. Характерно, что в некоторых случаях от

экономически оправданной инженерной защиты отдельных участков (например, в районе г. Флоренс) отказывались, поскольку владелец земли не хотел такой защиты. По-видимому, инженерная защита отдельных участков осуществлена и в ряде водохранилищ Китая, Индии и других стран Азии с многовековыми традициями строительства защитных противопаводковых дамб, однако соответствующим дамбам в нашем распоряжении не имеется. Известны примеры обвалования берегов водохранилищ и в Африке; при подготовке водохранилища Сансанджун на р. Нигер (Мали) вдоль его левого берега построена защитная дамба длиной 70 км и высотой до 19 м (Радченко, 1969).

Широко используется инженерная защита (в основном укрепление берегов) для сохранения транспортных объектов: железных, автомобильных дорог, мостов, путепроводов, газо- и нефтепроводов. Железные и шоссейные дороги и мосты защищены на многих волжских, днепровских и других водохранилищах в СССР, при создании водохранилищ на реках Влтава, Ваге, Кемп-Иоки, Майне, Рейне, Роне и других в зарубежной Европе и Северной Америке.

Нередко при создании водохранилищ записываются мероприятия по защите полезных ископаемых, ценные геологические, ландшафтные и другие природные объекты, а также историко-архитектурные, мемориальные памятники. В СССР защищены Угличский Кремль, Макарьевский монастырь и др., в Чехословакии — древний замок Орлик на р. Влтаве, в Австрии, ФРГ, Швейцарии, Франции — некоторые участки живописных береговых ландшафтов на реках Эна, Дунай, Драва, Инн, Рейн, Рона и др.

Инженерная защита осуществляется и в нижних бьефах многих гидроузлов (например, в СССР — Горьковского, Рыбинского, Угличского, Киевского, Кремленбургского, Камского и др.); здесь укреплены берега на отдельных участках и усилены коммунальные сооружения (водозаборы, выпуски канализации, опоры мостов, причалы и др.), осуществлена подсыпка территории с укреплением откосов в городах Балахне, Правдинске, Рыбинске и др. Аналогичные инженерные мероприятия проводятся также в нижних бьефах ряда крупных гидроузлов в зарубежных странах.

Затраты на защитные мероприятия составляли значительную долю общих капиталовложений на переоборудование городов, поселков и предприятий, а нередко и гидроузла в целом. По Кремленбургскому водохранилищу удельный вес капиталовложений в инженерную защиту составил около 15%, стоимости гидроузла, по Горьковскому — 25%, по Чебоксарскому — 40% и т. д.; по водохранилищу Джердап стоимость инженерной защиты составила 40% общих затрат (Djordjević, Rutić, 1970). Кроме того, 40 млн. долл. предусмотрено на борьбу с наносами в устье р. Моравы (Knežić, Гусава, 1973). Большой удельный вес составляли затраты на инженерную защиту при подготовке водохра-

ныищ Кишкёре на р. Тисе (Венгрия), Марла (Франция), ряда водохранилищ на Роле, Ваге и др.

Из приведенных данных можно сделать вывод о том, что в плотно заселенных и экономически развитых странах, особенно в зарубежной Европе и в европейской части СССР, инженерная защита применяется широко (Секторов, 1968; Шаратов, 1973; Авакиш, Шаратов, 1977). Она наряду с тщательным выбором лучших отметок и местоположений плотин позволяет значительно уменьшать потери от затопления, подтопления и переработки берегов.

В перспективе инженерная защита будет применяться еще шире ввиду увеличения ценности земли и сокращения фонда земель, пригодных для расширения сельскохозяйственных площадей, повышения плотности застройки и уровня благоустройства городов и поселков (в связи с чем перенос их основных фондов будет становиться все более дорогим), необходимости обвалования 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 недвижимости собственности под водохранилища из-за многообразия политико-экономических, водно- и земельноправных 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 концессию на создание водохранилищ выдают бассейновые 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; известны также случаи отказа кантонов предоставить концессию на строительство некоторых из них (Töndury, 1969). Подобные сложности при приобретении земель под гидротехнические объекты наблюдаются в Финляндии, что привело к отказу от

создания ряда эффективных водохранилищ (Ристфесс, 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..., 1950).

В социалистических странах преобладает государственная собственность на землю, поэтому вопросы отчуждения земель под водохранилища и их компенсации решаются, как правило, передачей земель из одного вида использования в другой. Однако в некоторых социалистических странах существует и частная собственность на землю, и вопросы ее отчуждения решаются иначе, чем в отношении государственных земель. Так, в Чехословакии участки государственной земли передаются одним правительственным ведомством другому, а земли, находящиеся в частной собственности, отчуждаются областными и районными органами с выдачей компенсаций в денежной форме или, по желанию собственника, в виде другого участка (Права и обязанности, 1961; Фокшина, 1975). Такой же примерно порядок отчуждения частных земель существует в Польше; у крестьян, имевших до войны на владение земель, 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, а прежде — в колониальных странах земли отчуждались и без всякой компенсации; пример с племенем тога при подготовке водохранилища Караба уже приводился (Dams in Africa, 1968).

В некоторых социалистических странах в отношении частных земель также применяется оценка ее по рыночным ценам. Так, в Польше при подготовке водохранилищ земли покупались у владельцев по цене, достаточной для покупки полных 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 полное возмещение 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 сметах учитывается из расчета стоимости или двукратной стоимости годовой валовой продукции, а если строительство ведется сельскохозяйственным кооперативом, то за срок в 20 лет (Фожина, 1975).

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

Обеспечение вынужденных землепосадельцев 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 вновь пропавших местах. В США при подготовке водохранилища в долине Теннесси переселенцам оказывалось содействие в подыскании и приобретении новых ферм; при подготовке водохранилища Никвик-Ланденг такую помощь по договору с TVA взяли на себя Алабамский политический институт и сельскохозяйственные отделы штатов Алабама, Теннесси и Миссисипи. Несмотря на истощенные почвы, фермеры (на 75% арендаторы) стремились остаться в пределах тех же общин и округов (TVA, Annual Report, 1950).

Обеспечение переселяемого населения землей предусматривалось лишь в отдельных случаях, как, например, при подготовке водохранилища 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 сносимые дома. Но известны примеры и запланированного при составлении проекта организованного переселения и создания новых населенных пунктов взамен затопляемых. Перенос или новое строительство домовладений с соответствующим комплексом коммунальных мероприятий производился при подготовке некоторых водохранилищ в Швейцарии, Франции, ФРГ и т. д.

В развивающихся странах практика компенсации нематериальных 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. д., а также в овладении современными методами ведения сельского хозяйства (новые культуры, агроприменения и т. д.). Переселенцы из г. Табка живут в новом городе Ас-Суар, где их обеспечили жильем, медицинской помощью и школами (Boutgey, 1974).

При подготовке водохранилища Гобилдасгар 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 плотины построены дороги, школы, больницы, системы водоснабжения. Правительство предоставляет переселенцам бесплатно грузовики для переезда, перевозки стройматериалов и т. п. Все население г. Биласпура (около 1 тыс. семей) переселено в новый город, построенный в 3 км от прежнего (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 заповедные леса.

При подготовке водохранилища Кебан в Турции 34,4 тыс. га частных земель было выкуплено за наличные деньги (110 млн. долл.); из-за роста в последние годы цен на землю стоимость компенсации весьма велика и превышает стоимость строительства ГЭС.

При создании водохранилища Мангла в Пакистане крестьянам было выделено значительное количество земель в целях колонизации вновь осваиваемых районов. Крестьяне, имевшие земли менее 0,5 акра орошаемой или 4 акра неорошаемой, получили

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

В Бразилии при подготовке водохранилищ земли покушаются или (при нежелании владельца продать их) экзпроприруются, население обеспечивается дозами, социально-культурным обслуживанием (школа, больницы, церкви, общественные здания) и коммунальными объектами (водоснабжение, канализация, электрификация). В практике создания водохранилищ в Бразилии бывали случаи, когда население не желало переселяться из-за неудовлетворения выбранными местами нового расселения, а иногда из-за неверия в то, что урожай реки может подняться до их жилищ. При подготовке водохранилища Фурнас потребовалась четкая организация принудительного переселения с созданием специальных наземных и водных отрядов и использованием авиации, чтобы своевременно эвакуировать жителей, их скот и имущество.

Многообразна практика устройства переселяемого населения в странах Африки. Как уже указывалось, при подготовке водохранилища Каруба в Замбии были освоены для каждой семьи участки земли как на прилегающих к водохранилищу склонах, так и в долине р. Лукуты, причем степень компенсации затопленных земель была очень незначительной вследствие ограниченности земельных фондов (все пригодные 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 большого эффекта в течение такого короткого срока (Scudder, 1969). Кроме того, на самих переселенцах здесь была переложена забота о расчистке участка под селение 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 Асуальского водохранилища (1902 г.) население Нубии было переселено на незаболотные 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 по поводу выбора мест 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 эмиров, влияние которых на жителей, несмотря на ограничение их власти, во многом сохранялось. В районе же водохранилища Вольта влияние местных вождей было невелико, и поэтому контакты артикулирующихся и строителей с населением налаживались легче, население активно участвовало в мероприятиях (Dams in Africa, 1968).

При создании водохранилища Нам Пог в Таиланде выделенные правительством для переселенцев земли были значительно хуже затопленных, причем на одну семью (в среднем 6 человек) выделялось только 2,6 га земель; из-за плохого плодородия почв численность населения в районе этого водохранилища затем резко уменьшилась (Man-Made Lakes..., 1973; Chamlong Harinasuta, 1975). В Мексике переселенцам 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 обеспечило всех крестьян кредитами, в результате чего многие переселенцы оказались, по существу, разоренными. Так, при создании водохранилища Алеман в тяжелом положении оказалось 22 тыс. индейцев. Здесь сыграло роль также переселение их из горных районов в непривычные для них условия равнинного орошаемого земледелия. Часть индейцев, не пользовавшихся услугами на ранитупу, не получила никакой помощи и оказалась в особом бедственном положении.

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

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

плотинами и другими проектами развития района. Необходимо отметить, что, чем крупнее и сложнее по форме водохранилище и чем плотнее заселена и в хозяйственном отношении освоена долина реки, тем, как правило, более значительной 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 (увлажнение 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, Ниванковского, Кузбывшевского, Саратовского, Камского, Братского, Байкальского, Капчагайского и других водохранилищ построены сотни километров новых железнодорожных путей. Значительные по масштабу работы были выполнены и в ряде других стран при создании отдельных водохранилищ (например, Вольта, Кабора Басса, Кебан и др.).

При подготовке водохранилищ попадающие в их зоны 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 Днепровского, нефтепромыслов в р-не Камского и Нильекамского водохранилищ и т. д. При затоплении минеральных источников принимаются меры по восстановлению минеральной базы курортов путем вывода источника на более высокие отметки или их каптажа в другом месте, как это сделано, например, на курорте Барпитонас (Каунасское водохранилище), в Усолье-Сибирском (Братское водохранилище) и т. д.

Осуществляется ряд мероприятий в случае попадания археологических, историко-революционных, архитектурных и других памятников в зоны воздействия водохранилищ. Могильники, селища, остатки древних городов, курганы и другие археологические памятники обследуются, а наиболее ценные из них раскапываются с составлением подробных планов и разрезов. Мемориальные исторические здания и сооружения, монументы, братские могилы, памятники архитектуры в СССР в большинстве случаев или защищаются, или переносятся на новые места с сохранением их прежнего вида. В Египте при подготовке водохранилища Насер раскопаны, перевезены и вновь тщательно собраны на новом месте всемирно известный храм Абу Симбел, в Индии в зоне затопления водохранилища Нагарджунасанар разобраны

и восстановлены древние храмы Шива и Вишну и жилище древнего ученого Ачарья Нараяны, две старинные мечети вынесены из зоны водохранилища Кебан, некие старинные постройки на этом затопленном ряде европейских водохранилищ также восстановлены на новых местах.

ПОДГОТОВКА ЛОЖА ВОДОХРАНИЛИЩ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Подготовка ложа и берегов водохранилищ и охрана природы заключается в лесосодке, лесосаечке (общей и специальной), санитарной очистке загрязненных территорий и зон водосбора, противоэпидемических мероприятиях, ландшафтно-благоустройстве, спасении животных, а также в подготовке водохранилищ к непользованию. Их назначение — обеспечение благоприятных санитарно-гигиенических условий для населения, сохранение и улучшение экосистем и качества воды в водохранилищах и в нижних бьефах гидроузлов и обеспечение возможности использования водохранилищ в различных целях.

Важная часть общей и санитарной подготовки заключается в очистке территории от древесной и кустарниковой растительности. Вся древесина в зоне затопления, реализация которой целесообразна, как правило, вырубается и доставляется потребителям. На остальных, нетоварных, площадях зоны затопления лесная и кустарниковая растительность или вырубается, или заготавливается.

Требования отраслей хозяйства, здравоохранения и охраны природы к лесосаечке 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 лесосодки, лесосаечки, санитарных, противомаларийных 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 осложнения, вызываемые невырубленной лесом, обходятся впоследствии дороже экономии от сокращения площади лесосаечки. Вместе с тем наблюдалась и неполная лесосаечка ряда водохранилищ в слабоселенных районах

Капаны, США и некоторых стран в тропическом и экваториальном поясах (Суринам, Нигерия, Таиланд, Бразилия и др.), а прежде также и в более освоенных районах, например при подготовке водохранилищ в бассейне р. Теннесси.

При подготовке водохранилищ важное значение имеют мероприятия, направленные на ликвидацию возможных источников загрязнения воды и засорения водохранилища и его берегов. В СССР в состав этих мероприятий, кроме лесосаждения и лесочастики, входит: общая санитарная очистка территорий населенных пунктов, предприятий, животноводческих ферм и специальная санитарная очистка мест сельскохозяйственного загрязнения и зон централизованного питьевого водоснабжения; перелож или инженерная защита кладбищ и скотомогильников, охрана грунтовых вод от истощения и загрязнения, борьба с вымывающимися торфяниками, борьба с загрязненными водохранилищами сточными водами, с избыточным «цветением» воды и др.

В целях санитарной охраны водохранилищ в период их подготовки и эксплуатации осуществляется также и ряд других мероприятий. Запрещается сбор неочищенных сточных вод и твердых отходов в водохранилища. Плавающие по водохранилищам суда оборудуются специальными устройствами для сбора сточных вод и твердых отходов, а на пристанях строятся сливные станции. На берегах водохранилищ, имеющих питьевое назначение, производится облесение, устанавливаются зоны санитарной охраны и др.

Некоторые санитарные мероприятия проводятся и в нижних бьефах гидроэлектростанций: специальные санитарныепуск воды для разбавления загрязненных вод в периоды малых расходов, пуски для обеспечения работы подводящих сооружений. Так, исследованиями Московского НИИ Гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана доказана необходимость постоянных санитарных пусков в подпорные нижние бьефы ГЭС, чтобы создать постоянное течение и обеспечить тем самым удаление ила 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; Кефелх, 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 сапрофитацией водохранилищ, в том числе с избыточным «цветением» воды, должна быть составной частью общей системы мер, направленных на регулирование качества воды и биологического режима водохранилищ. В их состав должны входить, помимо выбора параметров водохранилищ, (с санитарно-гигиенических позиций) защита водосборов от сброса сточных вод, физико-химические методы (аэрация, перемеще-

вание и т. д.), вытеснение 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 некоторые меры борьбы с кроноспециями насекомыми, клещем и др.

Описанный способ санитарных мероприятий применяется и при подготовке большинства зарубежных водохранилищ. В условиях плотнораселенных стран этих мероприятиям придается особо важное значение. Например, при подготовке водохранилища Желюва 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 нечистоты; 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 понтонна. По периметру водохранилища организованы три зоны санитарной охраны.

Большое санитарно-гигиеническое значение имеют широко распространенные в 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 основное водохранилище, поскольку благодаря постоянному уровню предотвращают такие неблагоприятные последствия сработки, как гниение растительных и животных остатков на обсыхающей площади дна, возникновение из-за этого неприятных запахов, размножение комаров и т. п. Эти мероприятия также способствуют сохранению прежнего ландшафтного облика местности в верхних водохранилищах (Weissbach, 1956; Kienig, 1971 и др.). Буферные водохранилища имеются на водохранилищах (окр. Шваб-меклауль, Хенле, Дюна, Битте в ФРГ, Рашбоде 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, молек и т. д.; однако пока 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 ложа водохранилищ к использованию в интересах водного транспорта, водоснабжения, гидроэнергетики, рыбного хозяйства, рекреации. Во многих странах в последние годы уделяется большое внимание мероприятиям, осуществляемым в интересах рекреации. На ряде водохранилищ устраиваются пляжи, купальни, стоянки для автомашин, площадки для палаточных городков с коммунальными устройствами (электричество, водопровод, канализация), строятся причалы для спортивных судов и т. д. На некоторых гидроузлах (Рейнфельден в Швейцарии, Вране в Чехословакии и др.) построены специальные шлюзы для прохода спортивных и туристских судов из одного бьефа в другой; в обход песчаных плесин на Влтаве построены специальные дороги, по которым суда перевозятся или на катках (гидроузел Камыш, Славия), или на тележках по рельсам (Орлик, Влтавский каскад, 1969).

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

АКВАТОРИАЛЬНОЕ 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 большинство индустриальных стран мира по ряду направлений. Среди них можно выделить мероприятия, осуществляемые в самом водохранилище, в его береговой зоне и посягающих на него режимов эксплуатации, в частности режимы устьевых. 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 внешнеэкономических факторов.

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

В настоящее время под комплексным использованием понимается такое использование водных ресурсов водохранилищ, 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 структуру, прилегающих к водохранилищу и к реке и нижнему бьефу гидроузла (Авакян, 1972).

С природоведческих позиций, водохранилище следует рассматривать как сложный природно-хозяйственный комплекс (геотехническую систему), взаимодействующий с окружающей средой. Поэтому актуален вопрос об оптимальном управлении этими сложными объектами. Очевидно, для управления природными объектами необходимы: высокий уровень их изученности; представления с рациональной организацией, функционированием и желательной тенденцией 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 (гемизированию) различий между отдельными участками одного водохранилища. Вместе с тем результаты комплексных исследований водохранилищ показывают, что отдельные участки одного и того же водохранилища существенно различаются по гидрологическому режиму, составу донных отложений, качеству воды и биопродукционным процессам, в различной степени подвержены антропогенным воздействиям. Проиллюстрируем это на примере ряда водохранилищ. Основные данные приводятся для Рыбинского и Куйбышевского 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 чашки, строением берегов и дна, степенью проточности, объемом и свойствами притекающей воды, метеорологическими факторами, режимом заполнения и сброса 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 ширины 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 Куйбышевском 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 разница температур 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 нагонных типов циркуляций. На различных участках одного и того же водохранилища изменяется очень значительно и высота волн. По-разному проявляются последствия сработки водохранилищ.

Степень неоднородности гидрологического режима отдельных районов и подосны в изоме деления русловых водохранилищ на три известных зоны: верхнюю, среднюю и нижнюю (Вендров, 1965, 1969). Существенная неоднородность гидрологического режима отдельных участков крупных водохранилищ вызывается при изучении их водных масс.

На основании многолетних исследований водохранилищ волжского каскада Н. В. Буторин показал, что в водохранилищах наблюдается дифференциация водной толщи на различные водные массы, обладающие в течение каждой фазы гидрологического режима специфическим комплексом физических, химических и биологических характеристик. В процессе взаимодействия водных масс водохранилищ происходит сложный трансформации речных 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 верхневолжских водохранилищ (до Горьковского включительно) выявлена существенная пространственная и временная изменчивость гидрохимических параметров (Кожара, 1969). Коэффициенты вариации 14 из 18 исследованных параметров достигают значительных величин и колеблются в зависимости от 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 «жизнь жизни», 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 (пле-

сам) водохранилищ в целом. Например, средние за вегетационный период величины биомассы фитопланктона (в граммах на 1 м²) в шести различных районах Киевского водохранилища изменялись в 1965 г. в диапазоне от 3,9 до 24,9 г/м², в 1966 г. от 17,2 до 67,3, а в 1967 г. от 13,4 до 74,0 г/м² (Киевское водохранилище, 1972). Известно также, что так называемое цветение воды, как правило, локализовано на определенных участках водоема.

Расчеты валовой первичной продукции и деструкции в слое воды под 1 м² для Киевского водохранилища, показывают, что размеры продукции фотосинтеза и деструкции органического вещества значительно колеблются по отдельным районам водохранилища (до 8 раз).

Годовая продукция фотосинтеза планктона над 1 м² в мелководной зоне превышает таковую в желководной 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/м²). Концентрация зоопланктона в поверхностном слое в июне 1968 г. изменялась по акватории водохранилища от 0,01 до 0,3 г/м². Пестрый характер распределения данных отложений различного типа определяет и значительные колебания биомассы бентоса на различных участках. Биомасса 5–10 г/м² и выше встречается на серых илах, на торфянистых илах она не больше 1–5 г/м², а на большей части Главного плеса Рыбинского водохранилища не превышает 1 г/м². Несной и 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/м² при средней величине для водохранилища 3–5 г/м².

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 внутривидовых 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.

Многочисленными исследованиями установлена совершенно особая роль заливов и мелководий в обогащении водоемов биогенами. На мелководьях, составляющих обычно 15—30% общей площади водохранилищ, воспроизводится 80—90% их рыбных ресурсов. Отмечается повышенная рыбопродуктивность верхних и средних участков водохранилищ по сравнению с прибрежными. В водохранилищах наблюдается четкая привязанность 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, Притяжском и Дикровском плесах Киевского водохранилищ и о многих др.

Помимо природных факторов, обуславливающих существенные различия между участками одного и того же водохранилища, все большее значение начинают приобретать факторы антропогенного воздействия. Прежде всего это загрязнение 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, «тепловое загрязнение» участков Иваньковского и Горьковского водохранилищ Конаховской и Костромской тепловыми станциями существенно изменило гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режимы в зоне влияния подогретых вод.

Приведенные примеры, как нам представляется, достаточно убедительно показывают существенные различия отдельных участков водохранилищ по целому комплексу гидрологическим, гидрофизическим, гидрохимическим и гидробиологическим показателям. 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 становится важным направлением изучения водохранилищ как сложных природно-хозяйственных

комплексов, в частности, для исследования неоднородностей их пространственной структуры.

Взгляды исследователей на районирование различны, и в литературе до сих пор нет определенного понятия «районирование водохранилищ». Под районированием водохранилищ можно понимать и типологию водохранилищ, расположенных в различных географических зонах.

Районирование водохранилищ, по нашему мнению, — метод территориальной классификации (выделение акваторий и территорий в пределах береговой зоны) на основе определенного (или сформулированного) критерия (или их совокупности), устанавливаемого в соответствии с целями предпринимаемого исследования.

Объективная необходимость акваториального районирования и планировки водохранилищ комплексного назначения обусловлена:

- 1) потребностями интенсивного хозяйственного использования водных ресурсов и акваторий;
- 2) разнообразием природных условий на разных участках акватории одного и того же водоема (морфологические строение, водные массы, гидродинамический режим, долгие отложения, неоднородность физико-химических характеристик, различие биологических процессов, степень антропогенного воздействия);
- 3) различными требованиями отраслей хозяйства к характеру использования акватории, береговой зоны и к режиму уровней.

При этом водохранилища целесообразно рассматривать как территориальные природно-антропогенные регулируемые комплексы со сложной неоднородной (гетерогенной) структурой всего водохранилища и составляющих его комплексов — именно такonomicкого района.

Исследование структуры и взаимодействия природно-территориальных комплексов водохранилищ целесообразно проводить на основе районирования.

Для районирования водохранилищ возможно использование опыта физико-географического районирования суши, в частности некоторых методических приемов с учетом специфики районирования акваторий (Авакян, Салтанкил, 1976).

Рассмотрение водохранилища как объекта районирования с учетом опыта физико-географического районирования связано с решением следующих задач: 1) соотношение отраслевого и комплексного районирования; 2) определение целей районирования водохранилищ и задач, решаемых на его основе; 3) определение границ объекта; 4) выявление вертикальной и горизонтальной структур составляющих его элементов, а также связей между ними; 5) оценка целесообразности и практической возможности генетического, типологического и функционального подходов к районированию водохранилищ.

С нашей точки зрения, комплексное районирование водохранилищ имеет более важное значение, нежели отраслевое (частное). В связи с этим возникает вопрос о целом и назначении 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 (внутриводоемные процессы).

Районирование как метод исследования водохранилищ может служить основой или способствовать решению следующих задач.

1. Проведение различных балансовых расчетов, характеризующих режим водохранилищ в целом и их 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.

Б. Разработка вопросов типологии 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 водоемов.

Кратко охарактеризуем содержание двух последующих этапов предлагаемого методического подхода и повышению эффективности использования водохранилищ.

Планировка водохранилищ — совокупность принципов, положений и представлений об оптимальной пространственной структуре системы природных комплексов (акваториальных и территориальных) водохранилища и способов ее достижения с позиций рационального хозяйственного использования водохранилищ с учетом требований по охране природной среды.

Планировку водохранилищ необходимо рассматривать как практическое осуществление на примере водохранилищ конструктивного подхода к природной среде и ее отдельным компонентам. В этом смысле данный термин означает планирование, конструирование, улучшение природно-хозяйственного объекта (в данном случае водохранилища) через упорядочение его пространственной структуры 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 потребностям человеческого общества должны соответствовать направления использования (эксплуатации) ресурсов водоемов. Эти представления, как показывает опыт гидротехнического строительства и эксплуатации водохранилищ и их каскадов, могут существенно меняться, т. е., по существу, они относятся к исторической категории. Поясним это на примере смены за последние 30 лет «тидеров» водохозяйственного комплекса. Если в первые годы на водохранилищах, расположенных в европейской части СССР, в основном учитывались интересы гидроэнергетики и водного транспорта, то впоследствии стали учитываться в гораздо большей степени интересы рыбного хозяйства, а сейчас — вопросы сохранения экосистем, качества воды, рекреационного использования водохранилищ и ряд других.

Акваториальная планировка водоема должна проводиться с целью определения наиболее целесообразных видов хозяйственной и природоохранной деятельности на участках акватории и береговой зоны.

Планировка водохранилищ может проводиться как в интересах отдельных отраслей хозяйства, так и для совместного учета требований нескольких отраслей хозяйства к использованию и охране акватории и прибрежной территории.

Наиболее интересны в практическом применении акваториальной планировки водоснабжение, рыбное хозяйство, рекреация и частично сельское хозяйство (прибрежные территории и желководья, используемые для птицеводства, разведения ондатры, нутрии).

Определенный интерес планировка как основа целенаправленного и интеллектуального 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 тихих и выростных рыбных хозяйств, использование мелиководий, выделение водохранилищных зон, укрепление берегов, лесопосадки, создание рекреационных зон). Однако обычно все эти мероприятия проектируются и осуществляются в пределах одного водохранилища разными отраслями хозяйства недостаточно согласованно, а иногда могут быть даже противоречивыми.

Вместе с тем опыт составления ТЭО улучшения комплексного использования ряда водохранилищ показывает, что по самым осторожным оценкам необходимыми капитальными вложениями достаточно велики. Например, мероприятия, направленные на улучшение санитарно-гигиенического состояния Иваньковского водохранилища, оцениваются в десятки миллионов рублей. Техно-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 тщательного обоснования ожидаемых эффектов. В связи с этим важно разработать основные принципы планировки, которые бы учитывали природные и хозяйственные особенности конкретного водохранилища по различным аспектам его перспективного использования.

В результате планировки водохранилищ может быть получена конкретная схема размещения, организации, режима функционирования и взаимодействия: промышленных, сельских, рекреационных, биологических, 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 нежелательной растительности и донных отложений; создание охраняемых, заповедных и буферных зон; направленное формирование экосистем, организация рационального использования береговой зоны и многое другое. Только на основе приведенных комплексов 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 природоохранительных требований.

Практическая реализация принципа комплексности использования ресурсов водохранилищ предполагает существенные увеличения требований к уровню изученности водохранилищ как объектов со сложной структурой и разветвленной системой природных и хозяйственных связей и, следовательно, к объему, качеству и степени комплексности информации, используемой для принятия решений в процессе эксплуатации, разработки прогнозов и обоснования комплексных 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-

мных 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, проводимые в этом направлении в СССР и США, показали целесообразность и перспективность создания подобных систем.

Решение задач дистанционного зондирования по индикации свойств подстилающей поверхности основано на регистрации и измерении из космоса или воздушного пространства различных характеристик поля электромагнитного излучения в широком диапазоне спектра. Современный арсенал средств дистанционной регистрации весьма разнообразен и включает оптический, многозональный, цветной и спектрально-анализирующий 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 оптико-механических и электронных систем, а также ЭВМ. Данные дистанционных наблюдений и измерений могут быть представлены в виде изображений, массивов цифровой информации и различных графических зависимостей (например, кривых спектральной яркости). К основным свойствам изображений, характеризующих их информативность, относятся, как известно, масштаб, обзорность

снимков, разрешающая способность и, наконец, спектральный диапазон, в котором получено изображение.

В повышении разрешающей способности аппаратуры, применяемой для получения изображений, достигнут значительный прогресс, особенно для фотографических систем, которые позволяют получить космические снимки уже с разрешением до 30 м, а для сильно контрастных объектов — до 10 м; это позволяет увеличивать оригинальные снимки до 30 раз и получить соответствующие масштабы изображений (Куприянов, Прокачев, 1976).

Литература, посвященная дистанционным методам исследований водохранилищ, насчитывает уже тысячи наименований. Большая их часть опубликована в СССР и США. Проблема, средства и методы дистанционных исследований природной среды изложены в ряде отечественных обобщающих работ, издаваемых за последние годы (Виноградов, Кондратьев, 1971; Григорьев, 1975; Виноградов, 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 симпозиумов по средствам и методам дистанционных исследований, состоявшихся в АНН-Арбора (штат Мичиган, США) (Symposium..., 1973; Proceedings..., 1975).

Применению дистанционных методов к изучению водоемов уделяется значительное внимание. Большая часть публикаций посвящена крупным водным объектам: районам скелетов и морей, эстуариям, заливам и бухтам, дельтам рек и крупным озерам. Отечественные и зарубежные публикации, посвященные внутренним водоемам, немногочисленны и имеют в основном инвентаризационное (кадастровое) направление. 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 (выполнение наземных измерений этих параметров).

3. Надежная дистанционная индикация большинства рассматриваемых процессов и явлений может быть достигнута только в результате комплексного применения средств дистанционного зондирования, в частности: изображений, полученных в разных диапазонах электромагнитного излучения.

4. Наилучшие результаты достигаются при совместном и по возможности синхронном применении космических аппаратов, самолетов и наземных исследований.

Необходимо также отметить, что большая часть проведенных разработок — экспериментальная и, скорее, качественная, чем количественная, и лишь немногие из них доведены до стадии практического применения. Так, например, в работе, посвященной анализу опыта США в области применения космических средств для исследования водных ресурсов, отмечается, что до стадии уверенного практического применения доведены исследования по оценке дождевого стока водосборов в арктической зоне, определению площадей затопления паводковыми водами и определению затоплений эстуариев и морских бухт. Имеют практическое значение также результаты по индикации снежного и растительного покрова (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. Неоднократно указывалось, что использование космических снимков позволяет существенно уточнить данные о геометрии водосборов, расположении подразделов, форме и размерах бассейнов площадью от нескольких сотен квадратных километров. Благодаря высоким спектральным контрастам с большой детальностью изображаются на 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 управляемых космических аппаратов «Спиз» обладают еще большей детальностью, позволяя определять речную сеть 5—6 порядка и водоемы площадью в доли квадратных километров (Куринов, Прокачев, 1976).

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

следующие физико-географические характеристики водосборов: геолого-геоморфологические особенности, гидрологические условия, основные типы почв, распределение и характер растительного покрова, сельскохозяйственная освоенность с выделением контуров основных угодий и типов культур (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 и термод. снеготаяния, увлажненность почвогрунтов, распределения и динамики таяния снегового покрова), которые служат входными параметрами моделей (Душин-Барковский, 1976; Калинин и др., 1977).

Районы нижних бьефов водохранилищ. Районы были показаны, что сооружение водохранилищ и их каскадов вызывает существенные изменения природных и хозяйственных условий нижних бьефов. Дистанционные методы могут применяться прежде всего для установления или уточнения пространственных границ зоны изменения природных условий приледельном, 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 размораживающей толщины; деформации русла в плане; зону нахлещей осветленных (после стравливания в водохранилище) вод наносами и, наконец, ряд ландшафтных изменений — осыпание пойм в арктических районах, переувлажнение или заболачивание пойм 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 подъемы, пике и спаде паводков, об изменении режима увлажнения пойм, динамике гидрографической сети, о процессах рельефообразования. Получение такого рода данных весьма затруднительно на основе только традиционных наблюдений, хотя бы потому, что указанные территории в течение ряда месяцев являются труднодоступными для проведения полевых работ.

Береговые зоны водоемов, особенно водохранилищ, интересны для изучения как среды обитания и отдыха человека, как арена интенсивной хозяйственной деятельности и, наконец, как фактор, определяющий многие важные особенности режима самих водоемов (воздействие на качество воды и экосистемы).

Дистанционная информация для изучения береговых зон, по существу, должна применяться при определении тех же физико-географических характеристик, что и для водосборных бассейнов, только с гораздо большей детальностью. Однако наибольший интерес для практики представляют не столько характеристики отдельных компонентов природной среды, сколько их территориальные сочетания, т. е. природно-территориальные комплексы, которые целесообразнее всего выделять при районировании с учетом того или иного направления хозяйственного освоения береговых зон.

Весьма важный момент для усиленной дистанционной индикации береговых зон — это существенное увеличение требований к масштабу и разрешению используемых изображений (от нескольких метров до десятков). Для реконструкции изображения береговых зон крупных и средних водохранилищ, по-видимому, с успехом могут быть применены увеличенные до масштаба $1:10^4$ (и другие) космические снимки. Например, дешифрирование аэрокосмических черно-белых ($1:10^5$) аэроснимков побережья Красноярского водохранилища позволило определить наиболее важные компоненты и основные типы развивающихся геодинамических процессов (линейная эрозия, осыпи, эоловые процессы, основные направления и виды развития процессов переработки берегов, места аккумуляции материалов размыва берегов (Зубенко, 1976)).

Исключительно большой интерес представляет дистанционная информация для оценки антропогенной деятельности в береговых зонах, которая является фактором, требующим обязательного учета при решении вопросов рационального использования водохранилищ и их береговой полосы. Необходима точная фиксация сложившейся структуры землепользования и объектов антропогенного происхождения: населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных комплексов, системы транспорта коммуникаций, мест добычи полезных ископаемых, строительных материалов, торфоразработок и т. д.

Индикация объектов антропогенного происхождения по космическим изображениям достаточно успешна, не говоря уже о применении аэроснимков.

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 сбросов сточных и подпорных вод.

Особенности морфологии и морфометрии водоемов наиболее четко отображаются на мультиспектральных космических снимках в снимках в красной и ближней ИК областях спектра (0,7—1,1 мкм), об этом говорится во многих публикациях. К ним относятся форма и площадь акваторий, длина и степень изрезанности береговой линии, наличие островов, крупных аккумулятивных образований (бары, отмели, косы, распределение глубин).

Методы дистанционного определения глубин могут быть основаны на различных подходах: корреляция плотности тона мультиспектральных 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 оптического 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) ПЗ-изображения, полученные с метеоспутников серии «Метеор» (Григорьев, 1975; Куприянов, Прокалева, 1976).

Активно разрабатываются радиофизические методы (пассивная и активная СВЧ) регистрации толщины и теплофизических свойств льда.

По косвенным дешифровочным признакам — расположению мутных и различно окрашенных потоков вод — могут быть установлены особенности циркуляции водных масс в водохранилищах.

Большой интерес представляет возможность дистанционного определения ряда физико-химических показателей, к которым относятся температура, мутность, цвет и прозрачность воды.

Определение температуры воды в ее поверхностном слое производится с помощью радиометров, измеряющих 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 фототона которых соответствует участкам с различной температурой воды и поверхности суши. Точность определения температуры воды в поверхностном слое со спутников (обычно метеорологических) по измерениям в ИК диапазоне (8—12 мкм) и радиофизическими методами близка к по разным данным в пределах нескольких градусов, но пока не более 1° (Федоров, Силаров, 1975). Для крупных водохранилищ эти данные могут практически применяться в сезоны сильных температурных контрастов (весной и осенью) для расчета тепловых запасов, сроков замерзания водохранилищ, определения вероятных сроков и участков нереста рыбы, распространения в водоемах тепловых сбросов ТЭЦ и АЭС. Точность определения температуры с самолетов, в общем, на порядок выше и по разным данным составляет 0,1—0,5°С. Применяемые для экологических исследований 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 Тейлз Крик (США, Канзас) проведено районирование акватории водохранилища по мутности вод и выделено шесть участков в диапазоне от 10 до 235 г/м³ (McCaulley 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 позволяет для участка со площадью 35 км² получить девять цветных градаций, которые коррелируют с результатами наземных измерений цвета (по шкале цветов) и прозрачности (по диску Секки) (Wozniak, 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 прямыми 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 больших разностях некоторых специфических видов водорослей типа «гигер-цветения», дистанционная индикация достаточно наглядная и простая процедура.

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

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

Важное практическое применение может найти также дистанционная информация при индикации антропогенных загрязнений (для загрязнения, распространение по акваториям в некоторых случаях для определения концентраций загрязнителей). Дистанционная индикация загрязнений развивается и направлении использования средств и методов многоканальной фотометрии, спектрометрии, 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, 1973).

Сопоставление 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 выполнения дистанционных методов для изучения водохранилищ во многом определяется необходимостью комплексного применения технических средств и методов дистанционного зондирования; проведения космических и аэронаблюдений в широком диапазоне электромагнитного спектра; составом работ по наземному обеспечению дистанционных наблюдений; методами обработки аэрокосмической информации.

3. Успешность применения методов дистанционного зондирования к изучению водохранилищ (характер и объем сведений, степень их сложности, 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 трансформированных и увеличенных до масштабов $1:2 \cdot 10^2 - 1:5 \cdot 10^2$ космических многоканальных снимков, а также цветных синтезированных изображений.

5. Оценка состояния и режимных особенностей водохранилищ с площадью менее нескольких десятков квадратных километров на основе анализа только космических снимков 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 (прямые волны, 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. Исследование пространственной и временной изменчивости спектральных характеристик водохранилищ в зависимости от их гидрологического, физико-химического и биологического режима.

6. Разработка методики обработки дистанционной информации и рекомендаций по использованию результатов в решении оперативных, прикладных и научных задач, возникающих в связи с проблемой повышения эффективности хозяйственного использования водохранилищ.

Необходимо также подчеркнуть, что получение на основе использования дистанционной информации сведений качественного характера (не количественных по содержанию) позволит, по-видимому, сделать важные выводы о тенденциях функционирования и развития водохранилищ как географических и хозяйственных объектов, сформулировать предварительные исследовательские гипотезы и более целенаправленно организовать наземные стационарные и экспедиционные исследования (объемы работ, их состав и районы проведения).

Показатели водопритоков извне по полным объемам в км³ в бассейне и площади водного зеркала в км² и более

№ водо- пита- теля	Название водопритока	Страна	Год, когда был открыт	Годы накопления водных ресурсов	Объем водных ресурсов, км ³		Площадь водного зеркала, км ²	Годы накопления водных ресурсов	Годы накопления водных ресурсов	Годы накопления водных ресурсов
					по данным	по данным				
1	Абу-Джис (Ротта- ва)	Ирак	Население из р. Габриат	1970	20,00	Нет данных	1670	20	90	ПН
2	Агуа-Перейра	Бразилия	Риу-Гранди	Стр.	14,00	3	615	—	130	Э
3	Акара	Парагвай	Игуасу	?	1,40	3	Нет данных	—	Нет данных	Э
4	Аламангар	Испания	Талон	1900	3,14	2,20	104	—	70	ЭМСВ
5	Амстад	США, Мек- сика	Рио-Гранде	1900	7,00	4,40	341	—	Нет данных	ЭМСВ
6	Ангаскура	Мексика	Григорио	1974	8,20	Нет данных	Нет данных	—	3	ЭН
7	Аррой	Колумбия	Колумбия	1902—1970	8,75	3	516	360	230	ЭН
8	Асва (Табас)	Сирия	Евфрат	1973—1975	11,00	7,80	630	—	80	ЭН
9	Ахматское (Иркутское)	СССР	Ангара, оз., Байгал	1907—1950	57,05	46,05	32 000	31 500	700	ЭСТВРО
10	Байяло	Панамы	Байяло	1975	4,00	1,45	778	—	70	Э
11	Бай-Чо-Нел	Таиланд	Квай (Мехалонг)	1977—1979	17,75	7,47	420	—	Нет данных	ЭИП
12	Безме	Ирак	Бальсат Заб	Стр.	9,30	Нет данных	Нет данных	—	35	ИАЗ
13	Бенгил	Новая Зеландия	Уайтхор	1963—1965	2,48	2,00	78	—	30	Э
14	Бис	Индия	Бис	1974	8,44	6,80	262	—	42	ЭН

15	Бис-Кейп 12	США	Роз-Крик	1907	21	7,05	Нет данных	Нет данных	—	Нет данных	А
16	Бис-Кейп 37	США	Миссури	1907	20	6,50	2,30	245	—	0	АО
17	Бис-Эль-Улган	Марокко	Эль-Абид	1953	125	1,50	Нет данных	Нет данных	—	0	ИЗ
18	Бис-Тейк	США	Бис-Ривер	1914	Нет данных	1,75	3	348	348	0	ИЗА
19	Бис-Эль-Улган	Бразилия	Парнаиба	1905—1909	50	4,50	0	400	—	0	ЭМСВ
20	Бис-Уган	США	Маленое	1908	44	5,00	0	Нет данных	Нет данных	0	И
21	Бис-Уганское	СССР	Ангара	Стр.	70	58,20	2,31	320	—	375	ЭМСВР
22	Бис-Эль-Уган-Крик	США	Бис-Эль-Уган	1905	17	5,88	Нет данных	Нет данных	—	Нет данных	АО
23	Бис-Уган	СССР	Ангара	1951—1967	106	109,30	48,20	5470	—	565	ЭСТВРО
24	Бис-Уганское	Судан	Судан	1904—1974	42	12,40	Нет данных	4,80	—	70	Э
25	Бис-Шеде	США	Уайт-Ривер	1957	75	6,86	0,05	385	385	Нет данных	ИЗА
26	Бис-Уган	СССР	Бурел	Стр.	124	22,50	14,50	800	—	150	ЭН
27	Бис-Уганское	СССР	Иртыш	1900—1907	67	49,82	30,81	5491	1788	348	ЭСТВРО
28	Бис-Уган	Таиланд	Панг	1904	130	15,40	Нет данных	718	—	125	ЭН
29	Бис-Уганское	Канада	Саскачеван	1906	40	2,62	2,00	2010	570	Нет данных	Э
30	Бис-Уган	США	Хайне-Крик	1957	Нет данных	0,72	0,57	425	—	85	НКО
31	Бис-Уган	ЮАР	Валь	1934—1938	50	2,00	2,40	300	—	80	ЭИВ

№ вход- ной линии	Наименование экспортной линии	Страна	Годы работы	Число экспорт- ных поездов	Средняя загрузка, т		Средняя загрузка, т		Годовая загрузка, т	Число поездов	Число поездов в год	Число поездов в год
					по линии	по линии	по линии	по линии				
32	Вал-Тартар	Иран	1958-1976	—	72,80	43,30	2020	—	—	—	100	ИИ
33	Велур	Швейцария	1925	Нет данных	7,30	7,30	3560	—	—	—	140	СВ
34	Верхнеустьинское	СССР	1967-1984	68	11,52	3,86	745	79	—	—	120	СВ
35	Верхний Раз-Крык	СССР	1967	20	5,81	Нет данных	—	—	—	—	20	А
36	Вильямс	СССР	1965-1972	68	55,88	17,85	2470	—	—	—	478	СВ
37	Виктория (Оузе-Сотс)	Уганды, Тан- зании, Кения	1954	31	206,50	204,35	76000	68000	—	—	120	ИИ
38	Виннинг	Канада	Стр.	Нет данных	50,75	29,75	24510	24300	—	—	Нет данных	ИИ
39	Волосовское	СССР	1924	4	0,80	0,56	375	322	—	—	54	ДП
40	Волгоградское	СССР	1958-1960	27	31,45	8,25	3117	—	—	—	540	СВ
41	Волга (Амур-Волга)	Канада	1964-1967	70	149,00	92,00	8485	—	—	—	500	СВ
42	Волжское	СССР	1908-1912	24	8,40	5,24	1125	—	—	—	590	СВ
43	Волжское	СССР	1922-1923	3	6,44	1,14	1250	347	—	—	87	ДП
44	Волжское	Индия	1960	00	6,45	8,92	830	—	—	—	70	СВ
45	Волжское	СССР	1939	20	1,26	0,20	283	—	—	—	135	СВ
46	Волжское	СССР	1954	00	30,55	24,55	1530	—	—	—	20	ИИ
47	Волжское	Панама	1912	25	5,45	Нет данных	425	—	—	—	80	СВ
48	Велья-Аулие	Судан	1917	12	4,25	3,20	586	—	—	—	267	ИИ

49	Гобиндгар (Бхагра)	Индия	1965-1967	200	9,87	7,44	176	—	—	—	85	ИИ
50	Гов	Англия	1973	55	2,37	Нет данных	—	—	—	—	Нет данных	ИИ
51	Гордон	Австралия	1974-1975	130	21,80	—	272	—	—	—	35	Э
52	Гордон М. Хьюз (Гордон-Мунд)	Канада	1968	105	7,10	37,00	1680	—	—	—	280	СВ
53	Горькое	СССР	1955-1957	17	8,82	2,78	1811	—	—	—	478	СВ
54	Горькое	СССР	1954	40	1,03	1,54	258	—	—	—	Нет данных	ИИ
55	Горькое	Канада	1965	60	11,10	Нет данных	1416	1472	—	—	4	Э
56	Гур (Эль-Мун-Гур)	Венесуэла	1968	120	135,00	55,00	1300	—	—	—	70	Э
57	Гур (Эль-Мун-Гур)	Канада	1917	27	2,37	Нет данных	1234	—	—	—	Нет данных	Э
58	Данска	Канада	1974	90	20,00	—	—	—	—	—	9	ИИ
59	Данска	Канада	1975-1976	154	141,55	85,90	1060	285	—	—	267	СВ
60	Данска	Канада	1977-1978	105	1,79	1,68	297	—	—	—	267	СВ
61	Данска	Индия	1965-1967	90	3,00	Нет данных	—	—	—	—	267	СВ
62	Данска	Индия	1968-1971	34	5,40	3,00	530	—	—	—	267	СВ
63	Данска	Индия	1972	40	3,40	2,80	382	—	—	—	267	СВ
64	Данска	Индия	1973-1975	15	2,45	3,27	567	—	—	—	142	СВ
65	Данска	Индия	1976-1978	100	6,80	6,40	270	—	—	—	267	СВ
66	Данска	Индия	1979	100	6,30	6,00	1955	—	—	—	100	Э
67	Данска	Индия	1980	100	3,04	3,04	252	—	—	—	65	СВ

№ инв.-документа	Наименование предприятия	Страна	Год, издано	Годы экспорта (начало, конец)	Подпись (имя, фамилия, инициалы)	Объем экспорта, тыс. т	Средняя цена, руб./т	Всего, руб.	Всего, руб./т	Всего, руб./т	Всего, руб./т
68	Жульенбург	Бразилия	1962	1962—1963	30	8,52	1,43	—	—	—	3
69	Датунское (Датунское)	СССР	1962—1963	30	3,33	0,24	410	—	—	—	3030
70	Зеленое	СССР	1974	1974	96	38,42	32,42	2418	—	—	225
71	Зеленое	СССР	1987	1987	14	1,12	0,09	327	—	—	120
72	Иванов-Мунгул (Бата)	Румыния	1960—1971	93	1,22	0,09	33	—	—	—	30
73	Ивановское (Волжское)	СССР	1956—1959	49	10,20	13,14	2150	—	—	—	3030
74	Иван-Солнечный	Бразилия	1973—1974	85	21,20	10,80	1231	—	—	—	30
75	Ивановское	СССР	1948	1948	13	13,20	2,32	876	—	—	3030
76	Иван-Солнечный	Финляндия	1942	1942	8	4,35	2,45	1103	—	—	9
77	Ивановское	СССР	1964—1966	140	9,36	0,70	400	—	—	—	3030
78	Ивановское	СССР	1960—1961	30	2,08	0,55	203	—	—	—	30
79	Ивановское	СССР	1958—1959	35	3,26	2,30	280	—	—	—	3030
80	Ивановское	СССР	1942	1942	—	6,06	—	1900	—	—	3030
81	Ивановское	СССР	1977	1977	—	3,54	3,54	—	—	—	3030
82	Ивановское	СССР	1957—1958	185	20,30	1,90	1403	—	—	—	3030
83	Ивановское	СССР	1977	1977	—	17,03	—	—	—	—	3030
84	Ивановское	СССР	1977	1977	—	17,03	—	—	—	—	3030
85	Ивановское	СССР	1977	1977	—	17,03	—	—	—	—	3030
86	Ивановское	СССР	1977	1977	—	17,03	—	—	—	—	3030

87	Кабинетер Бюф	СССР	1962	1962—1963	30	8,52	1,43	—	—	—	3
88	Кабинетер Бюф	СССР	1962—1963	30	3,33	0,24	410	—	—	—	3030
89	Кабинетер Бюф	СССР	1974	1974	96	38,42	32,42	2418	—	—	225
90	Кабинетер Бюф	СССР	1987	1987	14	1,12	0,09	327	—	—	120
91	Кабинетер Бюф	СССР	1960—1971	93	1,22	0,09	33	—	—	—	30
92	Кабинетер Бюф	СССР	1956—1959	49	10,20	13,14	2150	—	—	—	3030
93	Кабинетер Бюф	СССР	1973—1974	85	21,20	10,80	1231	—	—	—	30
94	Кабинетер Бюф	СССР	1948	1948	13	13,20	2,32	876	—	—	3030
95	Кабинетер Бюф	СССР	1942	1942	8	4,35	2,45	1103	—	—	9
96	Кабинетер Бюф	СССР	1964—1966	140	9,36	0,70	400	—	—	—	3030
97	Кабинетер Бюф	СССР	1960—1961	30	2,08	0,55	203	—	—	—	30
98	Кабинетер Бюф	СССР	1958—1959	35	3,26	2,30	280	—	—	—	3030
99	Кабинетер Бюф	СССР	1942	1942	—	6,06	—	1900	—	—	3030
100	Кабинетер Бюф	СССР	1977	1977	—	3,54	3,54	—	—	—	3030
101	Кабинетер Бюф	СССР	1957—1958	185	20,30	1,90	1403	—	—	—	3030
102	Кабинетер Бюф	СССР	1977	1977	—	17,03	—	—	—	—	3030
103	Кабинетер Бюф	СССР	1977	1977	—	17,03	—	—	—	—	3030
104	Кабинетер Бюф	СССР	1977	1977	—	17,03	—	—	—	—	3030
105	Кабинетер Бюф	СССР	1977	1977	—	17,03	—	—	—	—	3030
106	Кабинетер Бюф	СССР	1977	1977	—	17,03	—	—	—	—	3030
107	Кабинетер Бюф	СССР	1977	1977	—	17,03	—	—	—	—	3030
108	Кабинетер Бюф	СССР	1977	1977	—	17,03	—	—	—	—	3030
109	Кабинетер Бюф	СССР	1977	1977	—	17,03	—	—	—	—	3030
110	Кабинетер Бюф	СССР	1977	1977	—	17,03	—	—	—	—	3030
111	Кабинетер Бюф	СССР	1977	1977	—	17,03	—	—	—	—	3030

1. **התאמה** – התאמה בין המידע המוצג לבין המידע המצוי.

№	Наименование предприятия	Страна	Годы, с 1973 по 1975	Объем импортных товаров, тыс. долл.		Платежи за импорт, тыс. долл.		Валовый импорт, тыс. долл.
				по количеству	по стоимости	за товары	за услуги	
112	Кристаллическое	СССР	1973—1975	2,35	2,15	420	45	Итого
113	Красноярское	СССР	1977	73,20	30,40	2000	—	388
114	Химзавод	Гвинея	1986	4,50	3,30	80	—	30
115	Кристаллическое	СССР	1979—1981	13,52	8,07	2952	—	180
116	Кубанское	СССР	1925—1937	1,72	1,35	643	478	10
117	Кудымкарское	СССР	1955—1957	58,00	31,30	650	—	650
118	Курейское	СССР	Стр.	13,40	10,10	747	50	100
119	Кумское	СССР	1982—1988	10,55	8,88	180	1889	Итого
120	Лазаревское	Италия	1985	4,00	3,00	Итого	Итого	Итого
121	Лазаревское	Канада	Стр.	10,70	28,84	908	130	2
122	Лазаревское	Канада	Стр.	57,30	10,52	2481	250	2
123	Лазаревское	Канада	1975	20,83	6,16	804	3	3
124	Лазаревское (Беренское)	Канада	1975	12,58	Итого	732	373	Итого
125	Лазаревское	СССР	1973	6,12	7,01	75	56	34
126	Лазаревское	СССР, Канада	1905	7,61	Итого	3815	3815	Итого
127	Лазаревское	СССР	1992	10,50	0,85	945	450	34
128	Лазаревское (Северное)	СССР	1970—1972	3,00	1,07	550	234	157
129	Лазаревское	Финляндия	1987—1990	2,09	Итого	417	—	10
130	Лазаревское (Северное)	СССР	1990—1993	1,29	1,26	468	—	10

№	Долг	Страна	Вид	Год	Средняя ставка	Срок	Сумма	Вид	Средняя ставка	Срок	Сумма
131	Долг	Канада	Худож.	1988	140	5,70	4,10	130	—	—	—
132	Долг	Малайзия	Бонд	1989	35	13,10	11,00	500	—	—	—
133	Долг	Панама	Долг	1987	116	7,25	6,55	200	—	—	—
134	Долг	Канада	Долг	1975	130	10,42	10,42	207	—	—	—
135	Долг	США	Сек.	1991	43	1,75	1,75	400	—	—	—
136	Долг	Бразилия	Рез. Грива	1976	80	6,15	—	438	—	—	—
137	Долг	Канада	Долг (Сек.)	1971—1974	25	2,00	2,00	250	—	—	—
138	Долг	Мексика	Долг (Сек.)	1955	71	6,32	6,32	500	—	—	—
139	Долг	США	Долг (Сек.)	1935—1938	172	36,75	33,32	651	—	—	—
140	Долг	Канада	Долг	1971—1974	235	24,07	24,80	445	—	—	—
141	Долг	США	Рез. Грива	1989	6	4,88	4,88	531	—	—	—
142	Долг	США	Долг	1953—1959	92	10,07	7,40	303	—	—	—
143	Долг	Югославия	Долг	1957	106	1,28	1,10	107	—	—	—
144	Долг	Канада	Долг	1975	16	10,34	—	2745	—	—	—
145	Долг	Малайзия	Долг	1982—1983	140	3,33	2,50	13	—	—	—
146	Долг	США	Долг	1981	35	1,40	0,94	200	—	—	—
147	Долг	США	Долг	1980	120	0,67	0,67	297	—	—	—
148	Долг	США	Долг	1958	120	11,55	9,00	286	—	—	—
149	Долг	США	Долг	1914	2,8	0,71	0,71	200	—	—	—
150	Долг	США	Долг	1970—1974	70	7,37	4,70	370	—	—	—
151	Долг	США	Долг	1965	35	2,55	—	410	—	—	—
152	Долг	США	Долг	1970	95	137,00	74,00	5120	—	—	—

№ до- ход- ной группы	Источники заимствований	Сторона	Рект. сектор	Годы экспор- та или осво- ения объекта	Площадь земли, га	Средняя стоимость, руб./га		Площадь земли, га		Длина водо- провод- ной линии, км	Помы- слов- ная зона
						по дого- вору	по дого- вору	по дого- вору	по дого- вору		
153	Индонезийский (Малитинго)	Мексика	Грихальен	1963—1965	130	6,20	235	170	—	80	ИЗИС
154	Чехословакия	Чехословакия	Чехословакия	1972	109	22,20	Нет данных	870	453	Нет данных	Э
155	Нигерия	Канада	Рей	Стр.	75	4,43	—	408	—	То же	Э
156	Экваториальная Гвинея	СССР	Кама	Стр.	15	12,10	4,38	2580	—	270	ЭЭЛРО
157	Нигерия	Канада	Паттерсон	1960	25	12,33	12,33	4532	Нет данных	40	Э
158	Нидерланды	СССР	Обь	1967—1969	20	8,80	4,40	1070	—	203	ЭЭЛРО
159	Гвинея	СССР	Вахш	1972	300	40,30	4,30	59	—	75	ЭЭЛРО
160	Гвинея-Бисау	Гвинея-Бисау	Панам	1963—1968	40	1,15	Нет данных	130	—	500	ИЗ
161	Оман	СССР	Мансур	1963	75	29,11	29,11	1554	—	430	ЭНОО
162	Оман	СССР	Эман-Ривер	1968	3	5,17	1,00	1830	—	—	ИЗ
163	Оман (Ворхав- заура)	СССР	Сегри	1951—1952	17	48,76	13,36	9350	9730	83	ЭЭЛРО
164	Оман (Иржун)	Кипр, США	Св. Маргарита, св. Па- терно	1959	25	26,10	29,90	10534	10530	310	ЭСА
165	Оман	Австралия	Ора	1960—1972	30	5,70	5,90	720	—	80	ИЗ
166	Оман	США	Фетер	1965	25%	4,81	6,31	92	137	Нет данных	ИЗ
167	Оман	Великобритания	Жагуарбе	1962	50	5,00	2,10	400	—	—	Э
168	Панама	Франция	Пулалт	1974	130	2,30	Нет данных	200	—	—	ИЗ
169	Панама	Канада	Перабон	1943	40	5,48	—	160	—	—	Э
170	Панама	США	Потер Орей	1952	40	1,93	4,43	378	378	—	ЭЭЛРО

171	Панама	Швейцария	Дулава	1961	35	3,30	3,30	170	—	130	ИЗ
172	Панама	Финляндия	Литис	1970	35	1,50	1,50	300	—	—	Э
173	Панама	Перу	Чеп	Стр.	45	1,20	Нет данных	—	—	—	И
174	Панама (Гала- Кинот)	США	Колорадо	1963—1964	200	88,55	25,72	646	—	—	ИЗ
175	Панама	Колумбия	Прер	1971	35	1,40	0,45	—	—	—	ИЗ
176	Панама	Колумбия	Прек-Тот	1974	25	4,42	Нет данных	—	—	—	ИЗ
177	Панама	СССР	Мини	1941	4	2,03	0,76	795	844	400	ЭЭЛРО
178	Панама	Бразилия	Тукета	1975	50	7,40	2,20	1003	—	—	ЭЭЛРО
179	Панама	Норвегия	Пухави	Стр.	40	5,80	Нет данных	150	150	100	Э
180	Панама	Иран	Харун	1973	130	2,90	—	—	—	—	ИЗ
181	Панама	Канада	Черчилль, оз. Рейкс-Лейк	1947—1949	2	17,80	—	5070	5070	232	ЭА
182	Панама	США	Рейкс-Лейк	1909	1	0,01	0,01	684	884	Нет данных	ЭА
183	Панама	Уругвай	Рио-Негро	1946	30	6,65	Нет данных	1140	1140	130	Э
184	Панама	Аргентина	Дулава	Стр.	30	2,01	1,13	320	—	—	ИЗ
185	Панама	США	Пембикот	1917	20	1,20	1,20	172	—	—	ЛЗ
186	Панама	Иран	Риан	1962	90	10,02	Нет данных	403	—	—	ИЗ
187	Панама	СССР	Иран	1972	105	11,85	9,00	180	—	—	ЭИ
188	Панама	США	Голубой Нил	1968	57	2,00	2,00	200	—	—	ИЗ
189	Панама	СССР	Волга	1949—1949	18	25,42	16,67	4530	—	—	ЭЭЛРО
190	Панама	США	Ред-Лейк	1931	3,5	4,03	2,35	1153	1153	1150	ИЗ
191	Панама	Финляндия	Вулкан	1925	Нет данных	7,40	7,40	1900	1800	—	ЭЛ
192	Панама	Аргентина	Уругвай	Стр.	45	5,00	Нет данных	570	—	—	ЭНО
193	Панама	Китай	Хуэй	1960—1962	01	95,40	—	2350	—	—	ЭЭЛРО

№ за- каза	Наимено- вание заказчика	Страна	Рек. опись	Год за- каза	Площа- дь, га	Объем водос- наб. м³		Плоск. э- ксп. м²	Длина хв. по- луч. км	Вид напол- нения
						под- зем.	поверх.			
194	Сад Сидан	Бразилия	Паракати	Стр.	140	12,54	Нет	587	Нет	Э
195	Сарапатинг	СССР	Вотта	1987—1988	45	12,37	1,75	198	—	ЭС, ПВО
196	Сата	Куба	Сата	1975	25	1,02	0,59	Нет	—	И
197	Састебуре	Швейцария	Стуре-Пудель	1938	27	Нет	1,24	6	Нет	Э
198	Сат Сакангас	Канада	Сат-Сакангас	1950—1968	55	0,86	2,40	447	—	ЭОА
199	Савинск	СССР	Виней	Стр.	220	20,43	14,07	647	—	ЭИС, ПВО
200	Сотервас	СССР	Сата	1967	5	4,70	4,00	815	753	ЭИС
201	Сотервал	Финляндия	Кемпили	1951	20	1,30	Нет	587	Нет	Э
202	Селнете	Мали	Санхарем	Стр.	167	2,00	8	4,00	—	ЭИС
203	Сент-Бен	Камерун	Туангусук	1958	35	3,37	8	950	147	ЭА
204	Сент-Джон (Иль-Мартин)	Канада	Сатер	1925	40	5,37	5,30	Нет	1972	Э
205	Сертон-Гранд	Сальвадор	Девид	Стр.	72	1,43	1,43	135	—	Э
206	Сетрос-Коронадо	Аргентина	Нукура	1950—1971	20	43,40	5,00	607	Нет	ЭИ
207	Серт-Патон	Франция	Дьерне	1980	130	1,27	4,05	28	—	Э
208	Сильман	Китай	Синьань	1900	100	21,62	8,80	580	—	ЭА
209	Синьфян	Китай	Синьфян	1908	130	43,90	3,00	880	—	ЭА
210	Сир-Энт	Таиланд	Мие Нан	1972	300	10,30	8,80	559	—	ЭОА
211	Сибратин	Бразилия	Сак-Франсиску	Стр.	40	34,20	Нет	4200	—	ЭИС
212	Сонгале	Южная Ко- рея	Хан	1971	115	2,00	8	9	—	ИЗВБ

213	Стратон Уит	США	Сматон Уит	1904	12	8,27	Нет	Нет	—	А
214	Судати	Гвинея	Судати	Стр.	125	17,20	5,00	880	—	Э
215	Сурин	Швейцария	Стуре-Пудель	1928—1944	80	5,50	2,80	Нет	—	Э
216	Сулун	КНДР, Китай	Дулун	1960	90	12,00	7,50	230	—	Э
217	Сук-Эль-Берг	США	Андалес	1951	65	5,52	4,09	455	Нет	ЭАН
218	Тако	США	Трако	1974	2	10,02	0,52	480	—	ТН
219	Тара-Марсел	Югославия	Тара	1964	115	4,50	1,52	100	Нет	Э
220	Тарбел	Индия, Паки- стан	Инд	1978	130	15,70	6,00	280	—	ЭНИ
221	Тауэ-Сок	США	Политский Блок	1900	25	5,37	Нет	Нет	—	Э
222	Тексона (Девон)	США	Ред-Ривер	1943	25	8,81	5,45	576	—	ЭНВА
223	Темпер (Пир)	Малайзия	Ларак	1977	415	5,70	4,40	100	—	Э
224	Теккерин	США	Саллиер	1957	55	3,27	3,27	479	Нет	СЛР
225	Тейлор (сгорел- ые 193)	США	Тейлор-Крич	1972	10	5,12	Нет	Нет	—	АСВ
226	Токтогулск	СССР	Нарен	1973	480	18,50	14,00	264	—	ЭИСА
227	Три-Марин	Бразилия	Син-Франсиску	1900	70	10,15	15,00	1150	—	ЭИС
228	Тун-Кейна	США	Карт-Кейна	1905	20	18,03	Нет	Нет	—	А
229	Тушбадир	Индия	Тушбадир	1917	45	4,54	Нет	378	80	ЭИ
230	Тух-Ба	Вьетнам	Тух	1963	15	3,35	2,18	Нет	—	И
231	Тух-Мулак	СССР	Амур-Бас	Стр.	13	7,34	5,00	780	—	ИЭСР
232	Уалес	США	Фин	1948	Нет	0,72	0,72	808	357	ЭБ
233	Уилер	США	Томас	1906	15	1,42	0,45	273	—	ИНСА
234	Уингтон	США	Макензи	1884	3	0,80	0,80	418	282	ИПА
235	Ухан	Индия	Тале	1975	65	5,54	7,00	516	—	ЭСРО
236	Уст-Ильинск	СССР	Алгара	1974—1977	88	59,50	2,77	1870	—	ЭС, ПВО

- Абрамов В. Н. Термические классификация скважинных озер умеренных широт. В кн.: Природа и хозяйственное использование озер Ленинской и горнозаводских областей. Л.: Изд-во ЛГУ, 1971.
- Алексан А. Б. Проблемы создания и комплексного использования водохранилищ в СССР. — Водные ресурсы. 1972, № 1.
- Алексан А. Б., Овчинникова С. П. Некоторые данные о водохранилищах мира. — Гидротехническое строительство, 1971, № 8.
- Алексан А. Б., Овчинникова С. П., Шаронов В. А., Яковлева В. Б. Водохранилища земного шара. — В кн.: Проблемы регулирования и использования водных ресурсов. М.: Наука, 1973.
- Алексан А. Б., Овчинникова С. П., Яковлева В. Б. Некоторые особенности создания и комплексного использования водохранилищ в развивающихся странах. Труды координационных совещаний по гидроэнергетике, 1974, вып. 90.
- Алексан А. Б., Шаронов В. А. Анализ территориально-районирования и планировка водохранилищ. — В кн.: Вопросы территориального назначения водных ресурсов. М.: Институт географии АН СССР, 1976.
- Алексан А. Б., Шаронов В. А. О классификации водохранилищ гидроэлектростанций СССР. — Изв. ВГО, 1966, т. 52, вып. 6.
- Алексан А. Б., Шаронов В. А. Водохранилища гидроэлектростанций СССР. М.: Госэнергоиздат, 1962.
- Алексан А. Б., Шаронов В. А. Водохранилища гидроэлектростанций СССР. Изд. 2-е. М.: Энергия, 1968.
- Алексан А. Б., Шаронов В. А. Основные данные по водохранилищам действующим и строящимся гидроэлектростанций. — Гидротехническое строительство, 1970, № 4.
- Алексан А. Б., Шаронов В. А. Водохранилища гидроэлектростанций СССР. Изд. 3-е. М.: Энергия, 1977.
- Алексан А. Б., Яковлева В. Б. Проблемы рекреационного использования водохранилищ. Водные ресурсы, 1973, № 6.
- Алексан А. Б., Яковлева В. Б. Повременное использование рекреационного использования водохранилищ. — Гидротехническое строительство, 1976, № 12.
- Алексан О. А. Гидроэнергетика. Л.: Гидрометиздат, 1966.
- Амброз К. А., Есеева У., Худиков П. А. Некоторые результаты затопления поймы р. Иртыш полуканализом Буктармского водохранилища. — В кн.: Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. Азия-Лига: Наука, 1974, вып. 11.
- Андреевская С. А. О фитопланктоне Байракунского водохранилища на Ставрополье. — Изв. АН УзССР. Отделение биол. наук, 1963, № 3.
- Андреевская С. А. Особенности развития фитопланктона в Байракунском водохранилище. — В кн.: Гидробиология и гидрология. Душанбе: Дониш, 1968.
- Ахметов О. П. Основные сведения о существующих, строящихся и проектируемых водохранилищах СССР. Изв. ГИИИОУХ, 1961, т. 50.
- Барсуков Я. А. Минимальный биологический сток р. Волги у г. Астрахани. — Труды КаспНИРХ, 1971, т. 26.
- Белый В. А. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. Л.: Гидрометиздат, 1961.
- Бейли С. Г., Вострякова П. В., Шаронов В. М. Изменение природных условий в Средней Оби после создания Новосибирской ГЭС. Новосибирск: Наука, 1973.
- Белов М. В., Константинов Л. С. Зоопланктон Волги выше и ниже Саратова в 1966-1968 гг. Труды комплексной экспедиции Саратовского университета по изучению Волги Саратовского и Саратовского водохранилищ. Саратов, 1973, т. 3.
- Беломыслова З. И. Влияние регулирования водного стока р. Волги на гидрохимический режим ее нижнего течения и дельты. Тезисы докладов IV Всесоюзной гидрологической конференции и качества вод. Научно-техническая конференция, 1977.
- Беломыслова Л. А. Состояние биоты водохранилища на втором десятилетии его существования. Биологический режим и рыбохозяйственное использование Новосибирского водохранилища. Новосибирск: Наука, 1976.
- Беломыслова В. В. Инженерная защита в зоне водохранилищ крупных гидроэлектростанций. М., Л.: Гидрогосиздат, 1968.
- Беломыслова Н. И. Микрофитопланктонный режим Байракунского водохранилища. ДАН ТаджССР, 1966, т. 11, вып. 5.
- Беломыслова Н. И. Первичная продукция в Байракунском водохранилище. — Зоологический сборник, ч. 1. Душанбе: Дониш, 1976.
- Беломыслова В. В. Гидрохимический режим водохранилища. М.: Транспирт, 1964.
- Берисов А. П., Чистяков В. М. Гидрохимический режим в зоне водохранилища. М.: Изд-во Минкомхоз РСФСР, 1966.
- Бордюк Н. Д., Лыбас В. А., Лыбас С. М. Бентос Кутулунского водохранилища летом 1972 г. — В кн.: Озера, фауна и гидроорганизмы. Волго-Л.: Наука, 1974.
- Буров Н. В. Гидрологические процессы и динамика водных масс в водохранилищах Волжского каскада. Л.: Наука, 1960.
- Буров Н. В., Зависов Н. А., Кудряв В. И. Циклы озимения биологических водохранилищ. Л.: Наука, 1975.
- Буров Н. В., Фортунатов М. А. Водохранилища Волги как факторы, обуславливающие биологические процессы. — В кн.: Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. Л.: Наука, 1976.
- Вайский каскад. Drafting, Nakhla, 1968.
- Вендров С. Л. О динамике береговой линии Тиманского водохранилища. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1955, № 5.
- Вендров С. Л. О механизмах преобразования природы крупных водохранилищ. — Изв. Всесоюз. геогр. о-ва, 1959, т. 91, вып. 4.
- Вендров С. Л. Проблемы преобразования речных систем. Л.: Гидрометиздат, 1970.
- Вендров С. Л., Лыбасов К. Н. Водохранилища и окружающая природная среда. М.: Наука, 1976.
- Вендров С. Л., Малин Н. К. Опыт распределения влияния крупных водохранилищ на местный климат. — Изв. АН СССР. Серия геогр., 1964, № 4.
- Вершинин Н. В., Червонская Т. В. Коренные ресурсы рыб Кривопольского водохранилища. — Тезисы II съезда ВГО. Копенгага, 1970.
- Ветчинина М. И. Изменение кормовой базы Калужского водохранилища в связи с антропогенной деятельностью. — В кн.: Круговорот веществ и энергии в водоемах, 1977.
- Виноградов Б. Л. Космические методы изучения природной среды. Л.: Гидрометиздат, 1976.
- Виноградов Б. В., Комаров К. Н. Космические методы землеведения. Л.: Гидрометиздат, 1971.
- Виттер И. А. Историко-географическое введение в экономическую географию зарубежного мира. М.: Географиз, 1963.
- Владимиров С. А. Влияние водохранилищ на почву. — Почвоведение, 1968, № 9.
- Влияние водохранилищ лесной зоны на прилегающие территории. М.: Наука, 1970.
- Власовский каскад. Гидропроект. Проект. Изд-во МПИХ, 1969.
- Водохранилища Волжской ГЭС на р. Каме. — Материалы к научному географическому гидрологическому исследованию. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1968.
- Вострякова П. А. Продуктивность озера в пойме Волги в связи с изменением водного режима в нижнем бассейне Рыбинской ГЭС. — В кн.: Освоение и первичное освоение Со-

- лот и заболоченный залив. Нечерноземной зоны. М.: Сельхозгиз, 1962.
- Полар М. П., Калит В. С. Затопление при крупном гидростроительстве. Опыт экологического исследования. М.: Энергоиздат, 1964.
- Воробьев В. В. Влияние регулирования стока рек на продуктивность лугов в естественных беефах гидротехн. — Труды Гидропроекта, 1973, № 38.
- Воробьев Г. В., Назаров Л. С. Приращивание в некоторых странах мира. Алма-Ата: Кайнар, 1970.
- Гас Д. З. Бактериопланктон и его роль в биологической продуктивности водохранилищ. М.: Наука, 1975.
- Гас Д. З., Ивнина Г. А. Бактериопланктон Байкала и ее водохранилища в июне-июле 1972 г. Водные ресурсы, 1975, № 1.
- Голубович Н. Д., Дурнев С. В. Лесосмывы и лесопосадки в зоне затопления водохранилищ гидростроительств. Л.: Гослесхозиздат, 1966.
- Гольд. З. Г., Лисовский Г. А., Рукисов Л. А., Скобцов Г. Н., Чайковский Т. С. Состав и структура биологического Красноварского водохранилища в зоне поступления и распространения загрязнений. — Тезисы докл. III съезда ВГБО. Рига, 1976.
- Григорьев А. А. Космическая индикация ландшафтов Земли. Л.: Изд-во ЛГУ, 1975.
- Грак Г. В. Полусы в естественных беефах. М.: Энергия, 1971.
- Гуаш В. К. Формирование микроэкологического режима водохранилищ верхнего Иртыша. Алма-Ата: Наука, 1975.
- Гусев К. А. Фитопланктон Рыбинского водохранилища. Труды биол. станций «Барок», 1958, вып. 2.
- Гусев Н. Н., Максимов М. П. Органические вещества в дождевых стоках. В кн.: Вода-1. Куйбышевское кн. изд-во, 1971.
- Давыдов Л. Н., Косов А. П. Рыбохозяйственное использование водохранилищ. М.: Пищепромиздат, 1967.
- Давыдова А. И., Нахичева Е. Л., Пахиличук А. К. Евтрофикация Лисина в условиях зарегулированного стока. — Гидротехн. Материалы Кемпелова Б. Корд-Марк Штаут, 1976.
- Давыдов Ф. Применение дрифтационных датчиков для изучения экосистем в управлении беефах. В кн.: Основы экологии. М.: Мир, 1975.
- Давыдов Н. А. Тиле / формирование минеральных водохранилищ. Тезисы докл. I съезда ВГБО. В кн.: Вопросы гидробиологии. М.: Наука, 1965.
- Давыдов А. Н. Прелестность, бремя генерации и продукция бактерий в воде Саратовского водохранилища. — Гидробиологический журнал, 1975, т. 11, № 3.
- Давыдов Н. А., Рамсер В. К. Современное состояние зоопланктона Волги. — В кн.: Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. Л.: Наука, 1976.
- Давыдовский Ю. Д. Внутренние воды Африки и их использование. Л.: Гидрометиздат, 1967.
- Давыдов Б. В. Динамика численности бактериопланктона в воде Волгоградского водохранилища. — Труды Саратовского отд. ГосНИОРХ, 1970, т. 10.
- Давыдов С. М. Изменения качества воды при зарегулировании рек. — В кн.: Тезисы водохранилищ. М.: Медгиз, 1961.
- Давыдов С. М., Буторин Н. В., Былинский А. А. Факторы, определяющие качество воды в водохранилищах. — Труды Ин-та биологии внутренних вод АН СССР, 1974, вып. 26(29).
- Давыдовский Л. В. Изучение водных ресурсов с помощью космических средств в США. — Водные ресурсы, 1976, № 1.
- Давыдов С. В. Проектирование лесосмывов и лесопосадки в зонах затопления водохранилищ. Труды Гидропроекта, 1969, сб. 17.
- Давыдовская-Кришневская Т. Л. Бактериологические процессы. — В кн.: Дубосарское водохранилище. М.: Наука, 1964.
- Давыдов К. П. Влияние крупных речных водохранилищ на леса прибрежной зоны. Л.: Гидрометиздат, 1975.
- Давыдов Т. С. Заселение Горьковского водохранилища в районе Костромской ГРЭС. — Труды Ин-та биологии внутренних вод АН СССР, 1975, вып. 27(30).
- Евстафьев А. М. Гидроэнергетика Финляндии. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962.
- Жидин В. И. Проблемы санитарной гидробиологии внутренних водоемов. — В кн.: Санитарная и техническая и гидробиология. М.: Наука, 1967.
- Жидин В. И., Герд С. В. Реки, озера и водохранилища СССР. Их флора и фауна. М.: Учпедгиз, 1961.
- Житенев Т. С., Никоноров Г. А. Некоторые вопросы изучения планктонной Комсомольской ГРЭС на биологический режим Иваньковского водохранилища. Изв. ГосНИОРХ, 1972, № 8.
- Жуковский В. Н., Оксик О. П., Цесб Н. Н., Георгиевский Л. Г. Проект утилизационной системы для характеристики константных водоемов и водотоков и ее применение для анализа качества воды. Гидробиологический журн., 1976, т. 12, № 6.
- Забавин Л. А., Тарасов М. Н., Смирнов М. П. Изменения содержания органических и биогенных веществ в воде рек при их зарегулировании водохранилищами и вопросы прогнозирования. — Тезисы докл. IV Всесоюз. симпозиум. совещ. Гидротехники и качества вод. Крутой водосток и энергии в водоемах. Ленинград-Байкал, 1977.
- Золотарев Г. С. Интегрированное экологическое изучение береговых экосистем водохранилищ и аглиц их перераспределения. Труды лаб. гидрогеологии, проблемы АН СССР по Саратовскому, 1975, т. XII.
- Зубенко Ф. С. О методике инженерно-геологических исследований по геоконструктивным сооружениям. — Труды координационных совещаний по гидротехнике. Л.: Энергия, 1976, вып. 107.
- Иванов А. В. Численность бактерий в Куйбышевском водохранилище по данным многолетних наблюдений. — Материалы Всесоюз. науч. конф. по проблеме комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна Волги, Пермь, 1975, вып. 3.
- Иванов Г. Н. Меконка. Водное хозяйство и экологическое развитие. М.: Наука, 1973.
- Иванова З. Н. Питание и питание связи лимнов и водных видов животных. Ученые водохранилища. Автореф. канд. дис. М., 1975.
- Инженерно-географические проблемы проектирования и эксплуатации
- крупных речных водохранилищ. М.: Наука, 1972.
- Исследование природной среды космическими средствами, т. 3. Геообитания, почвоведение, гидрология. М.: ВИПТИ, 1974.
- Исследования природной среды космическими средствами, т. 4. География, методы космической фотосъемки. М.: ПИИИТИ, 1975.
- Исследования природной среды космическими средствами, т. 5. Геоэкология и геофизика. М.: ВИПТИ, 1976.
- Кавыдов М. Л. Роль рек в Рыбинском водохранилище и жизни многоклеточных Ларинского водохранилища. Труды Ленинского гос. заповедника, Москва, 1967, вып. 4.
- Калашин Г. П. Проблемы глобальной гидрологии. Л.: Гидрометиздат, 1968.
- Калашин Г. П., Курдюков Ю. В., Колесов Л. А. Качественные методы в гидрологии. Л.: Гидрометиздат, 1977.
- Кавыдовское водохранилище. Кн.: Наука, Ленинград, 1964.
- Кавыдов Ф. Ф. О значении многолетних наблюдений за водохранилищами. — Труды Гидропроекта, 1973, № 38.
- Кавыдов И. А. Санитарные вопросы гидроэлектростроительства. М.: Медицина, 1965.
- Кавыдовское водохранилище. Гидрология, биология, продуктивность. Киев: Наукова думка, 1972.
- Кавыдов Н. З., Шамурд У. К. Экологические и социально-экономические последствия строительства Луговой плотины на р. Пиле. — Труды IX Междунар. конгр. по ирригации и дренажу. М., 1976.
- Кавыдов Л. А. Планирование водостроительных работ в условиях строительства электростанций на биологических водохранилищах. Гидротехн. журн., 1973, т. IX, № 5.
- Кавыдов В. Л. Значение неоднородности водоемов для гидрохимического прогнозирования. — В кн.: Материалы к исследованию по прогнозированию содержания биогенных элементов и органического вещества в водохранилищах. Рыбинск: ИБЗВ АН СССР, 1969.
- Кавыдов С. М. Фитопланктон Иркутского водохранилища. — В кн.: Биология Иркутского водохранилища Новосибирск: Наука, 1964.

- Коссов О. М. Фитоценоз и формирование гидробиологического режима Байкала-Ангарских водохранилищ: Автореф. докт. дис. Харьков, 1970. В сб.: Харьковский ун-т, 1970.
- Коссова О. М., Мажанова Л. М. Состояние дельты Байкала-Ангарских водохранилищ. В кн.: Формирование экосистем и гидробиология Байкало-Ангарских водохранилищ. Новосибирск: Наука, 1973.
- Коссова О. М. Особенности антропогенного стратифицирования Байкала и р. Ангары. — В кн.: Антропогенное стратифицирование водоемов. Черноголовка, 1974.
- Коссов О. М., Томашов А. А. Гидробиология Притисского водохранилища и связь с возможностями его использования. В кн.: Климатические исследования водохранилищ. М.: Наука, 1973, вып. 2.
- Климатические исследования водохранилищ. М.: Изд-во МГУ, 1971, вып. 1.
- Коробов А. Я., Буланкин А. Л., Паслянский Д. В. Дистанционные наблюдения загрязнения водных бассейнов и фитоценоза оптических средств. — Водные ресурсы, 1972, № 3.
- Костомаров А. С., Пылянский Г. В., Поддубный А. Г., Суржанов Н. С., Населева А. И. Производство водных водохранилищ и пути ее повышения в условиях комплексного использования водных ресурсов. — Вопросы гидрологии, 1976, т. 16, вып. 2 (57).
- Корсаков И. Л. Расселимость Кременевского водохранилища. Киев: Наукова думка, 1977.
- Косов А. А. Экологическая характеристика водоемов типичных дельт Волги. — В кн.: Первая конференция по изучению водоемов бассейна Волги. «Волга-1». Тольятти, 1968.
- Котляковский Я. И., Ротон Г. М. Санитарная охрана водохранилищ на Днестре. — В кн.: Научно-технический интерес и охрана окружающей природной среды. Киев, Плутон думка, 1975, вып. 2.
- Крыжеников С. А. Микробиологическая характеристика Горьковского водохранилища на второй год его существования. — Труды ИВВ АН СССР, 1966, вып. 3 (6).
- Кружало Л. М. Изменение экосистем искусственных водоемов под воздействием антропогенных факторов. — Тезисы докл. III съезда ВГБО. Рига, 1976.
- Кружало Л. М., Герасимов Э. А. Водные водохранилища. — Изд. ГИИОИРХ, 1964, т. 50.
- Кудрявцев В. М. Численность, время генерации и продукция бактерий в Волге и ее водохранилищах в 1970 г. — Микробиология, 1973, т. 42, вып. 1.
- Лавинин Г. В. Современное состояние фитоценоза Волги. — В кн.: Восточная конференция по изучению водоемов бассейна Волги. «Волга-2». Воронеж, 1974.
- Кружало Л. М., Поляков И. М. О возможности ценоза водм Горьковского водохранилища. — Фитоценоз. сб. «Биология внутр. вод», 1974, № 21.
- Кутырьков В. В., Прозоров В. Г. Спутниковая информация о состоянии вод суши. — Труды ГИИ, 1976, вып. 243.
- Куклин Н. С. Водные кластеры гидроразветвлений. М.: М.: Госэнергондизат, 1964.
- Кузнецов Л. Е., Корсаков И. Л., Мохарашвили В. М., Циммерман О. Н. Заполнение водм и водохранилищ Грузии. — В кн.: Биологические проблемы водных и водохранилищ. Кутаиси, 1970.
- Лавинин Г. В. Направленное формирование и управление численностью популяций рыб в Цимлянском водохранилище. — Труды Волгоградск. отд. ГИИОИРХ, 1970, т. 4.
- Лещев Е. И. Влияние химического загрязнения на гидрофауну Карачаевского водохранилища. В кн.: Гидробиологические процессы карских и континентальных водоемов. Тезисы докл. II съезда ВГБО. Кисловодск, 1970.
- Лыжко С. С. Разработка кадастра водохранилищ СССР. — Труды гидрологических совещаний по гидрологии, 1966, вып. 53.
- Лыжко А. С. Формирование, структура и флуктуации экосистем в Плавинском водохранилище. — Труды ИВВ АН СССР, 1974, вып. 26(25).
- Лифанов Н. А. Организация рыбного водохранилища (затопления и под-
- топления в гидротехническом строительстве). М.: Госэнергондизат, 1966.
- Лихосеев М. Ф. Биология: Микробиология водохранилищ. — В кн.: Биология Митохондриального водохранилища. Баку: ЭИИ, 1963.
- Лукин Л. И., Савин Н. О. Рыбохозяйственный водный фонд и уловы рыбы по водохранилищам СССР. М.: ИЛ, ВНИОРХ, 1958.
- Лукин А. П. Закономерности колебания численности рыб Кузнецкого водохранилища. — Тезисы докл. Совещ. по водным дельтам и водохранилищам, 1970.
- Луфферов Л. А. Формирование экосистем Горьковского водохранилища. — Труды ИВВ АН СССР, 1963, вып. 6(9).
- Лурин М. И. Водные ресурсы будущего. М.: Просвещение, 1969.
- Лыбис В. А. Многолетние изменения в фауне олигохет Кузнецкого водохранилища (1958—1971). — Материалы Всесоюз. науч. конф. по комплексному использованию и охране водных ресурсов бассейна Волги. Пермь, 1975, вып. III.
- Лыбис В. А. Бентос Кузнецкого водохранилища за 10 лет его существования (1958—1968). — В кн.: Волга-1, Кузнецкое вод. хоз-во, 1971.
- Лыбис В. А., Морозов-Болотовский Ф. Д. Современное состояние бентоса водных водохранилищ. — В кн.: Волга-2. Воронеж, 1974.
- Михайлов А. И. Красновское море. Научно-популярный очерк. Красноярск: изд-во, 1968.
- Михайлов А. И., Вейсберг А. О классификации водоемов (водохранилищ). — Труды гидрологии, 1976, Л.: Энергия, вып. 107.
- Михайлов А. И., Воробьев Б. П. Экологическая оценка загрязнений и строительства. Л.: Стройиздат, 1970.
- Михайлов Г. А. Химические география вод суши. М.: Географиздат, 1955.
- Мажанова Л. М. Микробиологическая характеристика водоемов в процессе формирования биологического режима Байкало-Ангарских водохранилищ. — В кн.: Гидробиология водоемов Сибири. Иркутск, 1976.
- Мажанова Л. М., Куклин В. В. Микро-
- биологические процессы в водных водных водоемах растений Рыбинского водохранилища. Труды ИВВ АН СССР, 1976, вып. 33 (36).
- Мартон Э. Постратация Европа. М.: Учгиздиз, 1938.
- Матвеев Ю. М. Географические особенности гидро-гидробиологических исследований формирования крупных водохранилищ и их влияния на природу и хозяйство (на примере Камского водохранилища). Автореф. докт. дис. Пермь, 1971.
- Мельник Г. Б. Закономерности формирования и становления экосистем в водохранилищах СССР. — Гидробиолог. журн., 1960, т. 11, № 2.
- Мельник Г. Б. Гидробиологические задачи биологии. — Экологические науки, 1970, № 4.
- Мельник Г. Б. Водохранилища гидроразветвлений и развитие гидробиологии в СССР. — Гидробиолог. журн., 1970, т. 6, № 5.
- Мельник Г. Б., Гаврилов В. Д. Формирование экосистем Днепропетровского водохранилища в условиях каскада водных ресурсов водохранилищ. В кн.: Гидробиологический режим Днепра в условиях зарегулированного стока. Киев: Наукова думка, 1967.
- Минерва Е. Е., Хаситович Г. Р. Периферизация берегов торных водохранилищ. Методы и примеры расчета. М.: Энергия, 1974.
- Мировой водный баланс и водные ресурсы. Загл. Л.: Гидрометеоиздат, 1974.
- Морозов-Болотовский Ф. Д. Олигохеты и их значение в донной фауне Цимлянского водохранилища. — В кн.: Водные экосистемные цепи. Ярославль, 1972.
- Морозов-Болотовский Ф. Д. Донные коренные ресурсы и стелон, использованные из бентофауны в Цимлянском водохранилище. — Тезисы докл. III съезда ВГБО. Рига, 1976.
- Морозов-Болотовский Ф. Д., Гаврилов В. П., Колышкин С. Г. Особенности гидробиологического режима Цимлянского водохранилища. — В кн.: Биологические процессы в водных и континентальных водоемах. Кутаиси, 1970.
- Морозов-Болотовский Ф. Д. Бентос крупных водохранилищ на Волге. — В кн.: Волга-1, Кузнецкое вод. хоз-во, 1971.

- Музыка Г. Я., Старцева З. П. К вопросу об оценке качества воды с помощью спутниковых наблюдений. — Водные ресурсы, 1975, № 5.
- Мурзалиев Д. М. Гидробиология водных водоемов Северного Таджикистана: Автореф. канд. дис. Ташкент, 1969.
- Нарсизов А. П. Особенности формирования биотического продуктивности водохранилищ Африки. — Водные ресурсы, 1974, № 3.
- Нурова Н. Х., Присека Н. А., Селезнева В. В., Шендров П. П. Биологическая характеристика Камчатской системы водохранилищ. — Тезисы докл. III съезда ВГБО, Рига, 1976.
- Нуровидова А. М. О патологии водохранилищ Маекеттин и сопредельных рек Южной Средней Азии. — В кн.: Биологические процессы в морских и континентальных водоемах. Куйбышев: Штипет, 1970.
- Нухалина Г. П. Тяжелые металлы (марганец, цинк, медь) в днепропетских водохранилищах. — Тезисы докл. IV Всесоюз. симпозиума совет. гидрохимия и качество вод. Липецк: Изд-во ВГБО, 1977.
- Нухалина Т. К. Биотический баланс в озерах и водохранилищах. — Тезисы докл. III съезда ВГБО, Рига, 1976, № 31.
- Нухалина Т. К., Выходина В. П., Герасимова И. А., Давыдова В. В., Загора И. П., Нечелова С. П. Годовая продукция Волжского водохранилища на разных трофических уровнях и ее использование кормом рыбам. — Тезисы докл. III съезда ВГБО, Рига, 1976.
- Нухалин А. А. Коллективные распределения биоты на шельфе и вершинах горных склонов палеогеновой части Берингии. — Труды ВНИРО, 1963, т. 48.
- Нухалин Ф. Я. Искусственные водохранилища мира. — Гидротехническое строительство, 1966, № 4.
- Нухалин И. П. О некоторых типах изверженных вулканов по их трофической структуре (на примере больших озер Северо-Запада СССР). — Водные ресурсы, 1976, № 4.
- Нухалин И. П. Искусственные земледелия. — Природа, 1973, № 7.
- Павлов Е. М., Романов В. И., Кудряков В. М., Лаврова Г. М. Микробиологические процессы в днепропетских водохранилищах. — В кн.: Биологические процессы в водохранилищах. Киев, Научная думка, 1967.
- Прогноз развития водного хозяйства в странах-членах СЭВ до 1990 г. М.: Издательский отдел Упр. делами сотрудничества СЭВ, 1977.
- Радченко Г. Ф. Рыболовство. М.: Мысль, 1969.
- Резниченко А. Ш., Рубинштейн М. И. Управление режимом водохранилищ гидроэлектростанций. М.: Энергия, 1974.
- Резниченко А. Ш. Динамика природных комплексов в сфере влияния водохранилищ. Автореф. канд. дис. М., 1968. В издании: ИГАН.
- Резниченко А. Ш. Зооинженерство Волжского водохранилища в зоне влияния гидроэлектростанций. Конспект лекций. М.: Энергия, 1973, вып. 27 (30).
- Резниченко А. Ш. Зооинженерство Волжского водохранилища и воздействие на него антропогенных факторов. — Тезисы докл. III съезда ВГБО, Рига, 1976.
- Резниченко В. И. Микрофлора. — В кн.: Рыбное водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1972.
- Резниченко В. И. Численность и продукция бактерий в водохранилищах. — В кн.: Биологические процессы в водохранилищах. Киев, 1973.
- Резниченко В. И. Термический режим водохранилищ. М.: Наука, 1975.
- Резниченко В. И. Наименение биологических экосистем под воздействием антропогенного фактора. М.: Наука, 1977.
- Руководство по оценке водоснабжения. М.: Металлург, 1975.
- Рубинштейн А. М. Регулирование биологической водной ресурса водохранилищ. М.: Энергия, 1966.
- Рубинштейн А. М. Водоснабжение и его жизнь. Л.: Наука, 1972.
- Савицкий М. А. Микробиологические процессы в Минскаурском водохранилище. — Труды Ин-та биол. водохр. АН СССР, 1960, вып. 3 (6).
- Савицкий В. П. Перспективы применения дистанционных методов для изучения водохранилищ. — Труды координационных совещаний по гидрохимии, 1977, вып. 122.
- Савицкий В. Ф. За рубежом гидроэнергостроительства. М.: Энергия, 1968.
- Савицкий В. А. Методы повышения эффективности использования водных ресурсов. — Рыбное хозяйство, 1965, № 5.
- Савицкий А. А. О влиянии водохранилища на биологический баланс водохранилища. — В кн.: Сб. работ по Куйбышевскому водохр. Лухань: ЦНИИ, 1963, т. 24.
- Савицкий В. С. Водохранилища СССР (обзор и анализ научно-технической литературы). М.: ВГО, 1974.
- Савицкий В. Ю. Динамика флоры и ее биологическая формация в малых водохранилищах бассейна Волги. — В кн.: Комплексное использование водохранилищ. М.: Наука, 1971, вып. 1.
- Савицкий В. Ю. Экология донных беспозвоночных водохранилищ. — В кн.: Рыбное водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1972.
- Савицкий В. Ю. Биологическая продуктивность. — В кн.: Рыбное водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1972.
- Савицкий В. С. Динамика численности и роста рыб в днепропетских водохранилищах. Тезисы докл. Съезда по развитию динамики численности рыб и промысловых прогнозов. М., 1970.
- Савицкий Т. П. Первичная продукция биотического и деструкции органического вещества в Гурьевском водохранилище. — Гидробиол. журн., 1973, т. 9, № 3.
- Савицкий Р. П. Прогноз развития и биологический Минскаурского водохранилища. — Изв. АН БССР. Серия физ.-математ. науки, 1968, № 1.
- Савицкий А. В., Савицкий А. А., Цев В. Я. Антропогенное воздействие на водохранилища, особенно в области его регулирования. — Водные ресурсы, 1975, № 1.
- Савицкий А. В., Цев В. Я., Савицкий Л. А. Техно-экологические проблемы проектирования, реконструкции и режима эксплуатации водохранилищ. ГЭС. Киев: Наукова думка, 1974.
- Савицкий И. И., Кудряков В. А. Качество воды водохранилищ. — В кн.: Руководство по оценке водоснабжения. М.: Металлург, 1975.

- 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., Porik 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.
- Eiser 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., 1966, vol. 20, N 4.
- Fels E. Das World Register of Dams. Würdigung, Wünsche, Ergänzungen. — Erde, 1967, Bd. 98, N 4.
- Fels E. Stauseen als Gegenstand 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 Ijch zwischen Augsburg und Mündung. — Österr. Z. Elektrizitätswirts., 1955, Bd. 8, N 12.
- Gadenca 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.
- Górnitz Z. M. Stratification of kinetic origin and its biological consequences in a neotropical man-made lake. — Ecol. polska, 1976, vol. 24, N 12.
- Grass O. G., Viner A. B. Ecological stability in a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). — Proc. Roy. Soc. London B, 1973.
- Grangg H. Die Technisierung grosser Ströme in Verbindung mit der Wasserkraft. — Mitt. Inst. Wasserwirts. und Konstruktiv. Wasserbau Techn. Hochsch. Graz, 1974, Mitt. 20.
- Grangg 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. Göttingen, 1974. Stuttgart, 1975.
- Gulhati N. D. Data of high dams in India. Simla, 1960, vol. 1-2.
- Gupta P. N., Rao P. S. Resettlement problem at Bhakra. — Bhagavath, 1961, vol. 11, N 2.
- Hause H. Zerschaltene 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 Kariba, the hydrology and development of fisheries. — In: Man-Made Lakes. London: New York, 1966.
- Hartung F. Alltägliche Grosswasserbauten. — Wasser- und Energiewirts., 1972, Bd. 64, N 4.
- Hernandez J. El agua y la Revolución Mexicana. Ing. hidrául. Mex., 1969, vol. XXIII, N 4.
- Hilton T. E., Kean Part I. 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 Grayville 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., Simcik 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 Kainji 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 desalination. — Reservoir Fish. Res. Symp. Athens, 1969.
- Jugieff T. Akcja wyławiania w przeludności w sensu zbiornika w łesney. — Grop. wodna, 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. 33, N 1.
- Jalabek R. Kraftwerkprojekt Ostfild (Venediger - Gfölm). — 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.
- Kutler E. A. K. Volta lake in relation to the human population and some issues in economics and management. — In: Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects. Washington, 1973.
- Koenig H. W. Talsperrenbau in Einzugsgebiet der Ruhr — Betrieb und Überwachung. — Wasserwirtschaft, 1971, Bd. 61, N 5.
- Kraftwerkbau und Landschaftsbild. Süle Stausee im Einzugsgebiet. — Universität, 1961, Bd. 19, N 6.
- Kraus O. Von Schicksal der Voralpenflüsse. — Öron, 1954, Bd. 5, N 5/6.
- Kraus O. 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.
- Leontiev P. The Brokopondo research project, Surinam. — In: Man-Made Lakes. London: New York, 1966.
- Leontiev P. The Brokopondo research project. — In: Man-Made Lakes and Human Health. London, 1970.
- Leibacher H. J. Ergänzung der Tatsachenstatistik der Bundesrepublik Deutschland von 1961. — Dtsch. gewässer. Mitt., 1969, N 6.
- Linhart J. Typologie brněň přeludních nádrží. — Stud. geogr., 1969, 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 R. C. S. Weeds and man-made lakes. — In: Man-Made Lakes: the Accra Symposium. Accra, 1969.
- Littlewood H. Water-based activities — demand and supply. — J. Inst. Water Eng., 1971, vol. 25, N 2.
- Man-Made Lakes. London: New York: Acad. Press, 1966.
- Man-Made Lakes and Human Health. London, 1975.
- Man-Made Lakes as Modified Ecosystems. SCOP Rept 2, Paris, 1972.
- Man-Made Lakes. Planning and Development/Ed. K. F. Lögler. UNDP. FAO, Rome, 1969.
- Man-Made Lakes: The Accra Symposium/Ed. I. F. Obeng, Accra, 1969.
- Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects. Washington, D. C.: Amer. Geophys. Union, 1973.
- Martin R. O. R., Hanson R. J. Reservoirs in the United States. Geol. Surv. Washington, 1966.
- Marzoff G. R., Osborne I. Primary production in a Great Plains reservoir. — In: Intern. Assoc. Theor. and Appl. Limnol., Stuttgart, 1972, vol. 18, pt. 1.
- McCabe J. R., Varner H. L., Jones O. 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.

- Alchabats D.* Preparatory works for dam construction: at LG-2.—Eng. and Contract. Res., 1975, vol. 88, N 8.
- Mordukhai-Boltovskoi Ph. D., Datsuk N. A., Ekartzev W. A.* Die Ausbildung der Pflanzen und Tierwelt in den Stauseen der Wolga.—Intern. Assoc. Theor. and Appl. Limnol. Stuttgart, 1972, vol. 18, pt. 2.
- Murphy J. K., Streeranz M., Runer R. M. S.* Leakage investigations at the Bhanderda dam.—Water, Power and Dam Constr., 1978, vol. 28, N 9.
- Obras realizadas por las confederaciones hidrográficas.—Comité español de ríos y drenajes, 1969.
- Paluch J., Szulich J., Wrobel S., Bombayra M., Brodacki M., Dajda K., Kruczek W., Orlowski B., Skalska 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.* Umweltsbedingungen und Lebenswelt in alpinen Speicherseen.—Wasser und Abwasser, 1961.
- Pfir T.* Benthic fauna of a tropical man-made lake (Volta lake, Ghana, 1965—1968).—Arch. Hydrobiol., 1972, vol. 70, N 4.
- Proceeding of the NASA Earth Resources Survey Symposium, Houston Texas, 1975, vol. 1-D. Water Resources.
- Procházka J., Straškrabová V., Popovský J.* Changes of some chemical constituents and bacterial numbers in Slapy Reservoir during eight years.—In: Hydrobiological studies 2. Prague: Acad. Publ. House, 1973.
- Reckle W., Poeschl V.* Das Damsaukraftwerk am Erzerum Tor-Linsiedlung und Entschädlungsproblem sowie deren wirtschaftliche 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.
- Stodder T.* The ecological hazards of making a lake.—Natur. Hist., 1969, vol. 78, N 2.
- Swadlow 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., Wyatt J. T.* The interrelationship between freshwater bacteria, algae and actinomycetes in Southwestern reservoirs.—In: The structure and function of freshwater microbial communities. Blacksburg, Virginia, USA, 1971.
- Smith M. A.* History of Dams. Publ. by P. Davis, London, 1870.
- Speece R. E.* Hypolimnion aeration.—J. AWWA, 1971, vol. 63, N 1.
- Straškrabová V., Procházka J., Popovský 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.
- Szorgozynski J.* Veränderungen des geographischen Milieus im Weichsel als Folge der Erbauung des Wasserlaufs in Warschau.—Földr. ért., 1974, Bd. 23, N 2.
- Tarhela.* 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. I.—Water Power, 1973, vol. 25, N 12.
- The Volta resettlement experience. London, 1970.
- Thomas N. O., Hurbach G. E.* Reservoirs in the United States. Washington: Govt. Print. Off., 1956.
- Töndury G. A.* Wasserkraftnutzung und Naturschutz.—Wasser und Energiewirt., 1958, Bd. 51, N 8—10.
- Töndury G. A.* Talsperrenbau in der Türkei.—Wasser und Energiewirt., 1966, Bd. 60, N 11.
- Töndury G. A.* Probleme und Bedeutung der Wasserkraftnutzung in Hochgebirge.—Wasserwirtschaft, 1960, Bd. 58, N 8.
- Townsend G. H.* Impact of the Benzie Dam on the Peace.—Alghasca Delta—J. Fish. Res. Board. Canada, 1975, vol. 32, N 1.
- Trafleten S. B.* Künstliche Seen und Naturschutz in der USA. Umschau 1972, Bd. 72, N 17.
- UVA.—Annu. Rept. Tennessee Valley authority for the fiscal year 1970, 1949, 1949, 1950, 1956, 1966, 1969.
- Varlet H.* Barrages reservoirs. Paris 1966, vol. 1.
- Varley J. D., Albert F.* Revental growth of rainbow trout in Flaming Gorge reservoir during the first six years of impoundment.—In: Reserv. Fish. and Limnol. Washington, 1971.
- Vershney R. S.* Regional sedimentation or curves for India.—Indian J. Power and River Valley Develop., 1970, vol. 20, N 9.
- Weissbach Chr.* Wasser vom Bade
- werk.—Wiss. und Fortschr., 1958, Bd. 6, N 12.
- Wessernack C. 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.
- Wilks 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.* Verminderung der Verdunstungsverlusten 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. Салтанов, М. А. Фортунатов, В. А. Шаронов, 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
Приращивание значения водохранилищ	49
Значение водохранилищ для энергетики	51
Значение водохранилищ для рыбного хозяйства	56
Значение водохранилищ для водного транспорта и лесосплава	59
Глава III	
КЛАССИФИКАЦИЯ И ТИПОЛОГИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ	63
А. Б. Авакян, В. Н. Салтанов, М. А. Фортунатов, В. А. Шаронов	
Типология и классификация водохранилищ по отделным критериям и показателям	66
Типология и классификация водохранилищ по совокупности параметров	72
Классификация водохранилищ по гидрологическому и гидробиологическому режимам	78
О типологии водохранилищ	82
Глава IV	
ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	84
В. А. Шаронов при участии В. А. Корнилова, В. М. Шарипова, Л. И. Эльманова	
Повышение гидрографии территорий, Шаронов В. А.	84
Влияние водохранилищ на гидрологический режим рек, В. А. Шаронов	95
Формирование берегов и дна водохранилищ, В. А. Корнилов, В. А. Шаронов, В. Шарипов	103

Влияние водохранилищ на климат, грунтовые воды, почвы, растительность и животный мир, В. А. Корнилов, В. А. Шаронов	118
Влияние водохранилищ на состояние дикорастущих насекомых, Л. И. Эльманов	130

Глава V

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕИНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ	135
Составители главы Л. О. Эльманов	
Бактериальные процессы, Л. О. Эльманов, Е. С. Кудрина	135
Фитопланктон, О. М. Косова	145
Высшая водная растительность, И. Л. Коренькова	151
Зоопланктон, И. К. Ринкер	159
Зообентос, А. П. Муратов	165
Колючая продукция (рыбы), А. П. Муратов	173

Глава VI

КАЧЕСТВО ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ	181
А. П. Муратов, Л. О. Эльманов, Л. И. Эльманов	
Основные процессы и понятия	181
Природный состав воды в водохранилищах	183
Самочищение воды	188
Антропогенные загрязнения	196

Глава VII

МЕРОПРИЯТИЯ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ СОЗДАНИЕМ И ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ВОДОХРАНИЛИЩ	206
В. А. Шаронов	
Влияние водохранилищ на население и хозяйство	206
Особенности проектирования и осуществления мероприятий по созданию водохранилищ	215
Инженерные защитные мероприятия	221
Переселение жителей и переустройство сельского хозяйства, населенных пунктов и коммунального хозяйства	224
Подготовка донных 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 возможности их применения для изучения водохранилищ, В. Н. Салтанов	247
ЛИТЕРАТУРА	272

ВОДОХРАНИЛИЩА МИРА

Утверждено и издано
Институтом водных проблем АН СССР

Редактор-исполнитель
В. Б. Травинский

Художник
Г. А. Астафьев

Художественный редактор
Н. П. Панфилов

Технический редактор
И. Н. Жуковская

Корректоры Л. А. Ермакова, Л. П. Харитонкина

УБ № 16436

Состоит из набора 29 листов

Подписано к печати 16.05.79

Т-06166. Формат 60x90/16.

Бумага типографская А-1

Гарнитура литературная

Печать, шпатель.

Усл. печ. л. 10,5. Уч. изд. л. 20,1.

Устраж 220 мм. Устраж 130

Цена 2 р.30 к.

Издательство «Наука»

117931, ГСП-7, Москва, П-405, Профсоюзная ул., 90

У-издательство издательства «Наука»

121000, Москва, Г-50, Шубинский пер., 10

ОПЕЧАТКИ

Страница	Страна	Напечатано	Должно быть
26	Рис. 7А стр. 11. в угловых областях чистых	милл. кв. м	милл. кв. м
120	23 кв.	Пасор в Асуэно;	Пасор в Асуэно
263	2-я кол. сл., 13 кв.	Кампеду ду Борн	Кампеду ду Борн
264	2-я кол. сл., 1 кв.	Мбадигуаша	Мбадигуаша
265	2-я кол. сл., 6 кв.	Кампедуаша	Кампедуаша
266	4-я кол. 1 кв.	Понд Орей	Понд Орей
268	4-я кол. 7 кв.	Ситеса	Ситеса

Изд. 3057. Водохранилища мира