

Водохранилища Сибири, водно-экологические и водно-хозяйственные последствия их создания

В. М. САВКИН

*Институт водных и экологических проблем СО РАН
656099 Барнаул, ул. Папанинцев, 105*

АННОТАЦИЯ

Создание водохранилищ на реках связано с изменением природных условий как самой речной системы, так и прилегающих территорий. В статье рассмотрены водно-экологические и хозяйственные последствия преобразования и использования водных ресурсов крупных водохранилищ Сибири. Представленные материалы дают возможность оценить развитие аналогичных процессов при создании других водохранилищ Сибирского региона.

Создание водохранилищ в Сибири, связанное с использованием гидроэнергетического потенциала рек, началось в конце XIX в., когда на р. Березовка Алтайского края было создано водохранилище Зырянской ГЭС [1]. Наибольший размах строительство водохранилищ в Сибири получило во второй половине XX в. В этот период на Иртыше созданы Усть-Каменогорское и Бухтарминское водохранилища, на р. Оби – Новосибирское [2], на Енисее – Красноярское [3], продолжается строительство каскада Ангарских водохранилищ [4]. Данные, характеризующие эксплуатируемые и перспективные водохранилища Оби и Енисея (объемом более 1 км³), приведены в таблице.

Водохранилища Сибири в основном долинного типа. Сравнительно узкие, глубокие, менее плотно населенные и менее освоенные по сравнению с Европейской территорией долины создают предпосылки для строительства высоких плотин и образования очень емких водохранилищ, позволяющих осуществлять многолетнее и сезонное регулирование стока рек, необходимое для обеспечения надежного энергоснабжения потребителей [5].

Горный и предгорный характер рельефа большей части территории Сибири обуславлива-

ет создание водохранилищ со сравнительно низкими показателями затопления земель на единицу напора и мощности гидроэлектростанций. Братское и Бухтарминское водохранилища, имея такую же площадь, как Куйбышевское на Волге, создают напор соответственно в 4 и 2,5 раза больший. Красноярское, Усть-Илимское, Хантайское водохранилища имеют напор у плотин в 4–6 раз больший, чем примерно равные им по площади водохранилища европейской части России: Саратовское, Каховское, Кременчугское, Чебоксарское и Нижне-Камское. В связи с большой величиной подпора длина водохранилищ в Сибири, как правило, значительна: до 565 км у Братского, до 350–470 км у Красноярского, Богучанского, Бухтарминского, до 200 км у Новосибирского и Хантайского водохранилищ [6].

Максимальная ширина некоторых сибирских водохранилищ достигает 30 км, примерно такая же, как у крупных равнинных водохранилищ, но в среднем они уже. Средняя ширина Саянского, Красноярского и Усть-Илимского водохранилищ составляет 2,2–3,5 км, остальных – не более 9–11 км. Ширина Бухтарминского и Иркутского водохранилищ, достигающая 70 км, связана с включением в акватории

Водохранилище	Год создания	Река	Среднегодовой расход в створе, м ³ /с	Созданный подпор, м	Площадь затопления, км ²
Бухтарминское	1960	Иртыш	570	67	3328
Усть-Каменогорское	1957	»	585	42	19,1
Шульбинское (1-я очередь)	1996	»	920	29	480
Новосибирское	1959	Обь	1670	19,8	951
Красноярское	1970	Енисей	2920	100	1757
Саяно-Шушенское	1990	»	1480	222	525
Майнское	1985	»	1500	19	–
Курейское	1990	Курейка	665	70	540
Хантайское	1970	Хантайка	573	50	1820
Катунское*		Катунь	545	170	75,2
Чемальское*		»	545	41	7,9
Крапивинское*		Томь	942	44,7	658
Каменское*		Обь	1570	12	900

этих водохранилищ таких крупных озер, как Зайсан и Байкал.

Единственное крупное равнинное водохранилище Сибири – Новосибирское – в значительной степени улучшило использование водных ресурсов р. Оби для водоснабжения, ирригации и рекреации.

Создание и эксплуатация водохранилищ в Сибири оказали значительное и многообразное влияние на водный режим рек и природную среду прилегающих территорий. Оно проявляется прямо и косвенно, может быть положительным и отрицательным, постоянным и временным.

Направленность, масштаб и глубина изменений природной среды в первую очередь определяются морфометрическими характеристиками водохранилищ и особенностями природных условий региона, которые могут ослаблять или, наоборот, усиливать влияние водохранилища [7–9].

Решая многие водохозяйственные проблемы и устраняя или смягчая противоречия, возникающие или обостряющиеся в связи с хозяйственной деятельностью, водохранилища порождают и новые противоречия: в первую очередь между целью их создания и последствиями для окружающей среды, а также и между отраслями водного хозяйства, предъявляющими разные требования к характеру и степени регулирования стока, к параметрам водоема, подготовке ложа, режиму эксплуатации, времени создания, условиям первоначального на-

полнения, к месту расположения и составу сооружений гидроузла. Возникают и внутриотраслевые противоречия, поскольку (за исключением гидроэнергетики) создание водохранилищ имеет для каждой отрасли водного хозяйства не только положительные, но и отрицательные последствия [10].

В настоящее время в условиях напряженного водохозяйственного баланса, когда воды становится недостаточно для оптимального удовлетворения всех потребностей, нередко происходит смена "лидера", как бы получающего право на первоочередное удовлетворение запросов на воду [11]. Новосибирское водохранилище было запроектировано прежде всего для выработки электроэнергии и для поддержания судоходных глубин в нижнем бьефе. В настоящее время Новосибирский гидроузел практически потерял энергетическое значение. Острее выявились новые экономические и социальные "лидеры" в использовании водных ресурсов верхнего и нижнего бьефов водохранилища. В их числе: ирригация, водоснабжение, рекреационные интересы населения [12].

Воздействие водохранилищ сказывается на гидрологическом режиме реки в верхнем и нижнем бьефе гидроузлов, иногда распространяясь вниз на несколько сотен километров, на водных и наземных экосистемах, на хозяйственных объектах, на социально-экономических условиях жизни людей и т. д. Водохранилище рассматривается как средство преобразования

Основные показатели существующих и перспективных крупных водохранилищ Оби, Иртыша и Енисея

Полный объем, км ³	Полезный объем, км ³	Площадь водного зеркала, км ²	Протяженность, км	Амплитуда колебания уровня, м	Среднегодовой коэффициент водообмена	Сложившийся ВХК
49,7	30,6	5490	350	7,0	0,35	Э, Т, И, Р, О
0,65	0,17	87	85	5,0	20	Э, Т, П
2,4	1,5	507	100	5,0	12,4	Э, И, Т
8,8	4,4	1070	200	5,0	7,0	Э, И, В, Т, Р, О
73,3	30,4	2000	380	18,0	1,8	Э, Т, И, В, О
31,3	15,3	670	315	40,0	1,5	Э, Т, И
0,1	0,01	14	23	3,0	45	Э, П
9,9	7,3	560	50	20,0	1,9	Э, Р, Л
23,5	17,3	2120	160	13,0	0,8	Э, Р, Л
73	5,83	3,44	87	50	3,03	Э, О
20	0,18	0,02	11,9	1,5	100	Э, П
11,7	11,71	6,70	133	23	3,76	П, Э
5,5	12,8	1000	190	6,5	2,4	И, П, Э, В, Р

Примечание.* – Перспективные водохранилища Обского бассейна. Э – энергетика, Т – водный транспорт, И – ирригация, В – водоснабжение, Р – рыбное хозяйство, П – перераспределение стока, Л – лесоплав, О – рекреация.

природы в интересах человека и его хозяйственной деятельности. Так, к числу позитивных изменений в природе и хозяйственной деятельности относятся:

- уменьшение или полная ликвидация таких негативных природных явлений, как наводнения, маловодья, процессы заносимости;
- концентрация и аккумуляция гидроэнергоресурсов;
- перераспределение стока между сезонами и годами различной водности, между днями и часами, создание водных акваторий, улучшение условий судоходства;
- преобразование гидрологического режима в целях регулярного орошения земель, улучшение использования пойменных угодий ниже плотины, защиты их от чрезмерно частых и длительных наводнений;
- вовлечение в хозяйственное использование непродуктивных земель путем аккумуляции на них водных ресурсов и создание продуктивной в ряде случаев водной среды (рыболовство и рыбоводство);
- улучшение условий водоснабжения населения, особенно в маловодные годы и периоды;
- улучшение природных условий прилегающих территорий: смягчение климата, водное благоустройство.

Наряду с указанным создание и эксплуатация водохранилищ вызывает ряд нежелательных и, как правило, неизбежных нарушений

природной среды [13]. Наиболее ощутимыми и заметными отрицательными последствиями создания и эксплуатации водохранилищ для природной среды являются:

- затопление продуктивных пойменных земель, иногда остепнение пойменных угодий нижнего бьефа;
- переформирование берегов водохранилищ, размывы русла и берегов нижнего бьефа;
- повышение уровня грунтовых вод, заболачивание и подтопление земель;
- изменение почвенного и растительного покрова под влиянием подтопления;
- изменения микроклимата: усиление ветров, повышение влажности, изменение температурного режима;
- перестройка фауны водоема, изменение условий размножения и обитания водных организмов, особенно рыб;
- замедление водообмена и накопление в донных отложениях загрязняющих веществ;
- снижение самоочищающей способности вод, избыточное развитие синезеленых водорослей.

В последнее время широко обсуждается вопрос влияния высоконапорных водохранилищ на современные тектонические процессы. Как показывает зарубежный опыт, первоначальное быстрое наполнение водохранилищ, иногда смена их наполнения и опорожнения в процессе эксплуатации служат как бы спусковым ме-

ханизмом разрядки накопленной упругой энергии [14]. Однако нельзя считать, что создание водохранилищ в сейсмических районах обязательно должно приводить к активизации сейсмических явлений [15].

Влияние водохранилищ на использование водных ресурсов. Регулирование и использование водных ресурсов большинства крупных водохранилищ Сибири пока в основном направлено на энергетические цели. Зарубежный опыт показывает, что в США уже в 60-х гг. XX в. при освоении гидроресурсов резко возросла комплексность целей использования водохранилищ, а концепция многоцелевого проекта стала наиболее важной. В этом отношении характерным примером может служить плотина Гувера в нижнем течении р. Колорадо. Этот федеральный проект предусматривает использование водохранилища для производства энергии, регулирования стока р. Колорадо, улучшения водоснабжения городов Южной Калифорнии и обеспечения судоходных условий [16].

Как показывает опыт эксплуатации водохранилищ Обь-Иртышского бассейна – Новосибирского и Бухтарминского, требования к характеру регулирования водных запасов не одинаковы со стороны водопользователей как верхнего, так и нижнего бьефов. В настоящее время назрела необходимость рассмотрения правил использования водных ресурсов эксплуатируемых (а тем более проектируемых и строящихся) водохранилищ с учетом решения комплексных водохозяйственных задач и нужд нижних бьефов.

В Новосибирском водохранилище аккумулируется в среднем 13,4 % притока, а в зависимости от водности года это соотношение изменяется от 9 до 18,5 %. Однако даже такая незначительная зарегулированность стока значительно улучшила санитарные условия реки у г. Новосибирска, положительно сказалась на работе водозаборов города в меженные периоды. Минимальные зимние расходы р. Оби у г. Новосибирска повысились со 190 (в естественном состоянии) до 450 м³/с (в зарегулированном). Навигационные расходы реки в период летне-осенней межени увеличились соответственно с 750 до 1300 м³/с.

Существенная роль в использовании водных ресурсов Новосибирского водохранилища

принадлежит оросительно-обводнительным мероприятиям. Пущен в эксплуатацию Кулундинский канал с забором воды у г. Камень-на-Оби, производительностью 23 м³/с. Строится Бурлинская оросительная система с водозабором из верхней части водохранилища производительностью 31 м³/с. В нижней части водохранилища действуют Чеминская и Ирменская оросительные системы с заборами воды 10 и 12 м³/с, общее годовое водопотребление которых составляет 0,2 км³. В целом безвозвратное изъятие воды из Новосибирского водохранилища в 2000 г. может достигнуть 1,5 км³, или около 30 % полезной емкости.

Одной из причин, обостряющих водохозяйственную обстановку на Новосибирском водохранилище, являются увеличенные (по сравнению с проектными) попуски в нижний бьеф для обеспечения нормальных условий работы городских водозаборов и поддержания судоходных глубин. Если в первые годы существования водохранилища урвненный режим реки в нижнем бьефе определялся в основном существенными уровнями размыва русла при установленных расходах воды, то позднее деформация русла и понижение уровня были вызваны карьерными разработками нерудных строительных материалов. Общее понижение уровня воды в русле реки у г. Новосибирска превысило 100 см, а в 2000 г. может еще увеличиться на 35–40 см [17].

Наполнение и нормальная эксплуатация Красноярского водохранилища совпали с началом длительного периода природного маловодья. Как показывает 25-летний опыт его эксплуатации, водохранилище наполняется в течение длительного времени весеннего и летнего периодов, максимальных отметок уровень достигает к сентябрю и держится очень короткое время (порядка декады). Характер сработки и пополнения водных ресурсов Красноярского водохранилища показывает, что предусмотренное проектом сезонное регулирование его водных запасов практически перешло в многолетнее [18].

Водные ресурсы Красноярского водохранилища в основном используются для целей энергетики. На водоснабжение для промышленно-коммунальных нужд, орошение сельскохозяйственных угодий и рыбохозяйственные цели ежегодно забирается не более 0,5 км³, или

около 2 % полезной емкости. В перспективе возможно изъятие части водных запасов водохранилища для увеличения водности р. Чулым и развития водного хозяйства КАТЭКа [19]. Однако следует учитывать на перспективу возрастание потребностей водопотребителей и водопользователей Красноярского водохранилища: стабильность выработки энергии ГЭС, обеспечение гарантированных судоходных и санитарных попусков в нижний бьеф, увеличение заборов воды из водохранилища на ирригацию и водоснабжение.

В связи с энергетической направленностью использования водных ресурсов Красноярского водохранилища корректировка использования его запасов для остальных участников водохозяйственного комплекса, в частности для рыбного хозяйства, затруднена. Однако возможна организация для подращивания молоди, рыбопитомников и регулирования уровня режима отдельных крупных заливов в целях создания условий для размножения рыб. Но до настоящего времени мелководья и заливы Красноярского водохранилища, составляющие при НПУ 15 % площади его акватории, практически не осваиваются. Между тем возможно и целесообразно регулирование уровня режима таких крупных заливов, как Сыда, Черная речка, Саргаш и других, расположенных в верхней и средней частях водохранилища.

Проблемы комплексного использования водных ресурсов Красноярского водохранилища свойственны и Саяно-Шушенскому, режим эксплуатации которого сильно осложнен 40-метровыми колебаниями уровня воды. В связи с этим в зоне переменного подпора верховьев Саяно-Шушенского водохранилища целесообразно проведение ряда компенсационных мероприятий для хозяйственного освоения прилегающих территорий, и особенно Шагонарского расширения. Здесь возможна организация локального регулирования уровня режима на мелководных участках с помощью оградительных плотин и шлюзов, что позволит осуществить рыбоводство, восстановить плодородие засушливых земель и развивать сельскохозяйственное производство, а в итоге более экономично использовать зону затопления. Эти мероприятия не повлияют на энергетические показатели водохранилища, но позволят получить существенное увеличение сельскохозяйствен-

ной и рыбной продукции в ранее засушливых и безводных районах Тувы. Река Енисей ниже плотины Саяно-Шушенской ГЭС характеризуется значительными колебаниями уровня режима вследствие неравномерных сбросов ГЭС в течение суток. Для выравнивания водного режима реки и получения дополнительной энергии в качестве контррегулятора создано Майнское водохранилище.

При создании каскада ангарских водохранилищ в основном преследовались энергетические цели. Однако уже первенцем каскада, Иркутской ГЭС, и водохранилищем с озером Байкал осуществлена уникальная зарегулированность стока р. Ангары, что в значительной мере обусловило экономические выгоды от равномерного распределения стока внутри года [20].

Братское водохранилище служит не только источником энергии, но и значительно влияет на улучшение условий судоходства и лесосплава в нижнем течении Ангары и в среднем течении Енисея. Его водные запасы используются и для водоснабжения Братского промышленного комплекса, рыбного хозяйства, рекреации.

Следует отметить, что дефицит водных ресурсов в сибирских водохранилищах проявлялся неоднократно, но особенно в 1981–1982 гг., когда наряду с маловодьем рек Обского бассейна произошло понижение уровней воды в оз. Байкал и на водохранилищах Енисея и Ангары. Это вызвало значительное затруднение в выработке электроэнергии, работе речного флота, сельском и рыбном хозяйствах, водоснабжении, лесосплаве. Выявляются две основные причины маловодья: первая связана с вековой цикличностью колебания стока рек, вторая (для Ангаро-Енисейского бассейна) обусловлена преждевременной сработкой уровня оз. Байкал и водных запасов Братского водохранилища [21].

В целом состав компонентов водохозяйственных комплексов, их относительная роль в использовании водных ресурсов и акватории водохранилищ в значительной мере влияют на направленность и масштабы изменения природных компонентов окружающей среды в верхних и нижних бьефах гидроузлов [15].

Влияние водохранилищ на природу прилегающих территорий. Характер воздействия водохранилищ на природу определяется их параметрами и морфологией. Так, площадь во-

дно зеркала, линейные размеры (длина, ширина, глубина) и конфигурация водохранилищ в плане определяют прежде всего размеры затопления земель, интенсивность переформирования берегов, величину испарения воды, а также вносят изменения в гидрографию и ландшафт территорий. Величина полного объема влияет прежде всего на изменение микроклимата, гидробиологические процессы, а в некоторых случаях – на геодинамические (сейсмические) условия региона.

Глубина водохранилища наряду со значительным ее влиянием на гидрохимический и гидробиологический режимы водоема во многом определяет гидрогеологические процессы береговой зоны (величину подпора грунтовых вод, потери на инфильтрацию), а также процессы формирования берегов и ложа водохранилища.

Проблема изменения природной среды в результате создания водохранилищ исследована в целом недостаточно и очень неравномерно как по разным компонентам природной среды, так и по различным географическим зонам. В большинстве зарубежных стран исследуются только отдельные водохранилища или их группы, при этом обычно рассматриваются отдельные аспекты общей проблемы. Так, на ряде водохранилищ США и Индии подробно исследовалось заиление, на водохранилищах Африки – термический режим и изменение санитарно-гигиенических условий жизни людей, на ряде других водохранилищ мира – изменение геодинамических (сейсмических) условий [22].

Уровень и масштабы исследований в нашей стране по большинству аспектов объективно следует считать более высокими, о чем свидетельствует большинство публикаций [23].

Затопление земель водохранилищами. По удельным показателям затопления земель водохранилища Сибири относятся к сравнительно благоприятным в связи с тем, что большинство из них созданы в предгорных и горных районах. Однако долины рек рассматриваемой территории, особенно в слабо освоенных районах, являются наиболее обжитыми участками, поэтому потери земель при их затоплении являются весьма ощутимыми (Новосибирское водохранилище, частично Красноярское), а масштабы нарушения хозяйства имеют более существенные относительные последствия, чем в других регионах.

Существующими крупными водохранилищами Сибири (объемами более 1 км^3) затоплено около $0,5 \cdot 10^6$ га сельскохозяйственных земель (27 % от общей площади затопления) при среднем показателе затопления сельскохозяйственных угодий по стране 31 % [1].

Малоизученным вопросом является влияние повышения базиса эрозии при создании водохранилищ на гидроморфизацию пойменных ландшафтов. Подобное явление наблюдается, например, на притоках Саяно-Шушенского и Майнского водохранилищ, где повышение базиса до 200 м формирует новые гидроморфные геосистемы [24]. Эти изменения отражаются на характере использования пойменных земель в сельскохозяйственных целях.

В связи с концентрацией населения в долинах рек при подготовке ложа Красноярского и Братского водохранилищ было переселено жителей больше, чем при подготовке ложа водохранилищ европейской части страны – Горьковского, Каховского и Цимлянского [25]. Отмечается также миграция населения из зон затопления в города, в связи с чем при создании водохранилищ енисейского каскада сельскому хозяйству Красноярского края был нанесен значительный ущерб [26].

Особое место при затоплении земель водохранилищами занимает проблема мелководий. В Сибири наибольшие площади мелководий у Новосибирского и Хантайского водохранилищ (от 14 до 20 %), Курейского (около 8 %). В предгорных и горных районах площади мелководий меньше. Так, на Саяно-Шушенском – это 1,4 %, на Красноярском – около 5 %. С мелководьями связаны такие отрицательные последствия, как: потеря затопленных земель, их заболачивание, непродуктивное испарение, бурное развитие водной растительности, ее гниение и ухудшение качества воды, неблагоприятные санитарно-гигиенические условия, промерзание мелководий зимой и гибель в это время рыбы. В то же время мелководья – это места воспроизводства рыбных запасов, где высшая водная растительность играет роль биофильтров.

Главным недостатком гидротехнического строительства в Сибири является крайне недостаточная подготовка ложа водохранилищ к затоплению, практическое отсутствие лесосводки и лесоочистки. Запасы древесины в зоне затопле-

ния сибирских водохранилищ весьма значительны. Так, в зоне затопления Братского водохранилища запасы древесины составляли 36 млн м³, Саяно-Шушенского – 3,7, Вилюйского – 16,7, Курейского – 1,7, Богучанского – 12,1 млн м³ [1]. Наличие таких объемов древесины оказало неблагоприятное воздействие на качество воды в водохранилищах, рекреацию, судоходство, работу ГЭС. Засорение лесом ложа и акватории водохранилищ должно быть отнесено к бесхозяйственности и несоординированности работы различных ведомств [27].

Впервые в Сибири в значительной степени проведена лесочистка зоны затопления Богучанского водохранилища, где было сведено $10,7 \cdot 10^6$ м³ хвойных и лиственных пород леса [28].

Существенное влияние на качество воды в водохранилищах наряду с древесиной оказывают затопление, последующее всплытие и разрушение торфяников. Известно, что борьба с неблагоприятными последствиями всплытия торфяников на водохранилищах европейской части потребовала значительных затрат.

На эксплуатируемых водохранилищах Сибири площади затопления торфяников сравнительно небольшие. Новосибирское водохранилище затопило 91 км² торфяников, при этом ожидалось всплытие примерно 72 км². Особенно интенсивно происходило всплытие во второй год существования водохранилища [29]. Плавающие торфяники, особенно в первое время их появления, осложняли работу ГЭС, так как торф забивал сороудерживающие решетки водоводов турбин. Частично торфяники сбрасывались через водосливную плотину в нижний бьеф, большая же часть их течениями и ветровыми волнами прибывала к берегу и за периоды штормов превращалась в торфяную крошку [30]. На Иркутском водохранилище наблюдалось всплытие торфяников без полного отделения грунта, при этом наблюдались плавающие острова площадью 100–300 м².

Широкое распространение торфяные отложения имели в зоне затопления Вилюйского водохранилища, где было затоплено 60 км² торфяных залежей, из которых 50 % относилось к категории всплывающих. Водами Хантайского водохранилища затоплено 330 км² торфяников, из которых к всплывающим отнесено около 67 % [4].

Оттаивание и всплытие торфяников на водохранилищах севера Сибири продолжалось около 10 лет, при этом сплавины прибывали к берегу и разрушались волнением. Все это способствовало формированию торфяных берегов, становление которых представляет собой длительный процесс [31].

На Курейском водохранилище прогнозируется всплытие 33 % торфяников общей площадью 17,13 км², на Братском – 0,5–0,7 км² и мощностью торфа 0,4–0,8 м при максимальной до 2 м. Богучанское водохранилище затопляет 144 месторождения торфа площадью 95 км², из них около 15 км² – всплывающие.

Изменение гидрологических условий рек.

Развитие внутриводоемных процессов в водохранилищах происходит в тесной связи и взаимодействии с гидрологическими, климатическими и инженерно-геологическими явлениями. За период эволюции водохранилища проходят две основные стадии: становления и стабилизации.

Стадия становления в крупных водохранилищах хотя и отличается бурным развитием внутриводоемных процессов, но продолжительность ее незначительна; при этом иногда возникает переходная стадия от становления к стабилизации. В стадии стабилизации изменения во внутриводоемных процессах обычно связаны с цикличностью водности рек и резкими изменениями в характере регулирования водных ресурсов водохранилищ.

Из числа гидрологических изменений наиболее существенными являются [32]:

- повышенный объем испарения с водной поверхности, особенно за летний период. Объем ежегодного испарения для Новосибирского водохранилища составлял в среднем за первые 10 лет его эксплуатации около 10 % от полного объема, для Вилюйского эта величина составляет 5 %;

- наличие значительного ветрового волнения, особенно осенью, когда скорости ветра наибольшие. Волны до 3,0 м могут иметь место при сильных ветрах на Вилюйском и Хантайском водохранилищах. На Новосибирском водохранилище наблюдали волны 3,2 м, на Красноярском – 2,5 м;

- сокращение продолжительности безледоставного периода на водохранилищах по срав-

нению с рекой. На водохранилищах ледоход обычно отсутствует, происходит некоторый сдвиг во времени замерзания и вскрытия водоемов;

– резкое осветление воды в водохранилище и понижение мутности в 5–7 раз по сравнению с речными условиями. Максимальная прозрачность воды в сибирских водохранилищах 5 м и более.

– резкое снижение скоростей течения. В глубоководных водохранилищах течение замедляется в 8–10 раз по сравнению с рекой до ее зарегулирования, возникают виды течений, которые до создания водохранилищ не имели места (ветровые, дрейфовые, компенсационные и т. д.);

– значительные изменения в уровненом режиме водохранилищ. Особенно это проявляется при сильных штормах, когда перекосы уровней водной поверхности могут достигать 1,5 м (Братское, Хантайское и др.). В то же время наличие районов, где располагаются оси равновесия, позволяют при значительных перекосах водной поверхности выделить участки, где уровень воды остается практически постоянным;

– изменения температурного режима. Так, в зимний период в глубоководных Красноярском, Вилюйском, Братском и других водохранилищах создаются условия обратной стратификации с придонными температурами +4 °С. В летний период возникают интенсивное прогревание и перемешивание поверхностных слоев, формируется значительный слой скачка. Весной и осенью наблюдается, как правило, гомотермическое состояние водной массы. Особенно существенные изменения в термике при создании предгорных водохранилищ – Саяно-Шушенского, Красноярского;

– изменение режима твердого стока: водохранилища являются аккумуляторами твердого стока как основной реки, так и притоков, впадающих на участке водохранилища. Обычно водохранилища задерживают до 90–95 % от всех поступающих наносов. При оценках баланса наносов сибирских водохранилищ выяснено, что 40–50 % его приходной части составляют продукты обрушения берегов. Это обуславливает интенсивность процессов занесения мелководных зон, приводит к сокращению полезной призмы водохранилищ. После первых 10 лет существования Новосибирского водо-

охранилища его полезный объем сократился на 2,2 %, после 15 лет – до 3,5 %. Общий объем поступления в водохранилище грунта составил за это время 0,17 км³.

В естественных условиях рек наибольшее количество наносов отмечается во время весеннего половодья, а после создания глубоководных водохранилищ – на несколько месяцев позже. На Красноярском водохранилище период запаздывания составляет 2,0–2,5 мес, для более мелководных водохранилищ Сибири он не превышает 1 мес. В целом после создания крупных водохранилищ Сибири твердый сток изменился на достаточно большом протяжении. Изменения твердого стока проявляются не только в районе переменного подпора верхнего бьефа, но и в пределах самого водохранилища, а также на значительном протяжении нижнего бьефа. После создания Новосибирского водохранилища твердый сток в средней Оби был преобразован на протяжении 800 км, а в результате создания Красноярского водохранилища изменения в твердом стоке Енисея отмечены на протяжении 1600 км;

– замедление водообмена в речных системах. Оно обусловлено ликвидацией паводочного режима и снижением скоростей течения воды в русловой сети.

В настоящее время по большинству водохранилищ сделаны оценки показателей водообмена [33, 34], произведен сравнительный анализ характера водообмена для крупных водохранилищ. Материалы показали, что замедление водообмена приводит к коренным изменениям гидрохимических и гидробиологических процессов, совместно с режимом регулирования водных запасов оказывает большое влияние на твердый сток, обуславливает снижение самоочищающей способности рек, определяет температурные характеристики верхнего и нижнего бьефов. Водообмен во многом определяет основные гидрологические особенности водохранилища, является интегральным показателем интенсивности взаимодействия поверхностных вод с природной средой.

Наименьшие коэффициенты водообмена, как правило, у глубоководных водохранилищ многолетнего регулирования стока. Наименьшей проточностью обладают Бухтарминское, Вилюйское и Братское водохранилища. Наибольшие коэффициенты водообмена у водохранилищ сезонно-

го регулирования стока с небольшой регулирующей емкостью – Новосибирского, Курейского. Средний водообмен Новосибирского водохранилища составляет 7,0, в маловодные годы происходит 5-кратная, в многоводные годы – 9,1–9,6-кратная смена водных масс.

Влияние водохранилищ на качество вод.

Формирование качества воды в водохранилищах является сложным и многогранным процессом, зависящим от комплекса разнообразных факторов, связанных как с функционированием водных экосистем, так и с условиями ложа водоема и прилегающих ландшафтов. На показатели качества воды существенно влияют водность года, положение водохранилища в каскаде, сезонная и суточная динамика внутриводоемных процессов, связанных с действием как физико-химических (температура, прозрачность, процессы сорбции, десорбции, седиментации, выщелачивания и др.), так и биологических факторов (численный и видовой состав гидробионтов, их миграция, функционирование и др.).

Многим сибирским водохранилищам свойственно ухудшение качества воды не столько из-за плохой подготовки ложа, замедления водообмена и снижения процессов самоочищения, сколько вследствие сброса в них неочищенных сточных вод, загрязнения их водосборной территории.

По сравнению с водохранилищами Европейской территории, качество воды в сибирских водохранилищах лучше из-за меньшего антропогенного пресса. Однако в связи с усиливающимся хозяйственным и рекреационным освоением побережий и хроническим отставанием мероприятий по отводу и очистке сточных вод качество воды сибирских водохранилищ неуклонно ухудшается.

Так, из сточных вод, поступающих в Красноярское водохранилище, очищается около 74 %, а в нижнем бьефе Майнского водохранилища, где активными загрязнителями являются города Минусинск и Абакан, очищается лишь 14 %. В результате концентрация нефтепродуктов на отдельных участках Красноярского водохранилища достигает 19 ПДК, концентрация меди превышает норму для водоемов рыбохозяйственного назначения в 50 раз [1].

Основным загрязнителем Братского водохранилища является промышленный комп-

лекс, сбрасывающий в водоем значительный объем так называемых условно чистых вод. Существенными загрязнителями практически на всех водохранилищах Сибири являются пансионаты, санатории, базы отдыха.

На верхней Оби влияние сточных вод городов Бийска, Рубцовска, Барнаула прослеживается вплоть до Новосибирска [35]. Загрязнение вод Новосибирского водохранилища происходит как за счет "транзитного стока" Оби, так и за счет рек, впадающих в водохранилище на территории его водосборного бассейна.

Засоренность ложа водохранилищ и недостаточная очистка сточных вод, поступающих в них, создают условия для развития синезеленых водорослей, ускоряющих эвтрофирование водоемов. Свойственные сибирским водохранилищам процессы эвтрофирования протекают в разных водохранилищах с различной степенью интенсивности в зависимости от проточности, температурного режима, морфометрических характеристик, антропогенного воздействия и т. д. На Иркутском водохранилище эвтрофирование водоема началось спустя 20 лет после его затопления. На Усть-Илимском водохранилище полная перестройка в фитопланктоне произошла на четвертый год существования водохранилища и процесс эвтрофирования происходил более интенсивно в зоне влияния сточных вод Братского лесопромышленного комплекса, где была отмечена наибольшая концентрация фитопланктона [36].

При затоплении больших массивов леса в ложе водохранилищ могут образовываться сероводородные зоны, что приводит к ухудшению качества воды. На Вилюйском водохранилище, находившемся в условиях резко континентального климата, продолжительного ледостава и многолетней мерзлоты, отмечался дефицит кислорода уже в первые годы его существования. Наблюдалось наличие сероводорода в придонных слоях, снижение прозрачности, увеличение цветности. Площадь бескислородных участков придонных слоев летом в первый год существования водохранилища составляла 111 км², к третьему году увеличилась до 213 км², при этом на отдельных участках зимой весной и летом в придонных горизонтах было высокое содержание сероводорода, достигавшее 10 мг/л [37]. Дефицит кислорода сопровождался гибелью плотвы, щуки, окуня.

В первые 15 лет существования Новосибирского водохранилища отмечалось высокое содержание в воде таких ингредиентов, как фенолы, нефтепродукты, аммонийный азот, фосфор [38]. Большое количество затопленной органики явилось причиной низкого содержания кислорода в зимний период, что вызвало гибель части гидробионтов, в том числе рыб. Уже с первых лет эксплуатации водохранилища отмечалось повышенное содержание ряда ингредиентов в р. Бердь и Бердском заливе, наблюдалось в этом периоде и локальное цветение воды.

В настоящее время в результате естественных и антропогенных процессов эвтрофикации Новосибирское водохранилище находится в мезотрофной стадии, что проявляется в повышенном содержании биогенных элементов: азота, фосфора, железа [39]. Это обуславливает вспышки численности синезеленых водорослей и цветение воды на обширных участках акватории водоема. Происходит смена доминирующих форм фито-, зоопланктона, фито-, зообентоса, рыб. Уменьшается удельный вес форм, типичных для мезо- и эвтрофных водоемов. В целом произошло снижение видовой разнообразия гидробионтов с одновременным увеличением общей численности и биомассы за счет немногих видов. С микробиологической позиции для этой части эвтрофикации Новосибирского водохранилища характерно преобладание бактерий-сапрофитов, активно участвующих в деструкционных процессах, в том числе расщеплении главных органических токсикантов в водоеме – фенолов и нефтепродуктов. Наиболее загрязненными участками водохранилища являются речная зона и залив р. Бердь.

В целом Новосибирское водохранилище играет положительную роль в формировании качества воды. По всей протяженности водохранилища и в его нижнем бьефе наблюдается самоочищение воды от загрязняющих веществ за счет процессов седиментации, деструкции органики, аккумуляции токсикантов в донных отложениях и гидробионтами, при этом седиментация наиболее активно протекает в верхней и средней частях водохранилища, деструкция органики микроорганизмами в зоне переменного подпора, в том числе в речной части наиболее крупного притока р. Бердь и в нижнем бьефе. Аккумуляция

токсикантов гидробионтами наблюдается на водохранилище почти повсеместно.

На основании результатов многолетнего изучения формирования качества воды в Новосибирском водохранилище и его нижнем бьефе можно оценить роль строящегося (законсервированного) Крапивинского водохранилища на р. Томи.

В настоящее время в бассейне Томи сложилась неблагоприятная водохозяйственная и экологическая обстановка. Прогнозы свидетельствуют об увеличении дефицита речного стока по протяженности реки от г. Новокузнецка до г. Томска, ухудшение экологического состояния речной системы. В то же время влияние Крапивинского водохранилища на качество воды нижнего бьефа по содержанию органических и биогенных веществ оценивается как благоприятное. Это обусловлено процессами самоочищения воды в водохранилище, включая процессы осаждения загрязняющих веществ, а также повышением разбавляющих расходов воды в нижнем бьефе в меженные периоды. Следует признать, что отказ от создания Крапивинского гидроузла может привести к обострению водно-экологической ситуации в обширной зоне его влияния. Поэтому решение о дальнейшей судьбе Крапивинского водохранилища должно быть принято на основе тщательного учета всех (как негативных, так и позитивных) последствий его эксплуатации.

Многолетние исследования на водохранилищах Сибири показывают, что влияние физико-химических и биологических процессов на качественный состав поверхностных вод изменяется во времени и определяется соотношением процессов различной направленности, поэтому изменения стока химических веществ реки после прохождения ее вод через водохранилища неоднозначны, в том числе в разные сезоны года.

Загрязнение вод рек и водохранилищ обусловлено переизбытком промышленных, транспортных, коммунальных и сельскохозяйственных стоков. Уровень загрязнения вод на ряде участков рек, даже не зарегулированных водохранилищами, не меньше, а нередко и выше, чем в водохранилищах. Создание водохранилищ приводит к снижению мутности воды, общей цветности, запаха, содержания сапрофитных бактерий и тяжелых металлов. Благодаря

наличию обширных акваторий значительно улучшается аэрация вод, а в связи с большими объемами воды глубина деструкционных процессов в водохранилищах в целом выше, чем в реках, особенно в меженные периоды. Поэтому качество воды по большому набору ингредиентов лучше, чем в реках в естественном состоянии. Однако с современными масштабами загрязнения вод не в состоянии справиться ни реки, ни водохранилища, ни моря, ни даже океаны [40].

Влияние водохранилищ на изменение микроклимата. Над акваторией крупных водохранилищ ГЭС изменяется радиационный баланс, температура воздуха на прилегающих к водохранилищу территориях понижается весной и в первой половине лета (охлаждающее воздействие) и повышается во второй половине лета и осенью (отепляющее воздействие): уменьшаются суточные и годовые температуры воздуха, происходит сдвиг дат перехода температуры воздуха через основные градации. Увеличивается абсолютная и относительная влажность воздуха. Происходит возрастание скоростей и изменение направлений ветра, возникают ветры типа бризов. В период охлаждающего воздействия водохранилищ характерны дневные бризы, в период отепляющего влияния – ночные. Отмечается сильно развитая бризовая циркуляция на Братском водохранилище, где повторяемость бризов составляет 40–50 % от всех сроков наблюдений [28]. Наблюдается повышенное туманообразование, а также увеличение испарения с поверхности водохранилищ.

Изменение микроклимата касается в основном температурно-влажностного режима: уменьшение годовой амплитуды воздуха на мелководных водохранилищах составляет 2–2,5 °С, на глубоководных – до 4,0–5,0 °С в пределах прибрежной полосы от 1 до 4 км. В периоды охлаждения и потепления общие отклонения температурного режима оцениваются в 0,5–1,0 °С [41].

Создание водохранилищ в Сибири привело к некоторому уменьшению континентальности климата побережий, что имеет положительное значение при хозяйственном освоении, однако изменение температуры и увеличение влажности на побережье в зоне избыточного увлажнения, особенно на заболоченных территориях, не приносили положительного эффекта.

Первые годы эксплуатации Саяно-Шушенского водохранилища показали, что изменения микроклимата произошли лишь в узкой полосе склонов долины Енисея и повлияли незначительно на температуру и влажность воздуха в переходный период, смягчив резко континентальный климат побережья в озеровидной части водохранилища в Тувинской котловине и на участке нижнего бьефа в Минусинской котловине.

В целом воздействие сибирских водохранилищ на микроклимат в сравнении с ЕТС слабее, но выше абсолютные изменения характеристик. Крайне неблагоприятным последствием создания крупных водохранилищ в Сибири, вызванным изменением термического режима, является незамерзающая полынья в нижнем бьефе, способствующая туманообразованию.

Полынья вызывает многие проблемы: повышение испарения и увеличение дней с туманами; нарушение сложившихся транспортных связей в зимнее время по льду реки.

Испарение и зимние туманы осложняют микроклимат в городах Красноярске, Иркутске, Братске. В Красноярске с созданием водохранилища число дней с туманом увеличилось в 1,4–2 раза. Над незамерзающей поверхностью Енисея наблюдаются туманы парения, а образование туманов способствует повышению уровня загрязнения воздуха [42].

Водохранилища оказывают влияние на облачность и осадки. На Братском водохранилище в 33 из 100 % случаев на наветренном берегу осадков не наблюдалось, хотя они выпадали на противоположной стороне. В период отепляющего воздействия водохранилища доля выпадающих осадков увеличивается [43].

Формирование берегов и ложа водохранилищ. Берега водохранилищ Сибири находятся в различных физико-географических условиях и представлены разнообразным литологическим составом пород. Интенсивные процессы формирования берегов, сложенных рыхлыми отложениями, создают значительную по размерам зону обрушения. Протекающие процессы обусловлены в основном ветроволновым воздействием. Берега водохранилищ, сложенные скальными породами, подвержены фильтрационному, химическому и термическому воздействию вод и в совокупности с процессами выветривания также подвержены интенсив-

ному разрушению. Развиваются и процессы подтопления территорий в результате подъема уровня подземных вод [44].

Изучение динамики береговой зоны Новосибирского водохранилища позволило уточнить ранее выданные прогнозы и разработать рекомендации по эффективной защите абразионных берегов на участках, освоенных в народно-хозяйственных целях.

Особенности морфометрии Новосибирского водохранилища и гидрологического режима его нижней, средней и верхней частей определили неравномерность развития переработки берегов по протяженности водохранилища. Наиболее интенсивно разрушение берега происходит в нижней озеровидной части водохранилища, где до настоящего времени какой-либо стабилизации процесса не наблюдается. Максимальная интенсивность разрушения берегов здесь связана с сочетанием повышенных уровней воды в водохранилище и штормовыми явлениями. Наибольшее отступление берега за период существования водохранилища здесь достигло 350 м.

В целом по Новосибирскому водохранилищу протяженность абразионных берегов составляет 400 км, потери земель – около 15 км². С 1959 по 1970 г. вырублено 800 га прибрежных лесов в зоне обрушения.

В начальный период заполнения Бухтарминского водохранилища процесс разрушения берегов протекал слабо, так как размыву подвергались в основном делювиальные склоны у подножья горных массивов. После того как подпор распространился до Зайсановской котловины, разрушению стали подвергаться береговые склоны, сложенные покровными отложениями засоленных суглинков и супесей. Из формирующихся типов берегов Бухтарминского водохранилища наибольшую величину имеют эрозивно-денудационные склоны, сложенные скальными породами. В Зайсанской котловине преобладающими являются абразионные и нейтральные берега, их длина составляет 30 % от общей протяженности береговой линии.

Для развития берегов Усть-Каменогорского водохранилища характерно периодическое смачивание пород при колебаниях уровня воды. Этот процесс являлся определяющим при переработке берегов, сложенных лесовидными су-

глинками. Роль ветроволновых воздействий здесь в основном подчиненная, так как условия для разгона волн невелики, а максимальная высота волны не превышает 0,5 м. За 20 лет эксплуатации водохранилища у такого типа берегов сформировались абразионно-аккумулятивные отмели с углом наклона 3–4° и шириной в среднем не превышающей 30–40 м, отступление берега составляло до 3,5 м в год.

Береговая зона водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада характеризуется широким развитием геодинамических процессов. Этим вопросам посвящаются отдельные статьи настоящего выпуска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. К. Малик, Географические прогнозы последствий гидроэнергетического строительства в Сибири и на Дальнем Востоке, М., Изд-во АН СССР, 1990.
2. Формирование береговой зоны Новосибирского водохранилища, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1968.
3. Формирование берегов Красноярского водохранилища, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1974.
4. В. М. Широков, Формирование берегов и ложа крупных водохранилищ Сибири, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1974.
5. А. Б. Авакян, В. А. Шарапов, Водохранилища гидроэлектростанций СССР, М., Энергия, 1977.
6. А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов, Водохранилища СССР: вопросы создания и комплексного использования. Серия мелиорация и водное хозяйство. Обзорная информация, вып.1, М., 1985.
7. А. Б. Авакян, С. Л. Вендров, Наука в СССР, 1981, 3.
8. С. Л. Вендров, Проблемы преобразования речных систем СССР, изд. 2-е, Л., Гидрометеиздат, 1979.
9. С. Л. Вендров, К. Н. Дьяконов, Водохранилища и окружающая среда, М., Наука, 1976.
10. А. Б. Авакян, В. С. Ковалевский, *Водные ресурсы*, 1992, 2.
11. С. Л. Вендров, Некоторые аспекты проблемы водобеспечения страны (Теория и практика управления водными ресурсами суши), М., Наука, 1985, 11–24.
12. С. Л. Вендров, С. Г. Бейром, Л. К. Малик и др., *Водные ресурсы*, 2, 1988, 5–14.
13. А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов, Водохранилища, М., Мысль, 1987.
14. Н. И. Николаев, *Природа*, 1977, 3, 2–17.
15. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду, М., Наука, 1986.
16. Г. Уайт, Водные ресурсы США, проблемы использования, М., Прогресс, 1973.
17. В. П. Битюков, *Гидротехническое строительство*, 1982, 9, 25–28.
18. В. М. Савкин, Водохранилища верхней Оби и Енисея – основа водохозяйственных комплексов. Формирование берегов ангаро-енисейских водохранилищ. Тр. Ин-та геологии и геофизики, вып. 275, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1988, 105–111.
19. А. А. Безруков, *География и природ. ресурсы*, 1985, 4, 118–125.

20. Л. М. Корытный, Реки Красноярского края, Красноярск, 1991, 104–117.
21. И. П. Дружинин, в кн.: Моделирование процессов атмосферы и ближнего космоса, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1985, 5–20.
22. Man-made Lakes and Human Health, L., 1975.
23. В. С. Сметанич, Водохранилища СССР (обзор и анализ научно-технической литературы), Изд. ВГО, 1974.
24. В. В. Рюмин, Динамика и эволюция южно-сибирских геосистем, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1988.
25. А. Б. Авакян, В. А. Шарапов, О. О. Петрова, в кн.: Водные ресурсы тайги, Иркутск, 1984, 64–78.
26. С. П. Елин, в кн.: Формирование населения и систем расселения в таежных районах страны, Иркутск, 1987, 44–48.
27. В. Х. Гольцмен, *Гидротехническое строительство*, 1989, 3, 8–10.
28. Б. В. Шайкин, Там же, 1989, 4, 9–14.
29. В. А. Комиссаров, Там же, 1963, 4, 6–8.
30. С. Г. Бейром, Н. В. Вострякова, Изменение природных условий в средней Оби после создания Новосибирской ГЭС, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1973.
31. Я. А. Кроник, Т. С. Опикиенко, Материалы конф. и совещаний по гидротехнике "Влияние водохранилищ ГЭС на хозяйственные объекты и природную среду", Л., Энергия, 1980, 105–110.
32. В. М. Широков, в кн.: География Сибири в условиях научно-технического прогресса, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1975, 82–96.
33. М. А. Фортунатов, О проточности и водообмене водохранилищ, Тр. ИБВВ РАН, 1974, вып. 26 (29), 111–120.
34. К. К. Эдельштейн, в кн.: Актуальные проблемы управления водными ресурсами и использование водохранилищ, М., 1979, 58–60.
35. О. Ф. Васильев, в кн.: Мелиоративные и водохозяйственные проблемы Сибири, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1989, 30–36.
36. О. М. Кожова, Г. И. Кабанова, Н. И. Тетерина, в кн.: Вопросы прогнозирования биологического режима Усть-Илимского водохранилища, Иркутск, 1975, 76–87.
37. Биология Вилюйского водохранилища, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1979.
38. М. В. Чайкина, Гидрохимический режим Новосибирского водохранилища, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1975.
39. Комплексные исследования Новосибирского водохранилища, Тр. СибСибРНИГМИ, вып. 70, М., Гидрометеоиздат, 1985.
40. А. Б. Авакян, *Изв. АН СССР. Сер. геогр.*, 1991, 6, 115–123.
41. В. М. Савкин, Л. Н. Каскевич, Ю. В. Титова, Изменение природных условий под влиянием деятельности человека, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1984, 26–33.
42. Ю. С. Васильев, Н. И. Хрисанов, Экологические аспекты гидроэнергетики, Л., Изд-во ЛГУ, 1984.
43. Т. В. Одрова, в кн.: Влияние ГЭС на окружающую среду в условиях Крайнего Севера, Якутск, 1987, 84–95.
44. В. С. Кусковский, Ю. И. Подлипский, В. М. Савкин, В. М. Широков, Формирование берегов Красноярского водохранилища, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1974.

Water Reservoirs of Siberia: Consequences of Their Creation to Water Ecology and Water Management Facilities

V. M. SAVKIN

Setting up reservoirs on rivers is associated with changes of natural conditions of the very river system and of adjacent territories. In the paper, consequences of using water resources for construction of reservoirs in Siberia to water ecology and water management are considered. The materials presented make it possible to estimate the development of similar processes when setting up other reservoirs in the Siberian region.