

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ СССР

ВОДОХРАНИЛИЩА, ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРИРОДУ И ХОЗЯЙСТВО, ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ

Доктор географических наук
А. Б. АВАКЯН

В последние два-три десятилетия многие страны начали испытывать трудности в обеспечении потребностей в воде растущего населения, промышленности, сельского хозяйства и транспорта. Возникновение водной проблемы побудило начать согласованные исследования по обширной программе международного гидрологического десятилетия (1965—1974 гг.). Имеется договоренность о продолжении таких исследований, не ограничиваемых каким-либо сроком, в рамках международной гидрологической программы.

В ведущихся сейчас работах существенное внимание уделяется водохранилищам, которые, будучи ключом к решению многих водохозяйственных вопросов, вместе с тем как бы фокусируют противоречия в требованиях отраслей народного хозяйства к водным ресурсам.

Пожалуй, ни один из видов деятельности человеческого общества не вызывал за последние 20 лет столько противоречивых суждений, как создание водохранилищ. В научной литературе и особенно в общей печати были опубликованы сотни статей, в которых говорилось о тех или иных неблагоприятных последствиях для природы и хозяйства, связанных с водохранилищами. И авторы большинства статей были правы. А водохранилища между тем создавались и продолжают создаваться как в СССР, так и во многих других странах. С 1950 г. число водохранилищ на земном шаре утроилось, а объем их возрос в пять раз. За это же время были сооружены все крупнейшие водохранилища мира объемом более 50 млрд m^3 каждое (рис. 1 и 2).

По расчетам, проведенным в Институте водных проблем Академии наук СССР, полный объем созданных и подготавливаемых в настоящее время 10 тыс. водохранилищ земного шара составляет около 5 тыс. $км^3$ (что в четыре раза превышает объем воды, содержащейся одновременно в речных руслах,— 1,2 тыс. $км^3$), полезный объем (объем, используемый в целях регулирования стока) — 3 тыс. $км^3$, площадь водного зеркала —

Рис. 1. Схема размещения крупнейших водохранилищ мира объемом более 10 млрд m^3 . Объем водохранилищ: 1 — от 10 до 25 млрд m^3 , 2 — от 25 до 50 млрд m^3 , 3 — от 50 до 100 млрд m^3 , 4 — более 100 млрд m^3 ; штриховкой в кружках обозначены водохранилища, созданные до 1951 г., сеткой — в 1951—1960 гг., черной заливкой — созданные и находившиеся в стадии подготовки в 1961—1970 гг.

Научные обзоры и сообщения

400 тыс. км³, а с учетом площади озер, находящихся в подпоре,— 600 тыс. км³. Объем некоторых крупнейших водохранилищ мира, созданных за последние годы, сопоставим с суммарным объемом всех водохранилищ Европы (без СССР).

В Советском Союзе по данным кадастра Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева, насчитывается

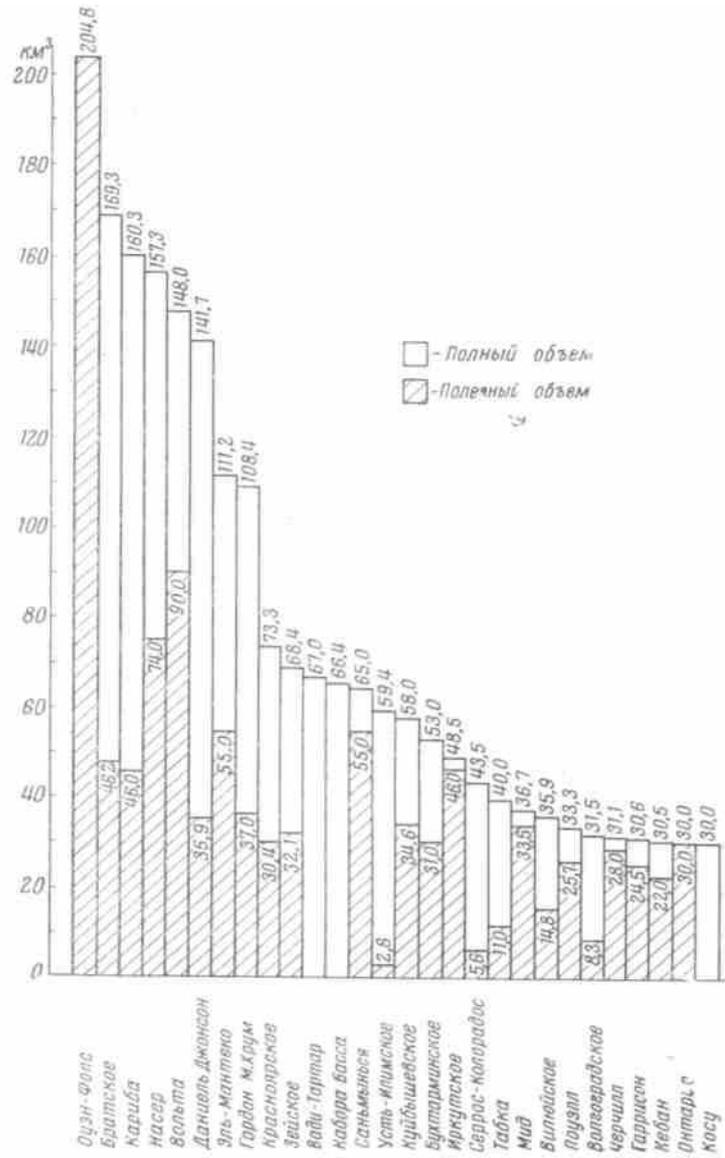


Рис. 2. Полный и полезный объемы крупнейших водохранилищ мира (объемом более 30 км³)

сейчас около 1000 водохранилищ объемом более 1 млн м³ каждое. Их суммарный полный объем 831 км³, полезный — 406 км³, что составляет по отношению к водохранилищам всего мира соответственно около 16% и 13%. Более 98% полного и полезного объема водохранилищ СССР сосредоточено в 150 водохранилищах объемом свыше 100 млн м³.

Число водохранилищ объемом более 100 млн m^3 (на 1970 г.) приближается на нашей планете к полутора тысячам. Это приблизительно 15% общего количества всех искусственных водоемов мира. В то же время суммарный объем водохранилищ емкостью более 100 млн m^3 составляет свыше 80% общего объема воды, аккумулированной в водохранилищах земного шара. Сведения о числе и объеме водохранилищ емкостью более 100 млн m^3 по частям света приведены в таблице.

Части света	Водохранилища объемом более 100 млн m^3		Объем стока, $км^3$	Отношение объема водохранилищ к объему стока, %	Объем воды водохранилищ на 1 жителя, тыс. m^3
	количество	суммарный объем, $км^3$			
Европа	424	486,9	2 844	17,1	0,8
в том числе СССР	95	350,0	1 012	35,0	1,9
Азия	270	1248,1	12 850	10,0	0,6
в том числе СССР	55	462,8	3 208	14,0	7,8
Африка	36	902,4	4 657	20,0	2,6
Северная Америка	605	1100,6	5 388	20,0	3,4
Южная Америка	74	343,9	7 904	4,0	1,8
Австралия вместе с Океанией	48	63,1	1 919	3,0	3,3
Всего	1457	4145,0	35 562	11,4	1,2
в том числе СССР	150	812,8	4 220	19,0	3,4

Водохранилища создаются как в промышленно развитых, так и в развивающихся странах. Так, 20 лет назад в Африке практически не было крупных водохранилищ. Сейчас из пяти крупнейших водохранилищ мира четыре находятся на этом материке. Крупные водохранилища сооружены в Латинской Америке и Азии. В США, где водохранилищ объемом каждое свыше 100 млн m^3 в три раза больше, чем в СССР, в ближайшие 30—40 лет предполагается утроить их суммарный полезный объем. В Японии, стране с исключительно ограниченными земельными ресурсами, темпы роста полного объема водохранилищ очень высоки. Это объясняется тем, что развитие производительных сил на современном этапе и в обозримой перспективе требует перераспределения поверхностного стока во времени и по территории.

Анализ материалов по перспективам создания водохранилищ в СССР и зарубежных странах показывает, что полный объем водохранилищ земного шара возрастет к 2000 г. до 10—12 тыс. $км^3$, полезный — до 6—7 тыс. $км^3$.

К числу важнейших экономических и социальных факторов, определяющих необходимость создания водохранилищ, относятся организация водоснабжения промышленных районов, городов, тепловых электростанций и крупных предприятий; регулирование стока рек в южных, испытывающих дефицит в воде районах с целью орошения и обводнения новых массивов земель и улучшения условий на орошаемых площадях; регулирование стока рек для возможно более полного использования их гидроэнергоресурсов и превращения в глубоководные транспортные магистрали; предотвращение или уменьшение наводнений в долинах рек, характеризующихся резкими колебаниями стока; переброска части стока из водообильных в дефицитные по воде районы; организация зон отдыха вблизи ряда городов и курортов; перерегулирование расходов воды в нижних бьефах некоторых крупных гидроэлектростанций по графикам, удов-

летворяющим требования водного транспорта, ирригации, рыбного хозяйства и лесосплава.

Водоохранилища — особая категория внутренних водоемов со специфическим водообменом, проточностью и сезонными колебаниями уровня. От естественных пресноводных водоемов они отличаются рядом важных особенностей. Водоохранилища резко нарушают относительное равновесие, существующее в природе. Их создание вызывает развитие таких природных процессов, как переформирование берегов и дна, повышение уровня грунтовых вод, всплывание торфяников, изменение климата, характера растительности и т. п., в сильной мере влияет на хозяйство прилегающих районов и в долине реки ниже плотины. Все процессы на разных участках водоохранилищ (в предплотинной зоне, в зоне выклинивания подпора, в заливах) протекают неодинаково. Параметры, режимы эксплуатации, от которых зависит развитие тех или иных процессов в водоохранилище, определяются людьми и, следовательно, направление и интенсивность развития тех или иных природных процессов во многом обуславливаются глубиной и широтой наших знаний.

Влияние крупных водоохранилищ на реки проявляется часто на протяжении всего их течения, охватывая территории в десятки тысяч квадратных километров. Создание водоохранилищ и регулирование ими стока значительно преобразуют естественный гидрологический режим реки, что влечет за собой изменения и многих других природных процессов. Влияние водоохранилищ сказывается также на больших озерах и внутренних морях. Оно проявляется по-разному в различных природных зонах и экономических районах.

Ученые Советского Союза были пионерами в изучении многих проблем, связанных с воздействием водоохранилищ на природные и хозяйственные условия. Комплексные исследования проводились С. Л. Вендровым, Н. В. Буториным, Ю. М. Матарзиным, И. А. Печеркиным, К. И. Российским, В. М. Широковым, автором данной статьи и сотрудниками руководимых ими коллективов. Первая сводка о водоохранилищах мира была составлена М. А. Фортунатовым в конце 50-х годов.

Исследования изменения природных процессов и направлений их развития в верхних бьефах гидроузлов показали, что определяющее влияние здесь имеют размеры водоохранилища, его конфигурация, состав пород, слагающих дно и берега, характер регулирования стока, режим эксплуатации, климатические условия района. Изменения гидрологического режима и природных условий в нижнем бьефе в основном зависят от характера и размеров преобразования стока в многолетнем, сезонном, недельном и суточном разрезе.

Для обеспечения многолетнего регулирования обычно достаточен полезный объем водоохранилища в 20—50% годового стока, для сезонного регулирования — в 8—20%; для рек с очень большой неравномерностью стока эти показатели выше. Водоохранилища многолетнего и сезонного регулирования сглаживают естественную неравномерность стока, а водоохранилища недельного и суточного регулирования, существенно перераспределяющие сток по дням недели и часам суток, резко нарушают относительную его равномерность.

Удовлетворение требований отдельных отраслей водного хозяйства ведет к сработке водоохранилища. В обычных условиях она происходит довольно медленно. До минимальных отметок уровень водоохранилища срабатывается в предполоводный период, в половодье же быстро повышается до отметки НПУ (нормального подпорного уровня).

Существенные изменения претерпевает уровенный режим в нижних бьефах гидроузлов. Изменения эти при прочих равных условиях тем зна-

чительней, чем больше полезный объем водохранилища или неравномернее режим его эксплуатации. Сильнее всего изменения проявляются на незарегулированных участках рек. Сезонное регулирование стока определяет режим уровней нижнего бьефа обычно на протяжении сотен километров. Так, водохранилище Бухтарминского гидроузла оказывает влияние на уровенный режим Иртыша на участке длиной 1500 км. Развитие природных процессов в водохранилищах и нижних бьефах гидроузлов определяется в значительной степени проточностью, изменяющейся в многолетнем и сезонном разрезе. Проточность водохранилищ обуславливает постоянные течения в них, интенсивность турбулентного перемешивания воды, ее минерализацию и аэрацию, формирование температурной стратификации и т. п.

Водоохранилища принципиально отличаются от всех других водных объектов суши генезисом ряда гидрологических процессов, спецификой их проявления на различных участках, особенностями формирования и динамики водных масс и т. д. Для течений в водохранилищах, например, характерна большая зависимость от антропогенных факторов (режим сработки полезного объема). В водохранилищах совершенно иной волновой режим: если высота волн на реке обычно не превышает 0,5—0,75 м, то на многих водохранилищах она достигает 3 м и более. По термическому режиму они также значительно отличаются — от рек неоднородностью температуры воды, от озер отсутствием закономерного изменения температур с глубиной и довольно высокой температурой придонных слоев воды, что объясняется ее перемешиванием ветровыми и русловыми течениями.

Перерегулирование стока водохранилищами отражается на термическом режиме и нижних бьефов гидроузлов. Осенью из водохранилищ в нижние бьефы поступает более теплая (по сравнению с температурой воды до зарегулирования стока) вода, а весной, в связи с медленным прогревом, более холодная вода. Создание водохранилищ приводит к увеличению испарения, поскольку испарение с водной поверхности больше, чем с суши. Так, например, испарение с водной поверхности превосходит испарение с суши в районе Горьковского водохранилища на 100 мм, Куйбышевского — почти на 400 мм, Волгоградского — на 800 мм.

Водоохранилища изменяют ледовый режим в верхних и нижних бьефах гидроузлов. В северных районах СССР образование ледяного покрова на водохранилищах происходит раньше, чем на реках, в средней же полосе и южных районах — несколько позже. Зимой, в нижних бьефах гидроузлов под влиянием более теплых вод, поступающих из водохранилищ, образуются незамерзающие участки — майны, протяженность которых иногда достигает нескольких десятков километров.

Для водохранилищ характерен специфический гидрохимический и гидробиологический режим, по своим особенностям более близкий к озерному, чем к речному. Химический состав воды и его сезонные колебания тоже совершенно иные. Затопленные почвы, торфяники, растительность пополняют воду водохранилищ азотом, фосфором, железом, органическими веществами. Эти элементы поступают также вместе с речным стоком с водосборной площади, из промышленных сбросов, из подземного стока, с осадками и в результате размыва берегов. Органическими веществами водохранилища обогащаются и за счет жизнедеятельности микроорганизмов, синтезирующих эти вещества из неорганических. Малые скорости течения воды в водохранилищах приводят к осаждению в них больших количеств биогенных веществ, тогда как в реках почти весь биогенный сток проходит транзитом в их низовья.

Вследствие сильного обогащения воды органическими веществами

содержание в ней углекислоты увеличивается, а растворенного кислорода уменьшается. Наиболее отчетливо это проявляется при зимней сработке водохранилища. Снижение количества кислорода наблюдается также летом в ночное время в периоды бурного роста микроскопических водорослей — так называемого «цветения» воды. Эти водоросли днем насыщают воду кислородом, а ночью поглощают его. Высокое содержание биогенных веществ в воде, в затопленных почвах и растениях способствует интенсивному развитию растительных и животных организмов, особенно в первые годы после создания водохранилищ, когда вода наиболее богата биогенными веществами.

Изменения химического состава воды и специфика гидробиологических процессов, протекающих в водохранилищах, неизбежно влияют на гидрохимический и гидробиологический режимы участков рек, расположенных ниже гидроузлов. Существенное влияние на эти режимы оказывает уменьшение площади весенних разливов, в связи с чем снижается смыв с пойменных земель растворенных веществ.

С созданием водохранилищ изменяется режим движения наносов. Характер и размеры этих изменений зависят от многих факторов. В результате процессов эрозии, аккумуляции, всплывания торфяников и т. п. в водохранилищах происходит коренная «перестройка» подводного рельефа. Водоохранилища, созданные на горных реках, если не принимать своевременно соответствующих мер, могут быть заполнены наносами в течение нескольких десятков лет, а иногда и быстрее. Осаждение в водохранилищах наносов отражается на режиме твердого стока в нижних бьефах. Так, твердый сток р. Куры после создания Мингечаурского водохранилища уменьшился ниже гидроузла на 70 %.

В водохранилищах происходит сложная трансформация речных водных масс и формирование собственных. Основные характеристики водных масс весной, летом, осенью и зимой, так же как и общие закономерности их размещения довольно постоянны.

Водоохранилища оказывают чрезвычайно многообразное влияние на природные условия территорий, прилегающих к ним и к реке в нижнем бьефе гидроузла. Это влияние может проявляться прямо и косвенно, может быть положительным и отрицательным, постоянным и временным. Наибольшее значение для жизни населения и хозяйства на прилегающих территориях имеют повышение уровня грунтовых вод, переформирование берегов и изменение климатических условий. Следствием этих процессов является изменение почвенно-растительного покрова, животного мира и санитарно-гигиенических условий.

На основе многолетних исследований, проведенных в Институте географии Академии наук СССР С. Л. Вендровым и работавшими под его руководством сотрудниками, выделены три полосы влияния водохранилищ:

1. Полоса непосредственного воздействия гидрологических, гидрогеологических и климатических факторов. Сюда входят зоны временных затоплений, повышения уровня грунтовых вод, переформирования берегов. Существенные изменения природных условий происходят здесь уже в течение первых лет после создания водохранилища. Ширина этой полосы на крупных водохранилищах — от 0,3 до 1,5 км.

2. Полоса систематического активного климатического влияния. Ее ширина в разных природных зонах колеблется от 1,5 до 10—12 км. На некоторых участках водохранилищ эта полоса включает и зону повышения уровня грунтовых вод. Там, где это имеет место, изменения в почвенном и растительном покрове проявляются резче и быстрее, нежели в тех местах, где сказываются только климатические изменения.

3. Полоса ослабленного эпизодического климатического влияния (до 40-50 км).

Таким образом, значительные изменения природных условий в прибрежной зоне крупных водохранилищ происходят лишь в узкой полосе (не более 1—1,5 км от уреза воды).

Решая многие водохозяйственные проблемы, устраняя или смягчая противоречия, возникающие по мере развития водного хозяйства, водохранилища вместе с тем порождают новые противоречия. Эти противоречия возникают между отраслями водного хозяйства, предъявляющими зачастую разные требования к параметрам водохранилищ, степени регулирования стока, подготовке ложа водохранилищ, режиму их эксплуатации, времени создания, условиям первоначального наполнения, к местоположению и составу сооружений гидроузла, к характеру, объему и срокам осуществления сопутствующих мероприятий и т. п. Ряд противоречий возникает внутри некоторых отраслей хозяйства, поскольку, за исключением гидроэнергетики, создание водохранилищ имеет для них не толт-ко положительные, но и отрицательные последствия.

Внутриотраслевые противоречия особенно отчетливо прослеживаются в требованиях, предъявляемых к водным ресурсам водохранилищ и к режимам попусков и уровней в нижних бьефах гидроузлов. Так, рыбному хозяйству необходимы максимальные попуски весной для обеспечения нереста полупроходных рыб в низовьях и дельтах рек. Эти попуски могут производиться в основном за счет сработки водохранилищ, что вызывает осушение нерестилищ туводных (местных) рыб. Повышенные навигационные попуски для увеличения глубин ниже гидроузла уменьшают гарантированные глубины на судоходных трассах, проходящих по водохранилищу, и на подходах к портам и пристаням. Однако внутриотраслевые противоречия наблюдаются и на самом водохранилище. Например, для водного транспорта наряду с рядом положительных сторон (увеличение глубин, увеличение радиусов закруглений и ширины судового хода и т. п.) возникают такие помехи, как резкое увеличение волнения, уменьшение безледоставного периода и др.

Водоохранилища рассматривались и, к сожалению, до сего времени рассматриваются отдельными специалистами лишь с точки зрения интересов той или иной отрасли. Этим, в частности, объясняются и предложения о строительстве объектов, более важных и нужных отдельной отрасли, а не народному хозяйству в целом. Между тем, все, что было сказано нами о водохранилищах, говорит о том, что при рассмотрении вопросов их создания и комплексного использования требуется системный подход.

При создании водохранилищ и в процессе их эксплуатации должны изучаться и анализироваться многообразные и многосторонние последствия предлагаемых проектных решений (выбор параметров, мероприятий по подготовке, режима эксплуатации, способа использования мелководий и т. п.). Каждое крупное водохранилище должно рассматриваться одновременно как «склад» ценнейшего ресурса — воды; регулятор стока, преобразующий режим реки в целях наиболее полного удовлетворения потребностей отраслей хозяйства в воде; объект, существенно изменяющий исходные качества воды; источник и аккумулятор энергии для гидроэлектростанции; акватория, используемая в целях рекреации, рыбного хозяйства, водного транспорта; потребитель земли (затопление, подтопление, переработка берегов) и объект (многие из водохранилищ), создающий возможность вовлечения в сельскохозяйственный оборот ныне не используемых земельных ресурсов (ирригация, борьба с наводнениями и т. п.); объект, вносящий существенные изменения в природу и хозяйство речных долин, озер, приустьевых участков морей.

Современное состояние проблемы позволяет сформулировать общие принципы, которыми, по нашему мнению, следует руководствоваться при проектировании и обосновании народнохозяйственной целесообразности создания водохранилищ. Прежде всего это обязательное проведение всесторонних, детальных и заблаговременных исследований народнохозяйственного значения водохранилища и его экономической эффективности. Нужно в полной мере учитывать все его положительное и отрицательное воздействие на природу и хозяйство не только в период заполнения и в первые годы эксплуатации, но и в прогнозируемой перспективе. Причем это касается не только прилегающих районов, но и удаленных акваторий и территорий (участков рек, расположенных ниже гидроузлов, в некоторых случаях вплоть до приустьевых районов озер и морей).

Необходимы обязательная разработка и осуществление комплексного проекта мероприятий по подготовке водохранилища (переселение жителей и вынос строений и сооружений, инженерная защита наиболее ценных объектов, санитарная подготовка ложа, мероприятия для транспортного и рыбохозяйственного освоения водохранилищ и т. п.). На основе системного подхода должны изучаться и анализироваться многообразные и многосторонние последствия предлагаемых проектных решений. Проекты водохранилищ нужно разрабатывать на базе схем районных планировок, которые в свою очередь должны учитывать возможность создания водохранилищ. На первое место надо ставить общеэкономические, социальные и природоохранные факторы. Особое внимание следует уделять сохранению экологического равновесия, качеству воды и максимально возможному уменьшению затопления ценных земель. В проектах должны разрабатываться акваториальное планирование и мероприятия, обеспечивающие использование всех зон водохранилища (включая мелководья) и прибрежных территорий, а также инженерное обустройство.

Каждое водохранилище необходимо рассматривать с учетом динамики различных антропогенных и природных факторов, и в первую очередь развития гидротехнического строительства в бассейне реки и возможных межбассейновых перебросок стока. Предпосылки создания водохранилищ, их параметры, мероприятия по подготовке, режим эксплуатации — это звенья единой цепи, где все тесно взаимосвязано и взаимообусловлено.

Создание водохранилища может быть признано целесообразным в случае, если суммарный положительный эффект в группе отраслей водного хозяйства (или одной отрасли), в интересах которых оно проектируется, перекрывает за расчетный срок окупаемости затраты на его подготовку и эксплуатационные издержки во всех отраслях хозяйства, для которых оно будет иметь отрицательные последствия. Однако окончательное решение о сооружении водохранилища должно приниматься только после выявления, оценки и учета также всех положительных и отрицательных внеэкономических факторов (здоровье населения, сохранение природных достопримечательностей, исторических и прочих памятников и т. п.).

Исходя из задач, во имя которых будут сооружаться водохранилища, и учитывая природные условия в районах их возможного строительства, мы полагаем, что в перспективе будут создаваться преимущественно средние и небольшие водохранилища, призванные разрешать многие водохозяйственные проблемы в бассейнах средних и небольших рек. В ряде случаев, наряду с комплексными водохранилищами, возможны отраслевые водохранилища, преимущественно водоснабженческие, рекреационные, ирригационные и энергетические.

Крупные водохранилища, с площадью водного зеркала более 1000 км^2 , после заполнения подготавливаемых в настоящее время водохранилищ на Волге, Каме, Днестре и некоторых сибирских реках, будут создаваться,

в порядке исключения, на трассах перебросок стока северных рек в южные районы страны и на некоторых больших реках Восточной Сибири и Дальнего Востока в целях использования их гидроэнергетических ресурсов и борьбы с наводнениями.

Создание сверхкрупных (гигантских) водохранилищ типа Нижне-Обского и Нижне-Ленского представляется в настоящее время мало реальным. То же можно сказать о непрерывных каскадах на большинстве рек, в бассейнах которых ведется гидротехническое строительство. Это объясняется, с одной стороны, постоянным возрастанием ценности земель и интенсивной застройкой долин рек, из-за чего сооружение водохранилищ с каждым десятилетием становится все дороже и, с другой,— прогрессом в области тепловых и атомных станций и линий электропередач, а также быстрым развитием всех видов транспорта, что снимает необходимость стопроцентного использования гидроэнергетического потенциала и создания «любой ценой» водных путей.

Научные исследования, связанные с водохранилищами, начались сравнительно недавно. Сложные закономерности развития этих водных объектов, существенные и многосторонние изменения, вносимые ими в природу и хозяйство, наконец, большие затраты на них, обуславливают необходимость фундаментального и целенаправленного изучения проблем создания и комплексного использования водохранилищ.

Основными задачами в рассматриваемой области должны быть исследования, направленные на сохранение качества воды при одновременном повышении полезной биологической продуктивности водохранилищ; выяснение закономерностей влияния водохранилищ на природные и хозяйственные условия в верхних и нижних бьефах гидроузлов; изучение вопросов комплексного использования существующих водохранилищ в целях достижения максимального народнохозяйственного эффекта; разработка методологических и методических вопросов определения эффектов и ущербов, которые вызываются созданием и эксплуатацией водохранилищ. Для качественного скачка в наших знаниях о водохранилищах, наиболее эффективной их эксплуатации необходимо организовать на водохранилищах, расположенных в разных природных зонах, стационарные и экспедиционные многолетние комплексные научные исследования с использованием возможностей, предоставляемых современной наукой и техникой (аэрофотосъемка, изотопы, автоматизированные системы контроля за качеством воды, ЭВМ, математические модели процессов формирования качества воды и экосистем в водохранилищах), проводить на этих водохранилищах различные эксперименты, вплоть до изменения режима уровней, для проверки в производственных масштабах теоретически обоснованных предложений и рекомендаций.

УДК 551.49