

С. В. Соболев



ВОДОХРАНИЛИЩА в окружающей среде



книга 2

Министерство науки и образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

С.В. Соболев

**ВОДОХРАНИЛИЩА
В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ**

В двух книгах

КНИГА 2

Нижегород
ННГАСУ
2022

ББК 38.771
С 54

Печатается в авторской редакции

Рецензенты:

Д.Б. Гелашвили – доктор биологических наук, профессор (ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»)

Д.В. Козлов – доктор технических наук, профессор (ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»)

А.М. Коломиец – доктор технических наук, профессор (ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»)

Соболь С.В. Водохранилища в окружающей среде. В двух книгах [Текст]: научно-техническое издание. / С.В. Соболь; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2022.– Книга 2. – 406 с. ISBN 978-5-528-00485-3; 978-5-528-00487-7

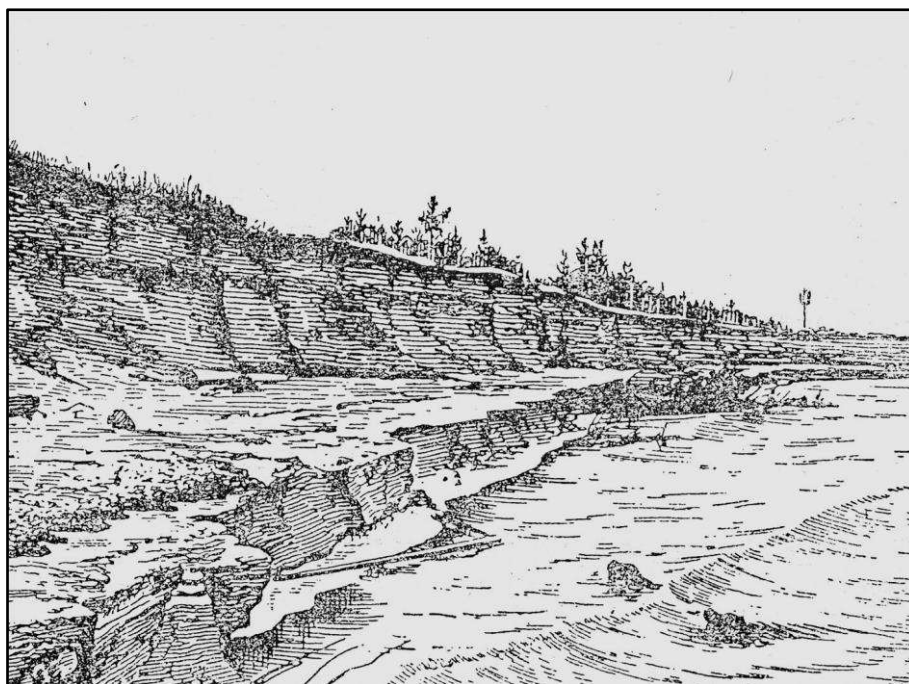
Во второй книге издания в продолжение книги 1 **анализируется** взаимодействие водохранилищ с окружающей средой, включая компоненты литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы, а также человека и культурные ценности, **характеризуются** мероприятия по подготовке территорий к затоплению водохранилищами, **освещаются** вопросы эксплуатации, в том числе поддержания экологического здоровья водохранилищ, **поясняется**, что целью любого проекта, связанного с созданием водохранилищ, является достижение обществом существенного успеха в устойчивом развитии на основе экономической эффективности, социальной справедливости и экологической безопасности.

Материал адресован специалистам, аспирантам и студентам, чьи интересы распространяются на проблему водохранилищ, а также кругу читателей, желающих получить целостное представление об этих рукотворных объектах в современной окружающей их среде.

ISBN 978-5-528-00485-3
ISBN 978-5-528-00487-7

© С.В. Соболь, 2022.
© ННГАСУ, 2022

ЧАСТЬ 2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ (продолжение)



Переработка песчаного берега Рыбинского водохранилища. Зарисовка начала 1950-х гг. [357]

Водохранилища – объекты, созданные человеком. Как техногенные образования они оказывают влияние практически на все компоненты литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы, образующие природную среду занятых ими и прилегающих территорий, то есть на геодинамические условия и рельеф, режим поверхностных и подземных вод, климат, почвы, растительность, животный мир и ландшафт в целом. Сами испытывают влияние природных, прежде всего гидрометеорологических, факторов. Взаимодействуют с антропогенной окружающей средой. Пределы названного влияния и взаимодействия рассматриваются в настоящей 2-й части книги.

ГЛАВА 16. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОЖА И БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ В ОБЛАСТИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

16.1. Вечная мерзлота на северо-востоке страны

Территория северо-востока России у строителей именуется северной строительно-климатической зоной, у геокриологов (мерзловедов) – криолитозоной или областью вечной мерзлоты. На рис. 16.1 представлена схематическая карта криолитозоны.

Среднегодовые температуры воздуха в криолитозоне повсеместно отрицательные. В наиболее суровых районах Якутии и Магаданской области они опускаются до $-14 \dots -16$ °С. Продолжительность морозного периода изменяется от 250 суток на юге зоны до 300 и более суток на крайнем севере. В районе Курейской ГЭС она составляет 240 суток, Колымской – 280 суток. Особенно холодны зимы в удаленных от побережья районах. Средняя температура января в Магадане – 21,0, Синегорье – 35,1, Вилюйске – 38,2, Якутске – 43,2, Верхоянске – 48,9, Оймяконе – 50,1 °С. Характерны сильные ветры, метели, снежные заносы. При понижении температуры до -45 °С устанавливается безветрие, туманы. Лето довольно теплое, среднемесячная температура июля 15 °С. Осадков выпадает 200 – 500 мм в год. Они распределяются в течение года неравномерно. Так, в бассейне р. Хантайки за короткий летний период выпадает 40 % среднегодовой нормы 550 мм. Снежный покров, достигающий 2 м, удерживается до 265 суток в году.

Вечномерзлыми принято называть горные породы (грунты), находящиеся в мерзлом состоянии длительное время – века и тысячелетия [629]. Возраст вечной мерзлоты на северо-востоке России колеблется от нескольких тысяч до десятков миллионов лет [15].

В зависимости от площади залегания различают вечномерзлые

грунты островного, прерывистого и сплошного распространения (см. рис. 16.1).

Мощность вечномерзлых толщ изменяется от 20 м в районе г. Читы до 1 500 м в горах северного Забайкалья и отдельных районах севернее р. Вилюя (табл. 16.1).

Таблица 16.1

**Мощность и температура вечномерзлых грунтов
в некоторых пунктах криолитозоны [443]**

Пункт	Температура грунта на глубине затухания ее внутригодовых колебаний, °С	Мощность мерзлой толщи, м
Верхоянск	-6... -7	180
Воркута	-1... -1,5	40... 130
Игарка	0... -1	20... 30
Мирный	-6	300
Удачный	-7,6	500
Чита	0	8... 20
Якутск	-0,5... -4	230

В области вечной мерзлоты от поверхности вниз простирается слой сезонного оттаивания-замерзания грунта. Температура в этом слое сообразно времени года имеет положительные или отрицательные значения. Глубина слоя изменяется от 2 – 4 м на юге до 0,2 – 0,3 м на севере криолитозоны. На формирование сезоннооттаивающего слоя оказывают влияние различные факторы: климат, рельеф (экспозиция), растительный покров, состав и свойства поверхностных отложений, антропогенные вмешательства. Меньшие глубины оттаивания свойственны глинистым грунтам; песчано-гравийные грунты обычно оттаивают на большую глубину. Ниже глубины сезонного оттаивания температура грунтов остается отрицательной до нижней границы мерзлоты. Внутригодовые колебания температуры сказываются до глубины около 8 – 15 м, где они затухают. Температура мерзлого грунта на глубине нулевых амплитуд близка среднегодовой температуре его поверхности. Эту температуру принято называть температурой мерзлых пород (рис. 16.2).

Мерзлый грунт представляет собой многофазную многокомпонентную систему, в которой присутствуют: твердая фаза, состоящая из минерального скелета и льда; жидкая фаза, представленная незамерзшей водой с растворенными в ней солями; газообразная фаза, включающая пары воды и газы, находящиеся в порах грунта. Основной особенностью мерзлых грунтов является наличие в них льда. В дисперсных грунтах лед может

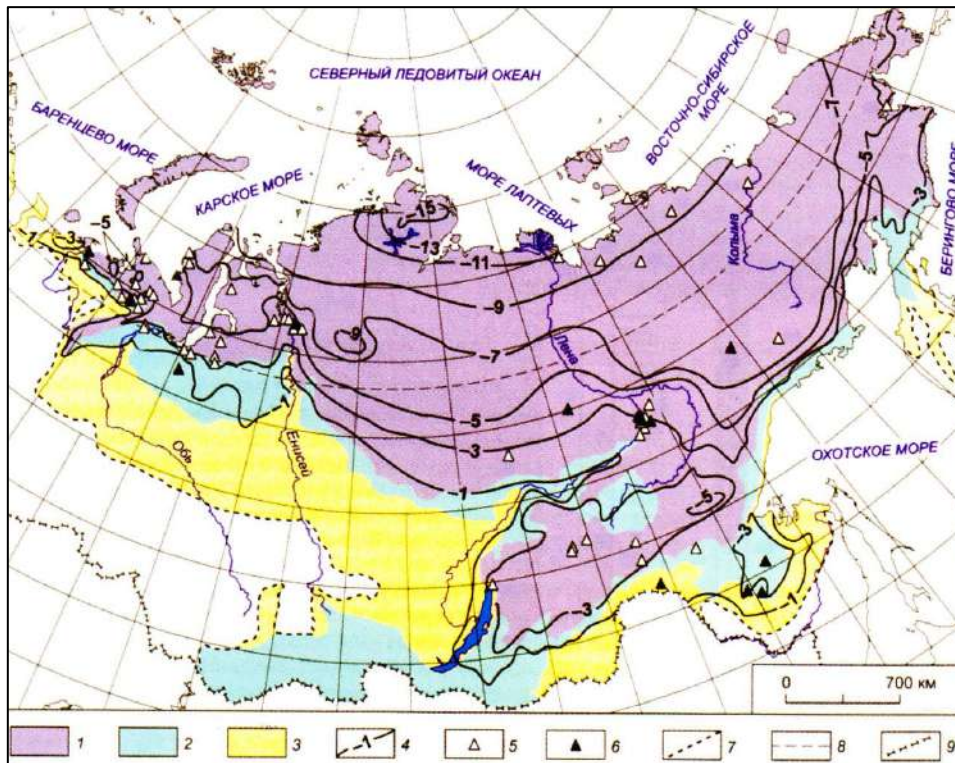


Рис. 16.1. Карта распространения вечной мерзлоты на территории России: мерзлота 1 – сплошная (более 95%), 2 – прерывистая (50 – 95%), 3 – островная (менее 50% площади); 4 – температура горных пород на подошве слоя годовых теплооборотов, на глубине 15 – 20 м, °С; 5 – закрытые, 6 – действующие пункты наблюдений криолитозоны; 7 – южная граница мерзлоты; 8 – Северный полярный круг; 9 – граница Российской Федерации [15; 466; 699]

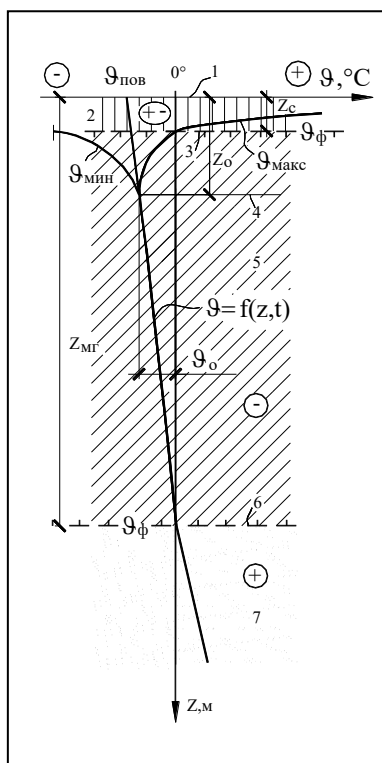


Рис. 16.2. Температурное поле горных пород в области вечной мерзлоты:

- 1 – поверхность земли;
- 2 – слой сезонного оттаивания – замерзания грунта;
- 3 – нижняя граница и z_c – глубина сезонного оттаивания;
- 4 – граница и z_o глубина затухания внутригодовых колебаний температуры (нулевых амплитуд);
- 5 – вечномерзлая толща;
- 6 – нижняя граница и z_{mf} – мощность вечной мерзлоты;
- 7 – талая зона земной коры;
- $\vartheta_{max}, \vartheta_{min}$ – максимальная и минимальная внутригодовая температура;
- $\vartheta_{пов}$ – среднегодовая температура поверхности земли;
- ϑ_o – температура грунта на глубине нулевых амплитуд;
- $\vartheta_{\phi} = 0^{\circ}C$ – температура фазовых переходов



Рис. 16.3. Вечномерзлый грунт с прослоями льда. Вид стены зала подземной лаборатории в г. Игарка на глубине 14 м. 1972 г.



Рис. 16.4. Ледяная клиновидная жила в вечномерзлом грунте на террасе р. Нерючи в Якутии (фото ИМ СО РАН)



Рис. 16.5. Полигонально-жилевая структура верхнего слоя вечномерзлой толщи в арктической тундре. Посередине – бугор пучения
[<https://Yandex.ru/search.text>]

находиться в порах между частицами скелета, а также в виде линз, прослоев (рис. 16.3), вертикальных жил (рис. 16.4) и включений других форм. В скальных породах лед заполняет трещины и пустоты. Суммарная льдистость – это отношение объема содержащегося в грунте льда к объему грунта, выражаемое в % или в долях единицы. При содержании льда по объему более 40 % грунты относятся к сильнольдистым [263]. По некоторым предположениям, в верхнем 20–40-метровом слое подземные льды могут занимать до 50–70 % общего объема мерзлых грунтов [443] (рис. 16.5).

Оттаивание мерзлых незасоленных грунтов происходит при температуре близкой 0 °С. Температура замерзания талых грунтов, под которой принимается устойчивая температура замерзания поровой воды, для водонасыщенных песчаных грунтов близка к 0 °С; для текучих, пластичных и твердых глинистых грунтов соответственно равна 0°, –0,1 ...–1,2°, –2 ...–5 °С [696].

Прочность мерзлых дисперсных грунтов существенно зависит от длительности приложения нагрузки, поэтому различают мгновенную и длительную прочность. Мгновенная прочность на сжатие достигает у глинистых грунтов 3 – 5 МПа, у песчаных 12 – 15 МПа [696]. При оттаивании дисперсные грунты, особенно глинистые, существенно снижают свою прочность, а сильнольдистые вообще могут потерять несущую способность. Прочность скальных грунтов при переходе из мерзлого состояния в талое может снижаться на 30 – 50 % [263].

Для анализа температурных процессов привлекаются теплофизические характеристики мерзлых и талых грунтов. Справочные материалы по ним можно найти в литературе [40; 134; 255; 263; 616; 635]. Здесь только заметим: водонасыщенный грунт в мерзлом состоянии имеет меньшую теплоемкость, чем в талом, благодаря различию теплоемкостей льда (2 060 Дж/(кг·град)) и воды (4 190 Дж/(кг·град)); мерзлый грунт естественной влажности имеет более высокую (примерно на 30 %) теплопроводность по сравнению с талым; у скальных пород теплоемкость различается незначительно [263].

При оттаивании мерзлых дисперсных грунтов может происходить их осадка: за счет таяния порового льда с отжатием талой воды; от собственного веса грунта; под действием приложенной внешней нагрузки; за счет консолидации оттаявшего грунта [616]. Вопросам выяснения величин и времени стабилизации осадки оттаивающих грунтов посвящались как теоретические, так и экспериментальные исследования [134; 490; 696]. Величина осадки определяется, в основном, льдистостью грунта. Практически всегда

осадка s однородного грунта, происходящая в одномерных условиях, пропорциональна глубине оттаивания ζ $s = \delta \cdot \zeta$, где δ – относительная осадка [696]. Грунт считается непросадочным при $\delta \leq 0,05$, просадочным при $0,05 \leq \delta \leq 0,20$, сильнопросадочным при $\delta > 0,20$ [263]. Для ориентировки в табл. 16.2 приведены соотношения между льдистостью мерзлых и осадкой оттаивших дисперсных грунтов по результатам обработки массива данных о грунтах естественного сложения в Якутии [134; 699]. В большинстве практических ситуаций, касающихся водохранилищ, уместно допущение, что осадка происходит одновременно с оттаиванием грунта [696].

Таблица 16.2

Средние осадки при оттаивании дисперсных вечномерзлых грунтов в зависимости от льдистости и нагрузки [134; 699]

Пределы влажности, %	Нагрузка, кг/см ²	Средняя осадка, см/м	Пределы влажности, %	Нагрузка, кг/см ²	Средняя осадка, см/м	Нагрузка, кг/см ²	Средняя осадка, см/м
Пески			Суглинки и супеси				
20 – 25	0	1,1	20 – 25	0	0,9	2	5,7
25 – 30	0	1,4	25 – 30	0	1,3	2	6,3
20 – 25	0,5	2,3	30 – 35	0	2,4	2	9,6
25 – 30	0,5	2,3	35 – 40	0	3,6	2	11,4
20 – 25	1	2,3	40 – 50	0	4,5	2	16,5
25 – 30	1	2,8	50 – 60	0	5,1	2	22,5
20 – 25	1,5	2,7	20 – 25	1	3,3	3	8,1
25 – 30	1,5	3,2	25 – 30	1	3,8	3	8,8
20 – 25	2	2,9	30 – 35	1	6,0	3	13,2
25 – 30	2	3,4	35 – 40	1	7,5	3	15,
20 – 25	3	3,4	40 – 50	1	10,5	3	22,5
25 – 30	3	3,7	50 – 60	1	13,8	3	31,5

В силу отепляющего воздействия воды на горные породы под руслами рек в области вечной мерзлоты существуют **подрусловые талики**. Для крупных рек характерны талики сквозные, под малыми реками могут быть несквозные (замкнутые) талики. На рис. 16.6 показан геотермический разрез долины р. Колымы в створе Колымской ГЭС. Среднегодовая температура воздуха в районе минус 12 °С, грунта на подошве деятельного слоя –7,5...–8,5 °С, воды 3 – 4 °С. Под руслом реки имеется сквозной талик шириной до 100 м [132]. На рис. 16.7 приведен инженерно-геокриологический разрез долины р. Ирелях по створу Иреляхского гидроузла. В мерзлых грунтах с льдистостью до 60 % под руслом реки несквозной талик [74].

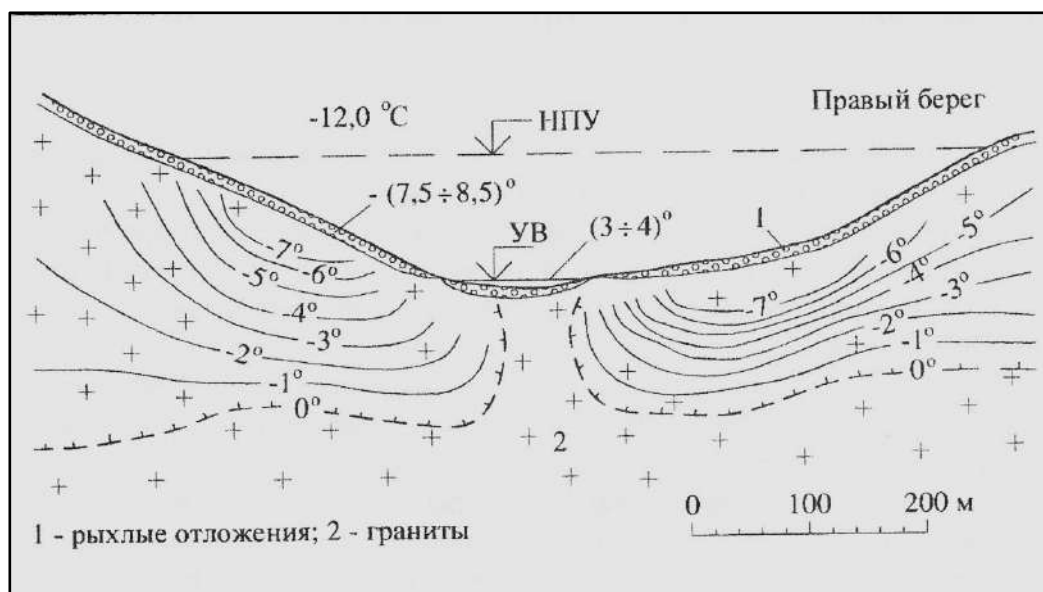


Рис. 16.6. Геотермический разрез долины р. Колымы в створе Колымской ГЭС [132]

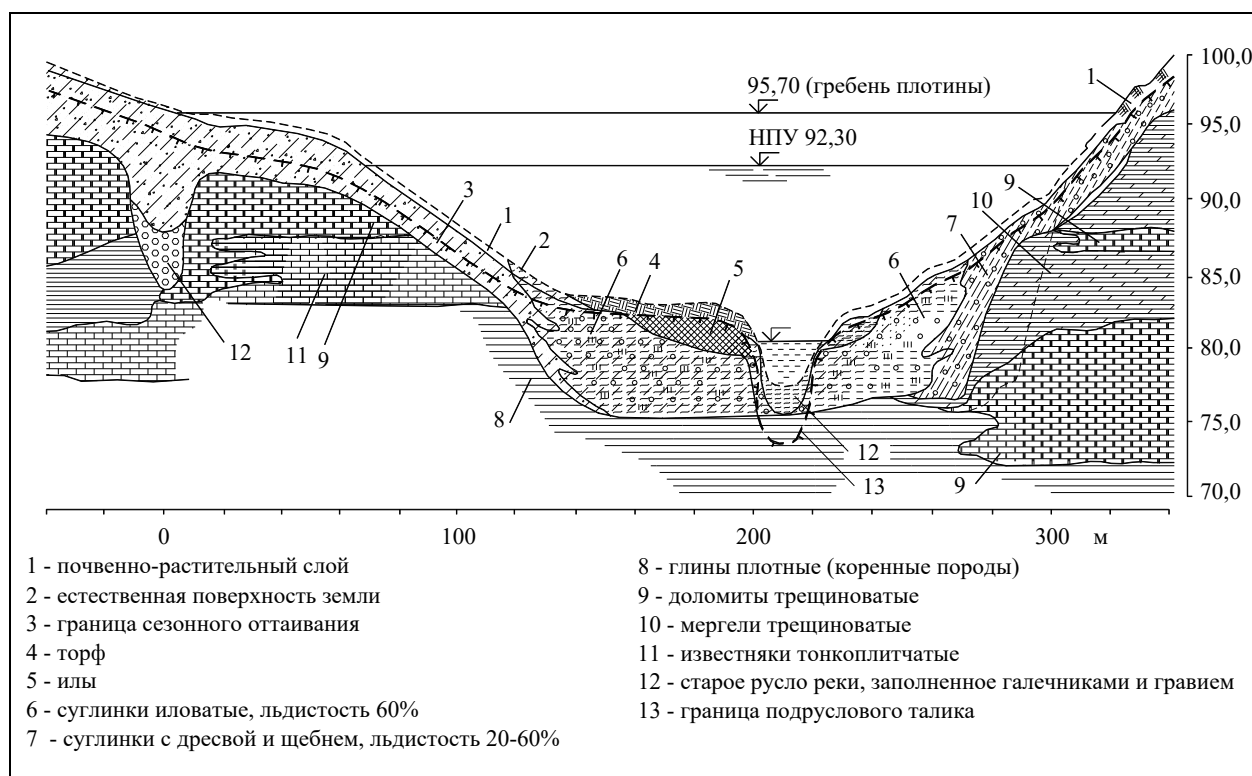


Рис. 16.7. Геологический разрез долины р. Ирелях в створе Иреляхского гидроузла [74]

Вечномерзлая толща является в целом водоупорной. **Подземные воды** в области вечной мерзлоты приурочены к зонам талых пород. Они подразделяются на надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные.

Надмерзлотные воды распространены в сезонноталом слое грунта. Основное питание они получают из атмосферных осадков. В зимний период замерзают.

Межмерзлотные воды помещаются в талых прослоях, линзах и сквозных таликах, встречающихся в толще мерзлоты. Они могут сообщаться с другими категориями подземных вод.

К подмерзлотным относятся подземные воды, залегающие ниже мерзлой толщи. Подмерзлотные горизонты обычно обводнены. Почти всюду эти воды напорные. Могут иметь положительную или отрицательную (по Цельсию) температуру. Последняя указывает на их засоленность [443].

К **специфическим природным явлениям**, характерным для области вечной мерзлоты, относят развитие наледей и термокарста [14; 16].

Наледи, возникающие в местах выхода на поверхность подземных (межмерзлотных и подмерзлотных) вод, встречаются во всех регионах криолитозоны. Образуются также в долинах рек при промерзании их русел, где могут достигать в толщину нескольких метров и из года в год повторяться (рис. 16.8, 16.9). Захваченный наледью лес гибнет (рис. 16.10).

Наличие льда в горных породах криолитозоны предопределяет возможность термокарста. Наиболее интенсивное его развитие связано с вытаиванием клиновидных жильных льдов. Эти льды присутствуют в арктических низменностях, внутриконтинентальных равнинах и межгорных впадинах. Они пронизывают верхнюю часть толщи аллювиальных отложений (глин, супесей, песков) и в совокупности с ними образуют так называемый ледовый комплекс (см. рис. 16.4, 16.5). Территория, сложенная ледовым комплексом, внешне обычно не отличается от окружающей местности. Но на местах локальных изменений теплообмена (пожарищ и т.п.), может начаться вытаивание льдов и оседание поверхности – термокарстовый процесс. В начале возникает небольшое мелководное озеро (рис. 16.11), оно постепенно углубляется, расширяется, образуется алас, в границах которого вечная мерзлота протаивает на глубину до 50–100 м. Термокарстовых озер много в криолитозоне, они могут существовать тысячелетия. Бывает, что в условиях дефицита атмосферной влаги аласные озера сокращаются в размерах, высыхают, на промерзающих таликах образуются многолетние бугры пучения (они же гидролакколиты, они же пинго, они же булгунняхы).



Рис. 16.8. Свежая наледь, заполнившая русло р. Унгры, притока р. Алдана [13]

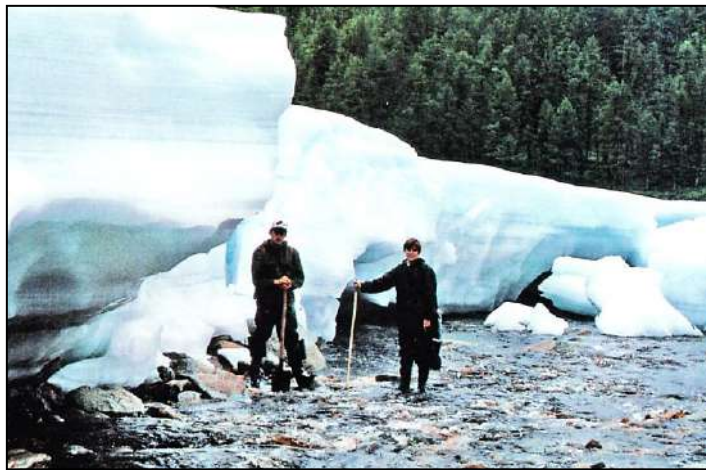


Рис. 16.9. Оттаивающая наледь подземных вод в долине р. Артык, Южная Якутия [13]



Рис. 16.10. Гибнущий лес под воздействием наледей [14, 16]



Рис. 16.11. Молодое термокарстовое озеро на севере Якутии



Рис. 16.12. Разрушающийся гидролакколит в бассейне р. Индигирки [14]



Рис. 16.13. Вытаивающий подземный лед у трассы газопровода в Центральной Якутии [15]

От внутреннего давления бугры трещат и разрушаются (рис. 16.12), зачастую взрывом. Так, взрыв гидролакколита размерами в плане 30×50 м и высотой 2,5 м наблюдался в 1964 г. на западном берегу оз. Харанор в Читинской области. Звук взрыва был слышен на расстоянии 6 км, из центральной части бугра выбросило глыбы льда размерами $0,7 \times 1,5 \times 2$ м на расстояние до 8 м, в бугре образовалась воронка глубиной 2 м, из которой ударил фонтан воды высотой 1,5 м, он бил в течение 30 минут, затем осел и исчез [14; 15].

Термокарст часто сопутствует эрозионным процессам или бывает следствием антропогенного вмешательства в земной покров (рис. 16.13).

Вечная мерзлота давно используется как своеобразный **криогенный ресурс**. В толще мерзлых пород сооружают склады для продуктов питания, резервуары для газа и нефтепродуктов, емкости для захоронения химических веществ и радиоактивных отходов. Мерзлые грунты и лед применяют в качестве строительных материалов, в том числе для гидротехнического строительства [15]. В Якутии вечная мерзлота охраняется законом [442].

16.2. Напорный фронт северных гидроузлов

Особенности природной обстановки северо-восточных территорий – отрицательные среднегодовые температуры воздуха, повсеместное распространение вечной мерзлоты, большая внутригодовая неравномерность стока рек – осложняют возведение и эксплуатацию гидротехнических комплексов.

Напорный фронт речных гидроузлов в области вечной мерзлоты создается по двум принципиально разным (в температурном отношении) вариантам – талому или мерзлому, или по их комбинациям. Талый вариант целесообразен при благоприятных инженерно-геологических и геокриологических условиях, выбор которых достаточно широк для крупных ГЭС. Для гидроузлов питьевого и хозяйственного водоснабжения, прудов-охладителей тепловых электростанций, малых ГЭС, которые необходимо располагать в непосредственной близости к потребителю, выбор створов с благоприятными условиями для талого варианта сооружений напорного фронта чаще всего ограничен, а в некоторых случаях и невозможен. В таких обстоятельствах предпочтение отдается мерзлому варианту гидроузла.

Строительство гидроузлов по мерзлому варианту возможно на значительной части северо-востока страны [74; 75; 76; 160; 559; 699].

Для крайнего севера наиболее приемлемыми являются гидроузлы с грунтовыми плотинами, так как последние требуют минимума привозных материалов и обладают большей приспособленностью к зимним условиям строительства.

Талые грунтовые плотины на севере конструктивно не имеют существенных отличий от аналогичных плотин, строящихся за пределами области вечной мерзлоты. Водоохранилища всех северных ГЭС образованы талыми грунтовыми плотинами. На рис. 16.14 приведен разрез талой грунтовой плотины Усть-Хантайской гидроэлектростанции [335].

Грунтовая плотина считается мерзлой, если ее противofильтрационный элемент вместе с основанием под ним мерзлые, чем обеспечивается водонепроницаемость системы плотина-основание. Грунт тела плотины или противofильтрационного элемента должен быть полностью насыщен водой и заморожен естественным холодом или с помощью замораживающих систем. Мерзлые грунтовые плотины возводятся на любых грунтах основания, находящихся в мерзлом состоянии или искусственно промораживаемых, при условии, что в них отсутствуют трещины и пустоты не заполненные льдом и могущие послужить путями сосредоточенной фильтрации воды. На рис. 16.15 показана мерзлая плотина Иреляхского водоохранилища на р. Ирелях [74].

Имеются единичные случаи перевода мерзлых плотин в талые [699]. Так, плотина Аркагалинской ГРЭС на р. Мянундже (рис. 16.16) была закончена строительством в 1959 г. как мерзлая по изначальному проекту. К концу 1970-х гг. ее тело было расширено на 40 м, с 1990-х гг. прекратили эксплуатацию замораживающей системы, к 2001 г. закончилась деградация мерзлых грунтов в теле плотины и плотина перешла полностью на талый режим эксплуатации [192].

В Своде правил «Плотины из грунтовых материалов» от 2012 г. [617] по необъясненным причинам исключена типизация плотин по температурно-криогенному признаку, устоявшаяся с 1930-х гг. [74; 75; 76; 331; 587; 699]. Такой подход не отвечает требованиям федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» [661] и является шагом назад в теории и практике гидротехнического строительства в северной строительной-климатической зоне [326; 699].



Рис. 16.14. Русловая талая каменно-земляная плотина Усть-Хантайской ГЭС [335]

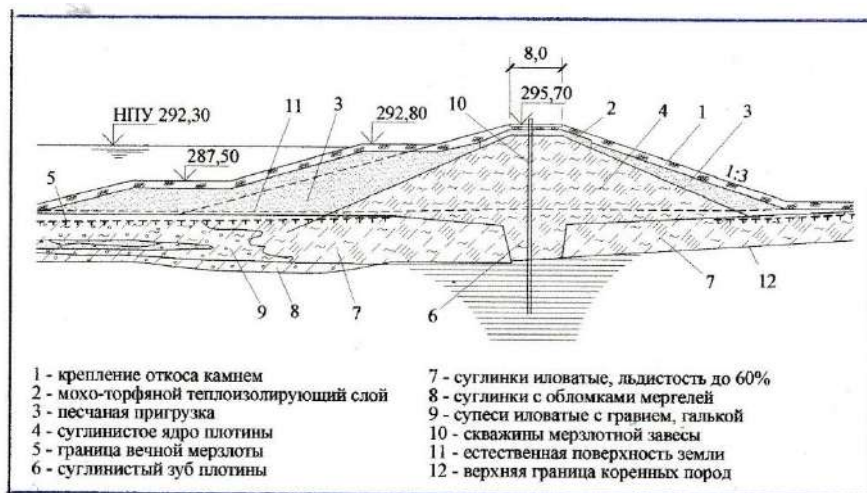


Рис. 16.15. Мерзлая грунтовая плотина водохранилища на р. Ирелях (проектный вариант) [74]

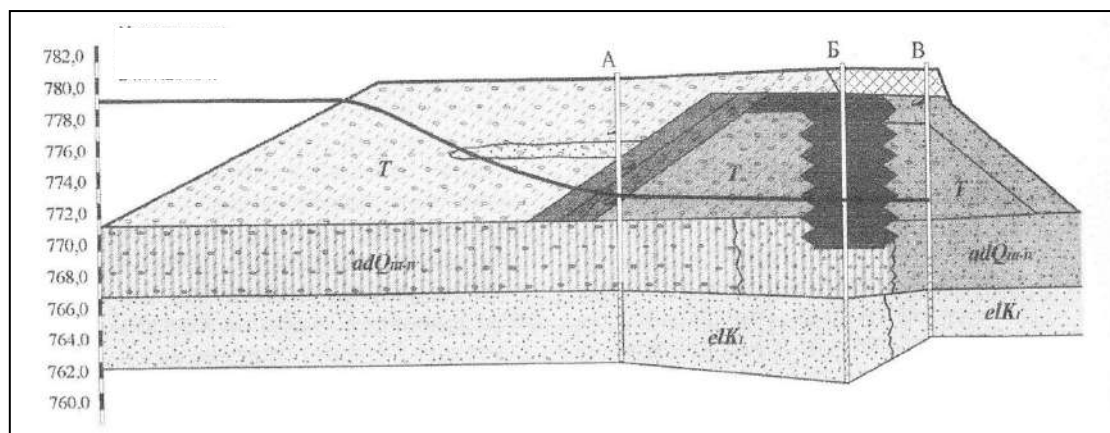


Рис. 16.16. Земляная плотина водохранилища Аркагалинской ГРЭС на р. Мянундже: Т – техногенные грунты тела плотины; А, Б, В – пьезометрические скважины для [192]

16.3. Оттаивание и тепловая осадка грунтов основания водохранилищ

В связи с образованием водохранилища в области вечной мерзлоты нарушаются естественные температурные условия грунтов долины реки.

Теплообмен массы воды с мерзлыми породами приводит к постепенной деградации мерзлой толщи. В результате под водохранилищем развивается талик – замкнутый, либо сквозной [72]. **Оттаивание грунтов основания водохранилища** может происходить в отсутствие фильтрации воды (по крайней мере, до тех пор, пока не протает мерзлота и появится возможность фильтрации в сквозном талике под водохранилищем) или с участием фильтрации воды, способствующей оттаиванию мерзлых пород [587].

Хороший материал для познания температурного процесса дали бы натурные наблюдения, но их совсем мало [277; 431]. Любопытство чаще удовлетворяли прогнозными расчетами.

Так, для оценки глубин многолетнего протаивания и повышения температуры в основании и берегах Вилюйского водохранилища проводилась серия расчетов температурного режима на ЭВМ по двумерной схеме на 50-летний период от начала наполнения [711], т.е. от 1967 г. Мощность вечномерзлых (скальных) пород в районе 590 м, их среднегодовая температура $-2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Расчетами были учтены характерные обстоятельства, регулирующие температурный режим: внутригодовое изменение температуры воды, зимняя сработка водохранилища с оседанием ледяного покрова на осушенный берег, изменение за зимний период толщины снега, льда и др. Обобщенные результаты помещены на рис. 16.17. Прогнозное протаивание пород за 50 лет составило около 40 м в глубоководной и 30 м в мелководной части водохранилища. К 50-му году существования водохранилища, растеплению (более, чем на $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$) подвергся массив, простирающийся на 130 – 150 м от дна водохранилища и до 70 – 80 м от береговой линии вглубь берега (заштрихованная область на рис. 16.17). В 2017 г. можно было оценить результативность прогноза, но этого не делалось. Очевидно, что переформирование температурного поля долины р. Вилюя далеко не закончено и будет продолжаться столетия [587].

По мере оттаивания льдистых дисперсных грунтов в основании и берегах северных водохранилищ возникает **антропогенный термокарстовый процесс**, при котором происходит оседание ложа водоема.

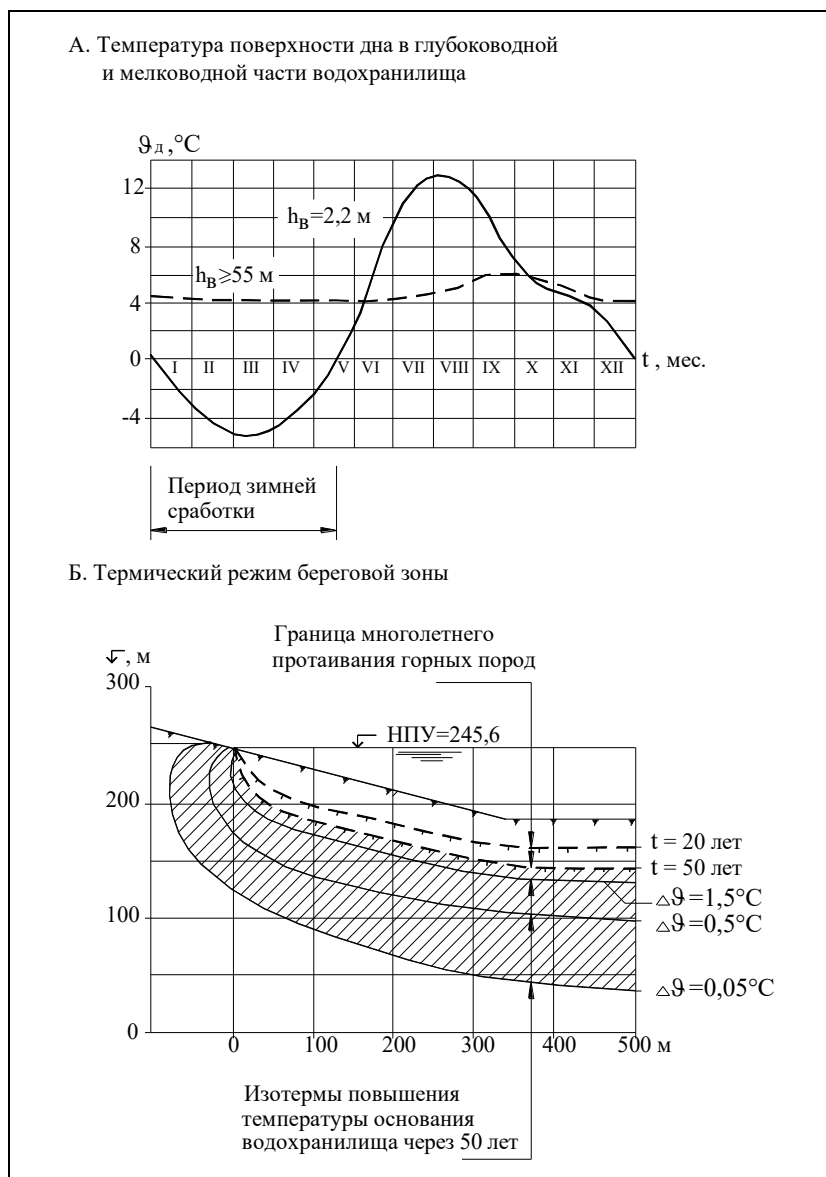


Рис. 16.17. Характеристики термического режима береговой зоны Вилюйского водохранилища [711]

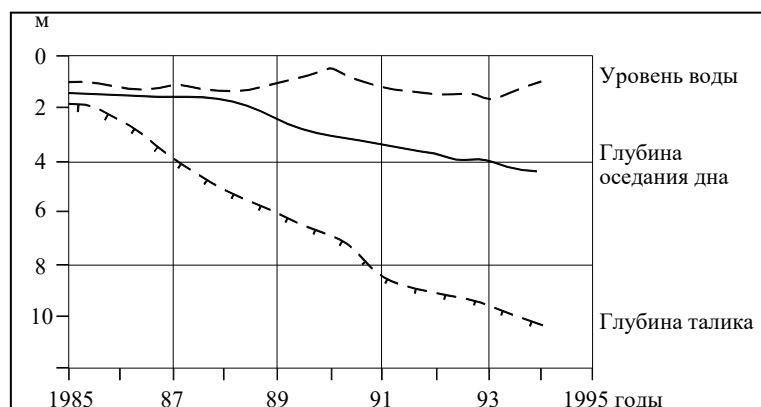


Рис.16.18. Развитие термокарстового озера на Лено-Амгинском междуречье в Якутии [82]

Решающими факторами, определяющими характер развития процесса, являются льдонасыщенность вечномерзлых грунтов, их просадочность при оттаивании, глубина залегания льдистого горизонта и его мощность.

Натурные данные о процессе имеются применительно к термокарстовым озерам. Например, Институтом мерзлотоведения СО РАН велись наблюдения за термокарстовым озером на Лено-Амгинском междуречье. Верхняя часть геологического разреза в районе озера на глубину около 25 м представлена сильнольдистой суглинисто-супесчаной толщей с прослоями мелкого песка, содержит повторно-жильные льды. В середине озера со льда была пробурена наблюдательная скважина глубиной 25 м. В конце марта 1989 г. глубина воды в озере была 1,7 м, озеро до дна не промерзло, глубина талика составляла 5 м. В последующем скорость оседания дна озера наблюдалась около 0,5 м/год (рис. 16.18) [82]. В свое время натурно-расчетным анализом было выяснено, что котловина глубиной 20 м термокарстового озера Сырдах в Центральной Якутии образовалась в 60-метровом слое льдистой супеси за 1000 лет [157; 587; 638]. Материалы наблюдений ценны для случаев, когда термокарстовые озера могут выступать аналогами водохранилищ.

Натурные исследования оседания ложа эксплуатируемых водохранилищ гидроэлектростанций осложняются тем, что ни на одном из них в проектный период не были проведены инженерные изыскания в необходимом объеме.

В зоне затопления Усть-Хантайского водохранилища из-за отсутствия населенных пунктов и промышленных месторождений полезных ископаемых проведение инженерно-геологических и мерзлотных исследований было оценено как не имеющее практического значения. В связи с этим не построены специализированные инженерно-геологические карты зон затопления и подтопления, не выявлено распространение вечномерзлых пород, не изучен температурный режим горных пород, слагающих чашу водохранилища, не организована сеть наблюдений за переформированием ложа и берегов [327; 455]. В 1989 – 1990 гг. тепловое оседание ложа Усть-Хантайского водохранилища измерили на эталонном участке площадью 350 км². Сравнивали топографические планы донного рельефа масштаба 1:25 000 на год начала заполнения и через 20 лет. Последний строился по материалам промеров глубин эхолотом с катера на профилях через 500 м. Сравнением профилей 1970 г. и 1990 г. было засвидетельствовано уменьшение отметок

дна водохранилища в среднем на 3 м при полном оттаивании вечномерзлых рыхлых высокольдистых грунтов четвертичного периода в основании водохранилища [456].

По Курейскому водохранилищу к 1990 г., когда оно было наполнено и шла эксплуатация ГЭС, имелась только карта масштаба 1:25 000, а намеченные планы по изысканиям ложа и берегов не были осуществлены. По другим построенным водохранилищам ГЭС криолитозоны также ограничались планами. В подобных обстоятельствах возможна только косвенная оценка пределов термокарстового оседания ложа водохранилищ. И понятно, что с опорой лишь на косвенные данные трудно продвинуться дальше приблизительных результатов.

За последние годы в ННГАСУ для математического анализа температурного режима основания и бортов долин рек в криолитозоне после создания водохранилищ разработаны современные многофакторные детерминированные двух- и трехмерные численные модели [153; 154; 165; 166; 167; 576; 692], отражающие рельеф дна и берегов долины, учитывающие криогенное строение грунтов, климатические, гидрологические факторы, имитирующие процесс деградации вечной мерзлоты с подвижкой ее нижней границы и тепловой осадкой ложа водохранилища.

Путем совмещения результатов изысканий, выполненных ВНИИГом им. Веденеева, и численных расчетов ННГАСУ удалось впервые получить достоверные количественные натурно-теоретические данные о трансформации чаши малого (Анадырского) водохранилища в криолитозоне за многолетний период эксплуатации [152].

Анадырское водохранилище находится на востоке Чукотского автономного округа у г. Анадыря на берегу Анадырского лимана Берингова моря. Впервые заполнено в 1960 г. до отметки 7,8 м БС, после постройки новой плотины НПУ в 1986 г. повышен до 13,75 м БС (табл. 16.3).

Климат района континентально-морской со среднегодовой температурой воздуха – 7,7 °С. Долина р. Казачки, в которой образовано водохранилище, характерна пологонаклонным равнинно-холмистым тундровым рельефом (см. рис. В.4), занята сплошной вечной мерзлотой мощностью до 90 – 150 м. Коренные породы перекрыты четвертичными отложениями из глин, суглинков, супесей, песков с галькой и гравием общей мощностью до 8 – 10 м, отличающимися высокой льдистостью за счет текстурообразующего льда и его мономинеральных залежей, которая часто превосходит 70% объема. Среднегодовая температура вечномерзлых пород на десятиметровой

глубине затухания годовых колебаний $-4,5 \dots -5,8$ °С. Глубина сезонного оттаивания 1,4 м [324].

В 2008 г. ВНИИГом им. Б.Е. Веденеева было проведено эхолотное профилирование дна водохранилища, откорректированы проектный план (рис. 16.19), поперечные разрезы (рис. 16.20). Отмечено, что основание водохранилища подвержено термокарстовому процессу, формирующему дноуглубление. Берегопереформирование при слабой волновой активности и амплитуде колебания уровня воды, не превышавшей 0,3 м в 2002 – 2008 гг., незначительно: протяженность термоабразионных участков 0,5 км, термокарстовых с всплывающими торфяниками – 1,2 км. Размытый пылевато-суглинистый грунт берегов, аккумулируясь на переуглублениях дна, несколько компенсировал увеличение глубин водохранилища [324].

Таблица 16.3

Фактические и прогнозные морфометрические характеристики Анадырского водохранилища

Характеристики		При начальном НПУ, 1960 г. [331]	После повышения НПУ			
			по проектному топоплану, 1986 г. [20]	по изысканиям ВНИИГ 2008 г.	по расчету ННГАСУ на 2008 г.	по расчету ННГАСУ на 2030 г.
Отметки м БС	НПУ	7,8	13,75	13,75	13,75	13,75
	УМО	6,5	11,25	11,25	11,25	11,25
Макс. глубина, м		6,55	12,5	13,0	14,0	14,1
Площади, км ² , при	НПУ	0,38	1,49	1,47	–	–
	УМО	0,29	0,84	1,20	–	–
Объемы млн.м ³	полный	1,0	6,19	7,23	7,36	7,55
	полезн.	0,3	3,1	3,87	3,69	3,78
	мертвый	0,7	3,09	3,36	3,67	3,77
Длина береговой линии, км		–	3,07	3,59	–	–

В ННГАСУ посредством математического моделирования по вертикальным разрезам [166 ; 167] исследован температурно-криогенный режим грунтов долины р. Казачки с водохранилищем [152] за периоды 1960 – 1986 гг. при УВБ = 7,8 м, 1986 – 2008 гг. и далее до 2030 г. при НПУ = 13,75 м и неизменных климатических условиях. Из результатов моделирования последовало, что к 2008 г. (после 48 лет эксплуатации) под водохранилищем образовался несквозной талик глубиной около 11,5 м, рост которого к 2030 г. приведет к увеличению его глубины до 13,4 м. Примерно к 2000 г.

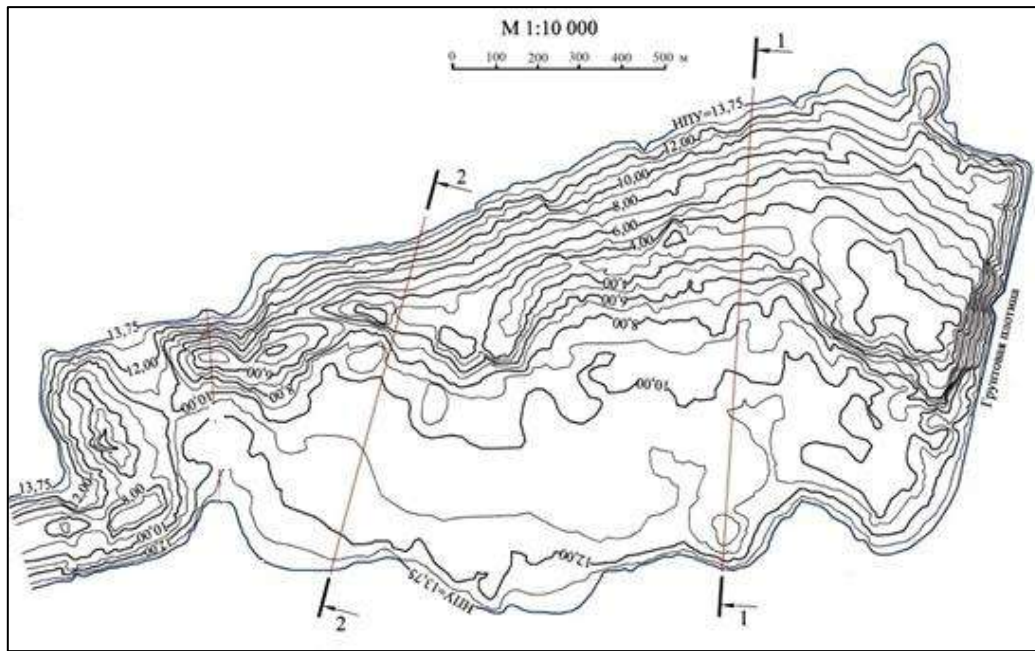


Рис. 16.19. План дна Анадырского водохранилища. ВНИИГ, 2008 г.

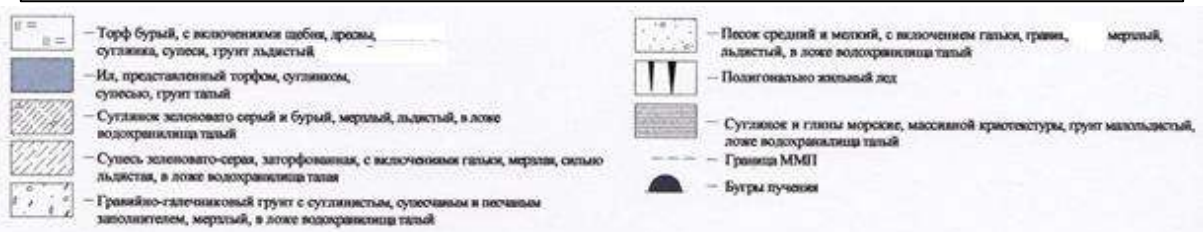
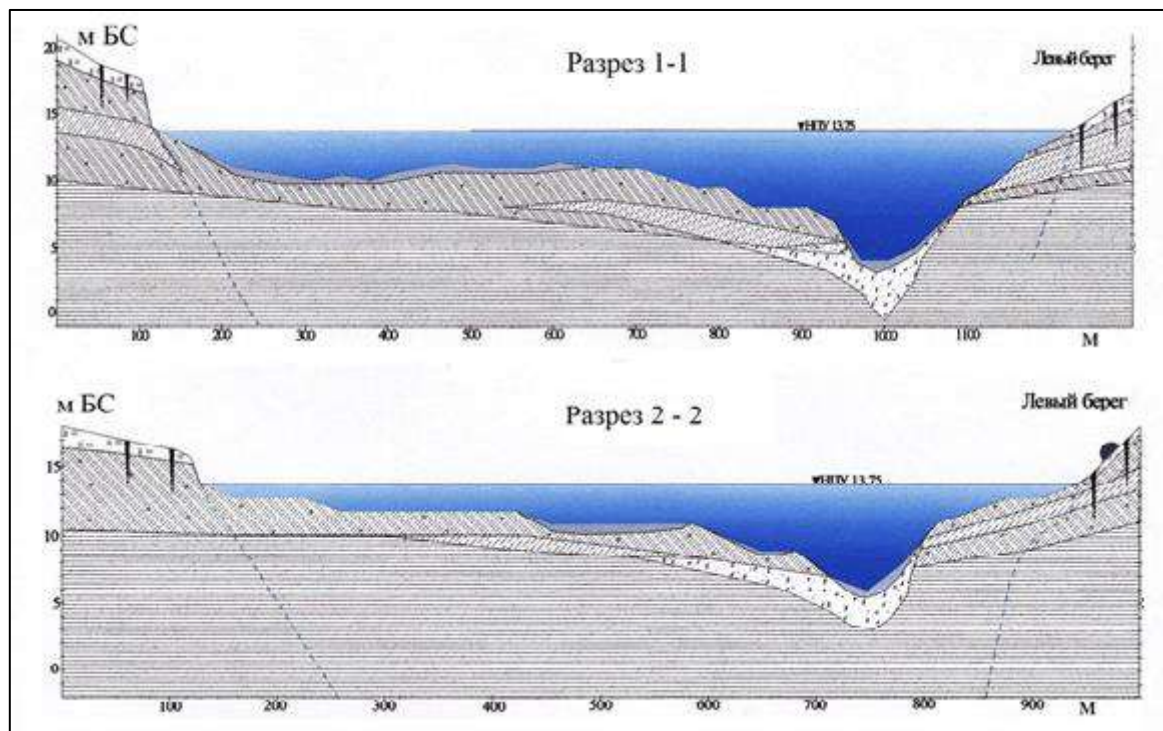


Рис. 16.20. Геологические разрезы. Анадырское водохранилище. ВНИИГ, 2008 г.

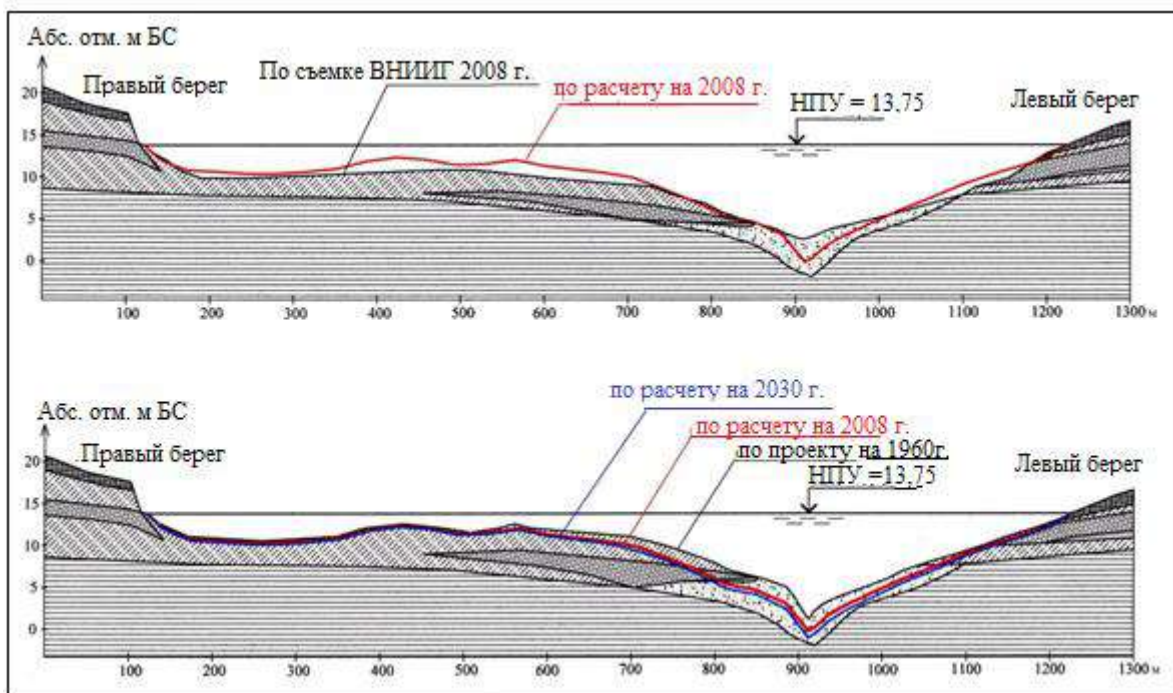


Рис. 16.21. А. Проектный на 1960 г., натуральный на 2008 г., расчетный на 2008 г. и прогнозный на 2030 г. профили дна Анадырского водохранилища. Разрез 1 – 1

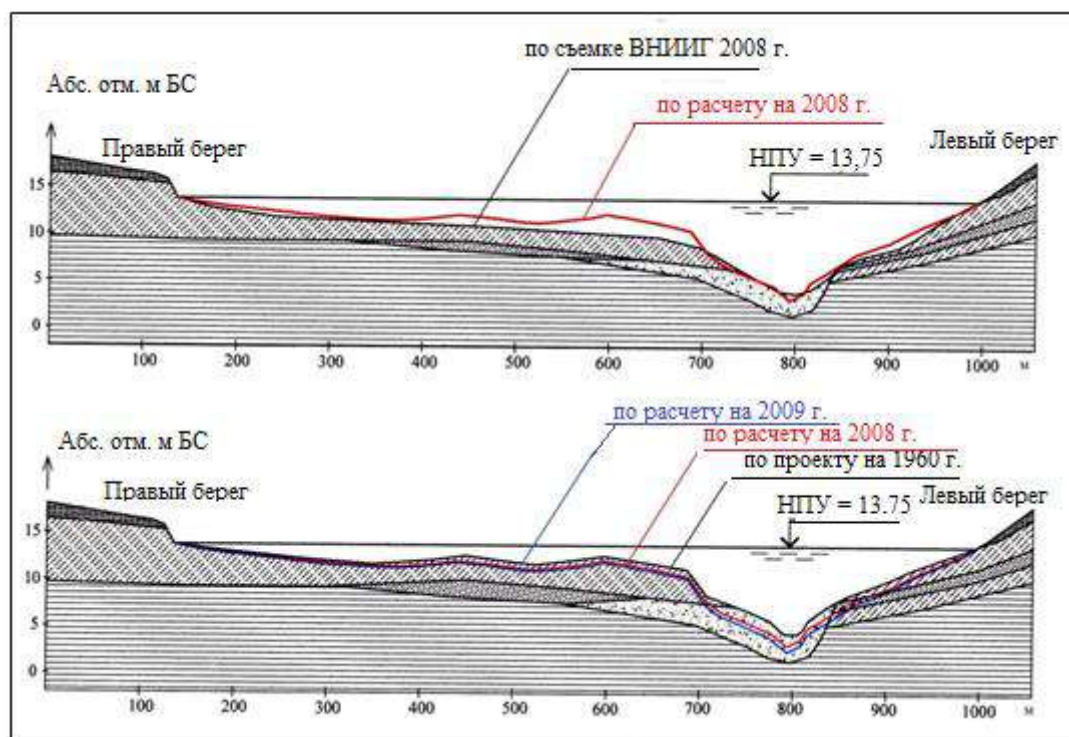


Рис. 16.21 Б. Проектный на 1960 г., натуральный на 2008 г., расчетный на 2008 г. и прогнозный на 2030 г. профили дна Анадырского водохранилища. Разрез 2 – 2

завершилось протаивание льдистых (просадочных) четвертичных отложений, талик заглубился в малольдистые морские глины и суглинки, дальнейшая тепловая осадка ложа водохранилища почти прекратилась. На рис. 16.21 А, Б нанесены профили дна водохранилища в разрезах 1 – 1, 2 – 2, построенные по проектному топоплану на 1960 г.; определенные натурной съемкой ВНИИГа на 2008 г.; полученные расчетом на 2008 г.; прогнозные на 2030 г., причем на двух последних (полученных расчетом) объем аккумуляции продуктов разрушения берегов за малостью и неопределенностью не показан. При глазомерном сопоставлении профилей можно заметить, что расчетное положение дна водохранилища на 2008 г. ниже проектного, а по съемке ВНИИГ 2008 г. ниже расчетного (за исключением русла, где скопились наносы, неучтенные расчетом). При этом расхождения расчетных и натуральных профилей 2008 г. незначительны, что указывает на достоверность моделирования.

За счет тепловой осадки ложа в период 1986 – 2008 гг. полный объем водохранилища увеличился с 6,19 млн м³ до 7,23 – 7,36 млн м³, т.е. на 16,8 – 18,9 %, а к 2030 г. возрастет до 7,55 млн м³ – на 21,9 % против проектного (см. табл. 16.3).

С топопланов 1986 и 2008 гг. вычленены и совмещены на рис. 16.22 линии урезов водохранилища.

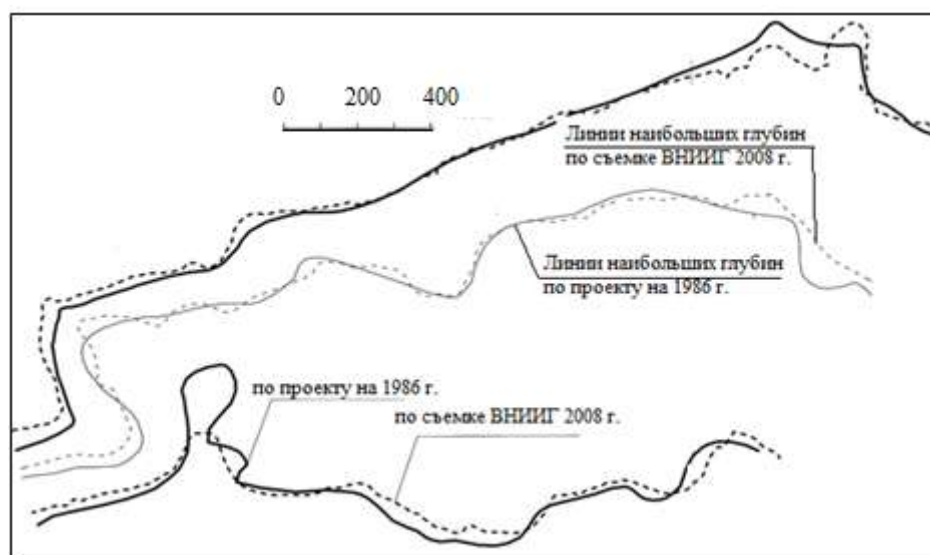


Рис. 16.22. Совмещенные проектный на 1986 г. и натурный на 2008 г. планы урезов воды Анадырского водохранилища при НПУ = 13,75 м БС

Сопоставление показало, что за 22 года урез местами переместился вглубь суши за счет переработки участков термоабразионных и

термокарстовых берегов, местами – вглубь акватории вследствие образования биогенной (торфянистой) суши на заболоченных участках, и было выявлено увеличение длины береговой линии на 16,9 % при уменьшении площади зеркала водохранилища на 1,34 % (см. табл. 16.3).

16.4. Описание процессов переформирования мерзлых берегов водохранилищ

В общей типизации (см. раздел 14.3.), выделена генетическая **группа термоабразионных берегов** водохранилищ области вечной мерзлоты. Группа объединяет генетические типы берегов, обособленные согласно ведущего берегового процесса:

- термоабразионные – берега, переформировывающиеся под совместным воздействием тепловой и механической (волновой) энергии воды;
- термокарстовые – берега, переформировывающиеся преимущественно вследствие оттаивания и тепловой осадки льдистых пород;
- термоденудационные – берега, переформировывающиеся вследствие оттаивания и разрушения надводного уступа.

У Усть-Хантайского водохранилища выявлены берега (рис. 16.23): эрозионные, преимущественно на подпорах рек; термоабразионные с наличием визуально наблюдаемых явлений процесса термоабразии – уступов, ниш, оседания поверхности, термокарста; подтопленные низменные и заболоченные (рис. 16.24); подверженные морозному выветриванию [327].

Проектом Курейского водохранилища определены по его периметру 26 участков мерзлых песчаных берегов длиной от 500 до 2 500 м, отнесенных к термоабразионному типу.

Берега Вилуйского водохранилища (рис. 16.25) в зоне колебания уровня воды большей частью сложены маломощными четвертичными отложениями элювиально-делювиального происхождения, подстилаемыми коренными породами [277] (рис. 16.26), имеют уклон от 5 – 10° до 15 – 20°. Выделяются: скальные (рис. 16.27), нейтральные, аккумулятивные (см. рис. 14.14), биогенные, термоденудационные, термоабразионные (рис. 16.28), термокарстовые (рис. 16.29) берега [90].

На Усть-Среднеканском водохранилище изысканиями института Ленгидропроект выявлены типы берегов: абразионно-денудационные, термоабразионные с уклоном от 2° до 15° и круче, эрозионные унаследованные,

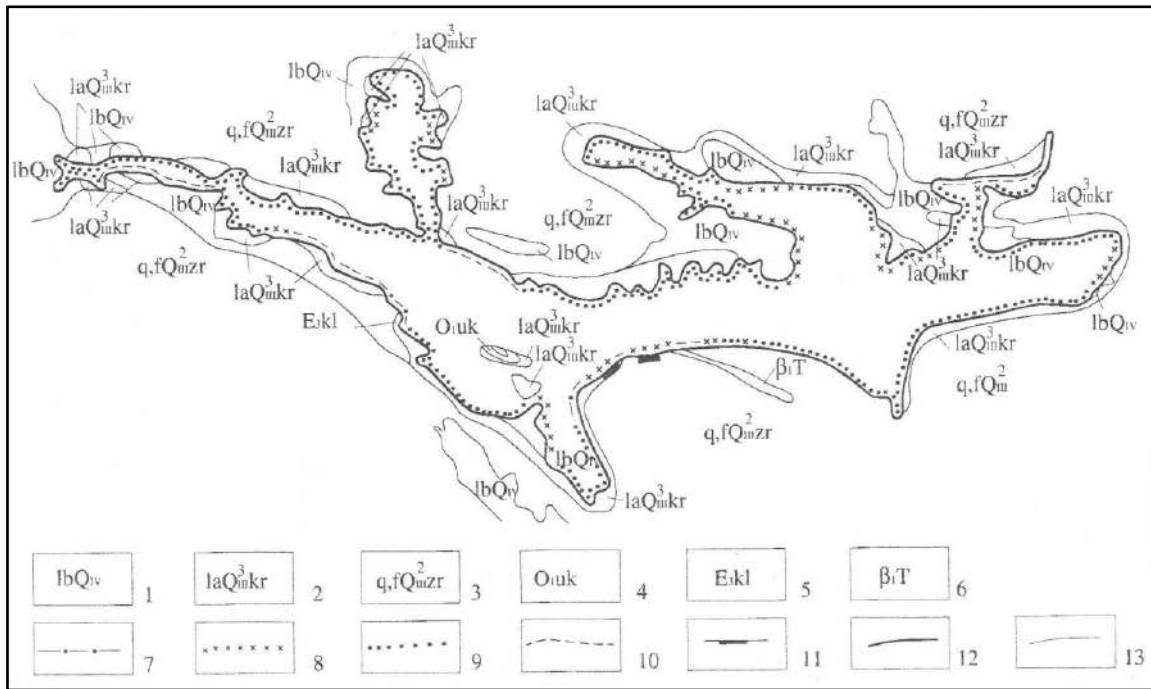


Рис. 16.23. Схематический план типов берегов Усть-Хантайского водохранилища по состоянию на 1976 – 1978 гг.:

геологическое строение: 1 – современные озерно-болотные отложения: торф средней мощностью 2,1 м, супеси, суглинки с прослоями торфа мощностью 0,5 м; 2 – верхнечетвертичные озерно-аллювиальные отложения: ленточные глины, суглинки, супеси, пески мощностью 4,0 м; 3 – верхнечетвертичные ледниковые и водно-ледниковые отложения: валунные суглинки, пески мощностью 8,0 м; 4 – нижнеордовикские отложения: доломитизированные известняки с прослоями мергелей; 5 – верхнекембрийские отложения: известняки, доломиты; 6 – триасовые интрузии: дайки и силы долеритов; типы берегов: 7 – эрозионные (27 км); 8 – термоабразионные (221 км); 9 – подтопленные (599 км); 10 – подверженные морозному выветриванию (147,0 км); 11 – искусственные (5,1 км); прочие знаки: 12 – линия берега; 13 – стратиграфическая граница [327]



Рис. 16.24. Мелководья Усть-Хантайского водохранилища с низменными берегами и видимыми проявлениями термокарста. 2005 г.

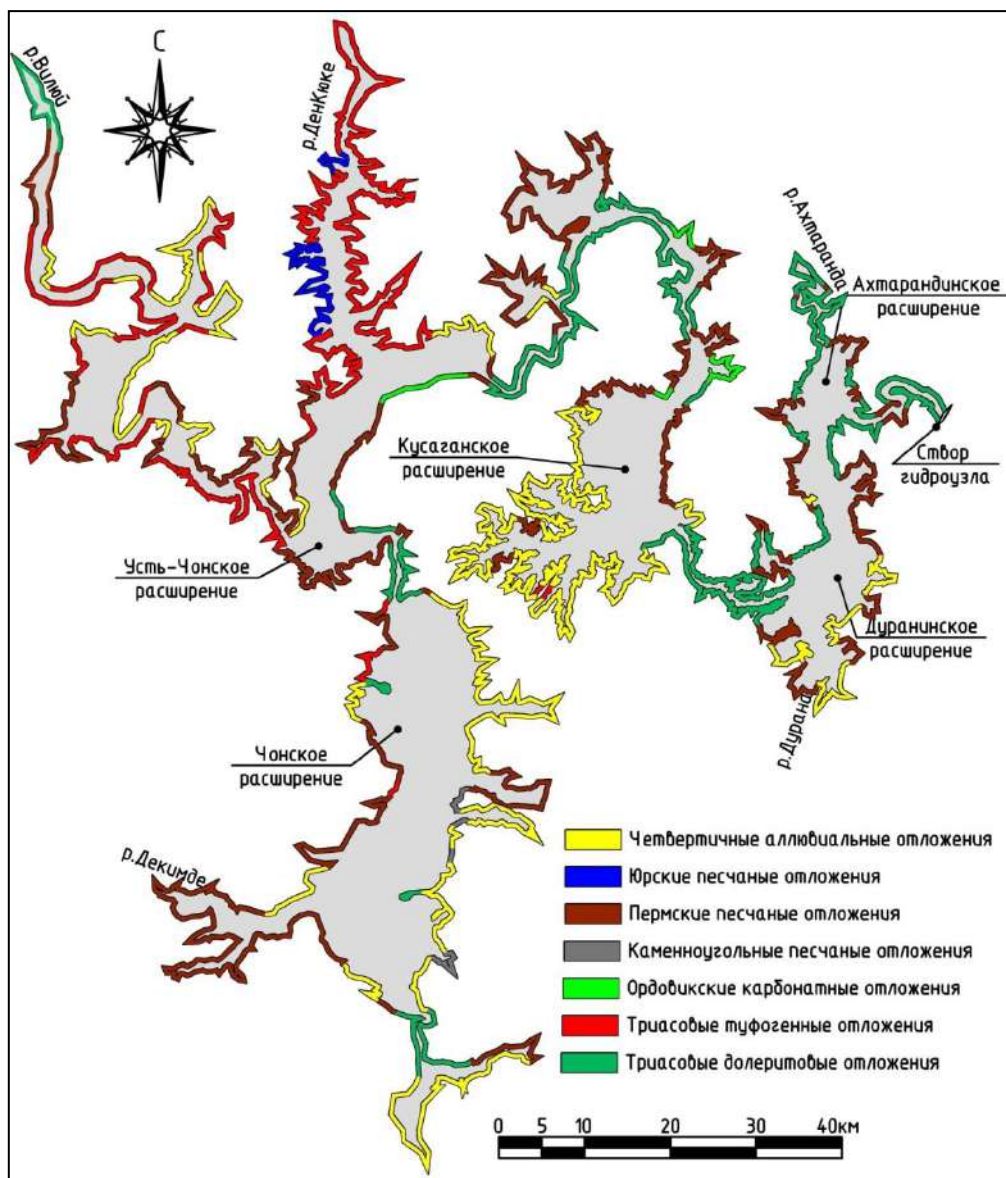


Рис. 16.25. Схема геологического строения берегов Вилюйского водохранилища [673]



Рис. 16.26. Скальный правый берег в Ахтарандинском расширении Вилюйского водохранилища, прикрытый слоем четвертичных отложений



Рис. 16.27. Обрывистый скальный берег Вилюйского водохранилища в районе Кусаганской «трубы»



Рис. 16.28. Термоабразионный левый берег Вилюйского водохранилища в Дуранинском расширении



Рис. 16.29. Термокарстовый провал в левом берегу Вилюйского водохранилища в 5 км ниже устья р. Денкюке. Фото ВНИМС, 1985 г.

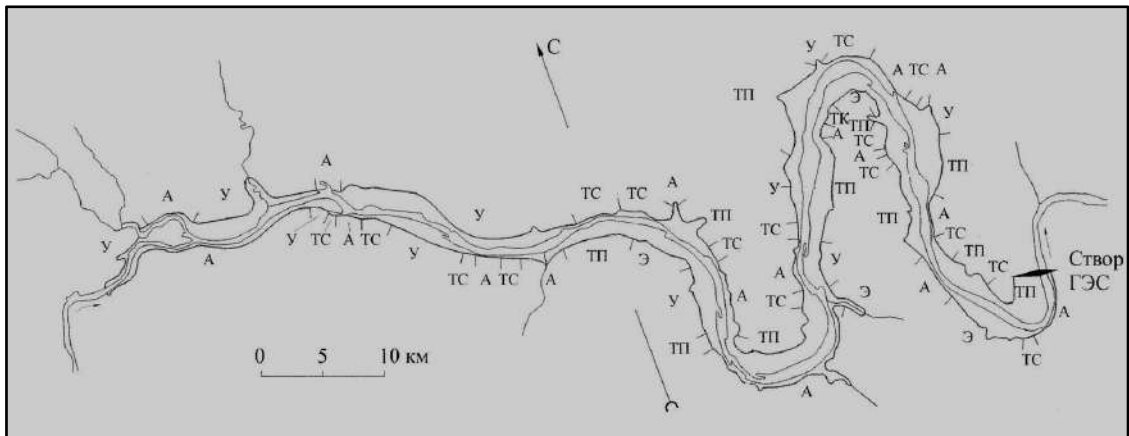


Рис. 16.30. Вид в среднем течении р. Колымы и проектный план водохранилища Усть-Среднеканской ГЭС при НПУ = 290,0 м с границами типов берегов: А – абразионно-денудационные (74 км); Т – термоабразионные (93км) пологосвальные с уклоном 2...5°(ТП), свальные с уклоном 5...15° (ТС), крутосвальные с уклоном больше 15° (ТК); Э – эрозионные унаследованные (23 км); У – устойчивые (63км)



Рис. 16.31. Устойчивые к размыву берега Иреляхского водохранилища, удерживающие площадь его зеркала в проектных размерах. 2011 г.

устойчивые унаследованные с уклоном менее 2° (рис. 16.30).

Табл. 16.4 содержит сведения о протяженности термоабразионных берегов водохранилищ ГЭС в области вечной мерзлоты.

Таблица 16.4.

Протяженность термоабразионных берегов водохранилищ гидроэлектростанций в криолитозоне

Водохранилище	Источники информации	Длина береговой линии, км	Протяженность берегов, подверженных термоабразии	
			км	%
Виллойской ГЭС-I, II	проект, 1977 г.	2 750	2 100	76
	данные 1985 г. [90]	2 400	320	12
Светлинской ГЭС	–	–	–	–
Усть-Хантайской ГЭС	проект, 1977 г.	970	600	62
	данные 1978 г. [327]	999,4	221	22,1
Курейской ГЭС	проект, 1990 г.	731	50	6,8
Колымской ГЭС	–	–	–	–
Усть-Среднеканской ГЭС	проект, 1991 г.	250	93	37,2
Эвенкийской ГЭС	проект 2011 г. [334]	5 630	282	5

Из данных табл. 16.4 видно, что термоабразионные берега больших водохранилищ криолитозоны занимают от 5 % до 37,2 % протяженности береговой линии, а основную долю составляют другие, в том числе нейтральные берега.

У малых водохранилищ криолитозоны способными к термоабразионному разрушению оказываются обычно недлинные участки берегов [573]. Так, борта Анадырского водохранилища (1,47 км², см. рис. В.4, 16.19, 16.20) слагают льдистые и сильнольдистые отложения, характеризующиеся пестротой состава и строения разреза: от супесей и суглинков, часто оторфованных, до дресвяно-щебенистых грунтов с супесчаным и суглинистым заполнителем. Термоабразия является ведущим береговым процессом правого наветренного берега на протяжении 500 м. Здесь формируются обрывистые уступы высотой 1,5 – 3 м, наблюдаются термоабразионные ниши, в которых обнажаются полигонально-жильные льды. В надводной части склона отмечаются проявления обвально-оползневого и термосолифлюкционного процессов. Остальные берега низкие, заболоченные, на протяжении 1,2 км – термокарстовые [324]. Берега Иреляхского водохранилища (см. рис. 16.7) почти на всей протяженности устойчивы к размыву (рис. 16.31).

Переформирование берегов водохранилищ и их аналогов – термокарстовых озер в криолитозоне наблюдали и описывали, начиная с 1960-х гг., ученые разных организаций [25; 26; 90; 185; 304; 324; 327; 364; 443; 453; 454; 455; 542; 639; 640; 641; 642; 643; 669; 673], в том числе ННГАСУ [72; 103; 104; 155; 156; 573; 587; 595]. Научные публикации в большинстве малоиллюстративны. Скромно помогает всезнающий интернет: наблюдения туриста, путешествующего по берегам водохранилищ Сибири, случайны и тенденциозны, у него обычно нет нужной подготовки, его объектив ловит пейзажи и закаты, а не формирующиеся берега. Поэтому из иллюстраций здесь обходимся теми, что есть.

Из материалов наблюдений вычленены качественные закономерности берегопереформирований и зафиксированные количественные сведения, составлены инфологические модели процессов [573; 587].

Берега больших глубоководных водоемов, сложенные мерзлыми рыхлыми породами, разрушаются под совместным воздействием тепловой и механической (преимущественно волновой) энергии водных масс. У **термоабразионного берега** (рис. 16.32), также как у абразионного, выделяются надводный береговой уступ (обрыв), крутой вплоть до вертикального в период интенсивной термоабразии; береговая отмель, имеющая абразионную и аккумулятивную части и располагающаяся в пределах размывающего действия волн; подводный откос (свал) отмели, ниже – подводный береговой склон (дно водохранилища). Весной оттаивание берега, как правило, опережает размыв, поэтому абразионная часть береговой отмели к началу лета покрыта слоем талого грунта, являющегося теплоизолятором, замедляющим ее дальнейшее оттаивание. Наиболее интенсивный теплообмен происходит при волнении у подножия берегового уступа на контакте воды с обнаженными мерзлыми породами. Здесь вырабатывается термоабразионная ниша. На Вилюйском водохранилище наблюдались в берегах ниши глубиной до 4 м, выработанные одним штормом (рис. 16.33). В процессе наполнения водохранилища Курейской ГЭС в мерзлых песчаных и супесчаных береговых склонах крутизной 70 – 80° вырабатывались ниши глубиной до 2 м. На малом Билибинском водохранилище (0,662 км²) протяженность полосы термоабразионной переработки составляет 310 м вдоль правого берега – с обрывистым уступом высотой 1,5 – 3 м, нишами глубиной до 2 – 4 м, оползевыми проявлениями (рис. 16.34).

Форма ниши обычно близка к клиновидной, высота с глубиной уменьшается до 0,2 – 0,5 м. Берег над нишей нависает в виде консоли. Углубление

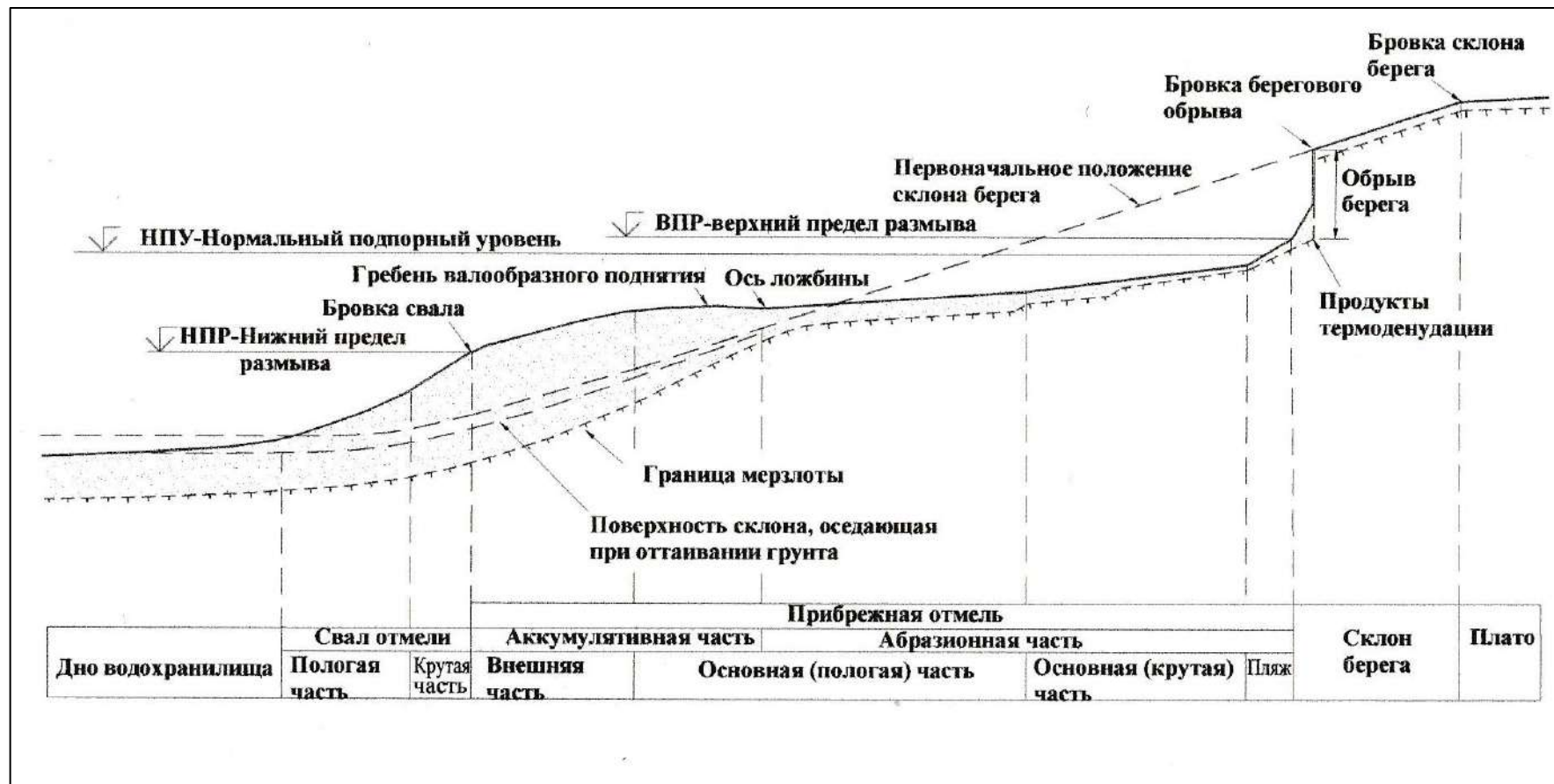


Рис. 16.32. Типичный профиль термоабразионного берега, сложенного песчаными породами [587]

а



б

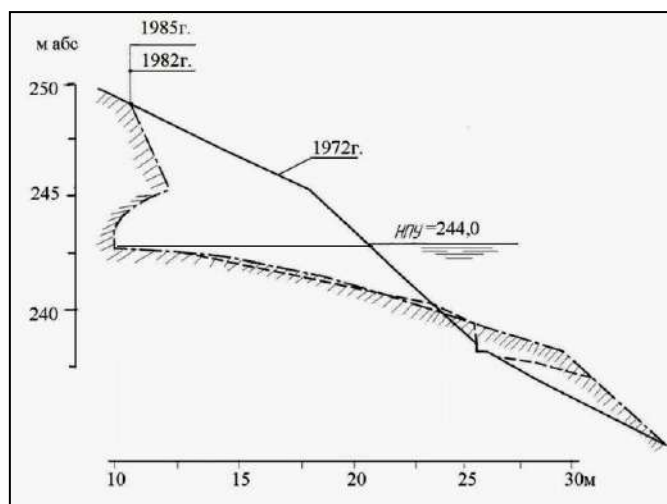


Рис. 16.33. Термоабразионные ниши в берегах Вилуйского водохранилища: а – Дуранинское расширение, берег сложен слабосцементированным песчаником (фото И.П. Константинова, 1976 г.); б – Кусаганское расширение, в береговом уступе чередуются слои известковистых песчаников и известняков (данные ВНИМС)



Рис. 16.34. Термоабразионный участок сильнольדיстого правого берега Билибинского водохранилища [324]

ниши приводит к его обрушению под действием собственного веса. Обрушение может происходить по морозобойным трещинам в ледяных жилах. Обрушиваться могут массивы мерзлого грунта длиной до 500 – 700 м, они оттаивают и размываются водой за период от 1–2 летних месяцев до 1–2 лет постепенно опрокидываясь в сторону водоема. Последнее свидетельствует об оттаивании нижней части массива в зоне непосредственного контакта с водой. Из оттаявшего и размытого волнами грунта формируется береговая отмель в условиях тепловой осадки ее основания.

Процесс термоабразии затухает, когда отмель становится волноустойчивой. Колебания уровня воды водохранилища увеличивают ширину зоны переформирования берега и время достижения им стадии динамического равновесия.

Картина термоабразии, схожая с описанной для водохранилищ, издавна наблюдалась на берегах арктических морей (рис. 16.35).



Рис. 16.35. Картина разрушения термоабразионного берега (надводный уступ, термоабразионная ниша, обрушившийся массив берега, абразионная отмель) Восточно-Сибирского моря близ устья р. Кондратьевой, сложенного ископаемым льдом. 1909 г. [733]

Мы странно устроены – видим иногда только то, что собираемся увидеть, на месте того, что нам показывает на самом деле природа. Ученым не сразу удалось понять физическую подоплеку процесса термоабразии берегов водохранилищ, в связи с чем предлагались неудачные обобщения и схематизации [26]. Подчеркнем важное. Давление при ударе морской волны о берег может достигать 2 МПа, штормовых волн на водохранилищах 0,5 – 0,7 МПа [673]. Это давление недостаточно для непосредственного

разрушения мерзлого берега, так как в несколько раз меньше мгновенного сопротивления мерзлых дисперсных пород разрыву [696]. Поэтому непосредственное разрушение мерзлого берега волнами невозможно. Размыву мерзлых нескальных пород должно предшествовать их оттаивание [587; 595]. У этого положения имеются сторонники [431; 513; 573] и противники [26; 27; 351]. Бывает [690], что некоторые никогда не признаются в своей неправоте [26] и продолжают поиски новых, часто не обоснованных (пестрящих догадками), аргументов в пользу своих старых идей [27].

В береговом склоне, сложенном мерзлой дисперсной породой, при его разрушении под воздействием волн образуется надводный термоабразионный уступ (см. рис.16.32). На уступе мерзлый грунт оттаивает под действием солнечной радиации. Происходит медленное вязко-пластичное течение оттаявшего слоя грунта вниз по уступу, возникающее под влиянием силы тяжести. Процесс называется **криосолифлюкцией** или **термоденудацией** (рис. 16.36).

В природе наблюдается, что при термоденудации мерзлая поверхность уступа не остается обнаженной, а покрыта хотя бы тонким слоем оттаявшего грунта, не успевшего стечь вниз [26; 463]. При фиксированной крутизне уступа толщина этого слоя лимитируется только физико-механическими свойствами породы и для данного грунта является постоянной. Например, на склоне крутизной $90 - 30^\circ$ сложенном мерзлым суглинком, имеющим после оттаивания суммарную влажность 45 %, она может составить 0,045 – 0,089 м [581].

В период интенсивной термоабразии роль термоденудации несущественна, ее продукты, стекающие к подножию берегового уступа, смываются волнами. После затухания термоабразии процесс термоденудации уступа продолжается до тех пор, пока эти продукты не закроют обнажение мерзлой породы и не изолируют его от непосредственного контакта с воздухом. Таким образом, термоденудация берега со временем может привести к выполаживанию (отмиранию) берегового уступа (рис. 16.37). Даже при значительной скорости термоденудации (рис. 16.38) процесс отмирания высокого берегового уступа может длиться многие десятилетия и на водохранилищах криолитозоны пока не фиксировался.

На рис. 16.39 представлены графики оттаивания уступа из суглинка в предположении, что его поверхность покрыта тонким слоем оттаявшего грунта или же обнажена. Там же нанесена линия оттаивания уступа из льда в пренебрежении эффекта от пленки, стекающей по плоскости оттаивания



Рис. 16.36. Криосолифлюкция на берегу Анадырского водохранилища [324]



Рис. 16.37. Термоденудационное выполаживание берегового уступа на одном из Новосибирских островов в море Лаптевых [15]

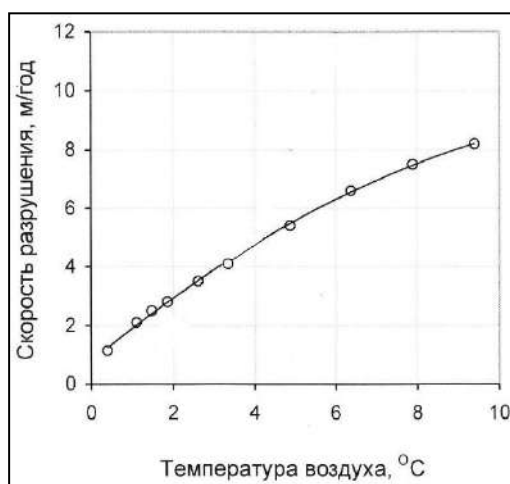


Рис. 16.38. Наблюдаемые скорости разрушения ледистых берегов восточных арктических морей в процессе термоденудации [26; 513]

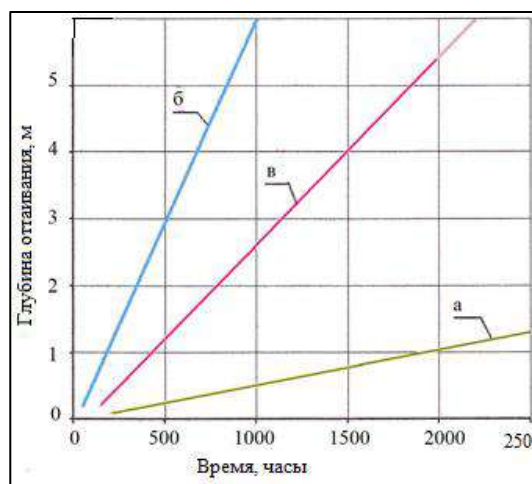


Рис.16.39. Расчетное оттаивание при температуре воздуха 8°C вертикальных уступов:
 а – из суглинка при $b = 0,045$ м;
 б – то же при $b = 0$; в – из льда при $b = 0$ [581]

влаги. Существенно меньшей скоростью оттаивания уступа, покрытого слоем оттаявшего грунта, можно объяснить причину, по которой льдистые берега некоторых арктических водоемов практически не оттаивают за лето.

В условиях, когда волнения практически нет, берега отступают вследствие оттаивания и осадки многолетнемерзлых льдистых пород. На первое место выступают явления **термокарста**, термоабразия же приобретает чисто тепловой и наименее интенсивный вид. Термоабразионные ниши не вырабатываются, береговая отмель обычно не образуется за недостаточным количеством продуктов разрушения берега, растекающихся по дну или откладывающихся с малым уклоном береговой зоне. Так происходит обычно переформирование берегов малых водохранилищ и на мелководьях больших водохранилищ.

На рис. 16.40 показана модельная картина переформирования термокарстового берега в условиях Усть-Хантайского водохранилища. Берег сложен суглинками льдистостью 70 – 80 %, дающими осадку при оттаивании 55 – 60 %.

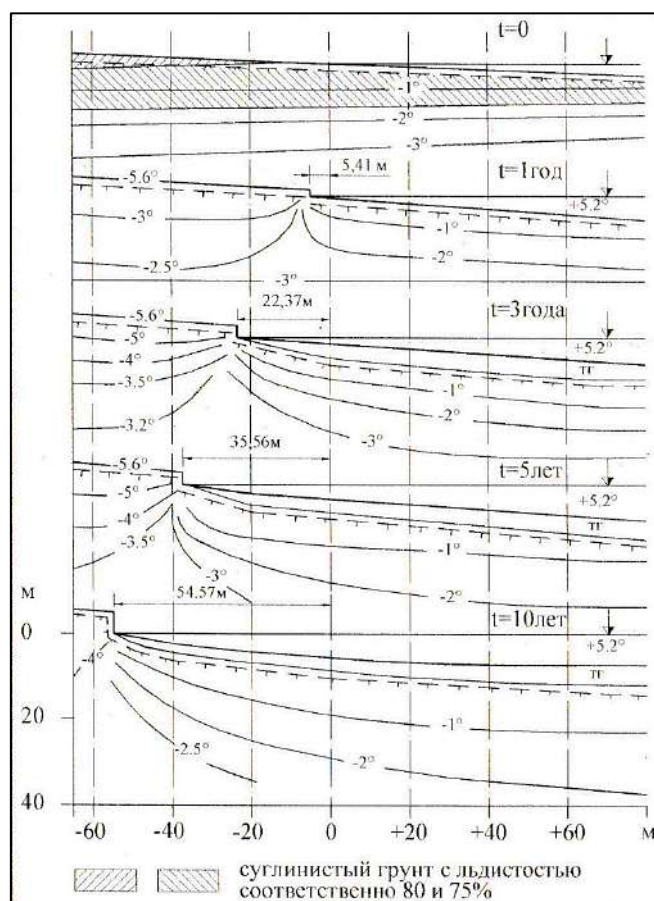


Рис. 16.40. Хронологическое изменение профиля и температурного состояния термокарстового берега в условиях Усть-Хантайского водохранилища [158]

Склон очень пологий и вряд ли стал бы разрушаться в условиях умеренного климата. Здесь же осадка оттаивающего грунта является причиной деформации склона. За 10-летний период берег отступает на 55 м со слегка затухающей с годами интенсивностью [156; 158]. В действительности скорость разрушения супесчано-суглинистых берегов мелководий Усть-Хантайского водохранилища составляла до 10 – 15 м/год в 1977 г., до 8 м/год в 1977 – 1978 гг. [327] и аж 47 м/год в 1981 – 1982 гг. [455], если была верно измерена.

Своеобразно проявляется процесс разрушения берегов, сложенных с поверхности тектонически нарушенными, но прочными в отдельных блоках **скальными породами**, изначально мерзлыми в массиве. По мере оттаивания блоки пород проседают, формируя глубокие рвы, колодцы, заливы с крутыми стенками. Такое можно видеть на водохранилище Виллойской ГЭС [272] (см. рис. 16.29).

При развитии мерзлых берегов водохранилищ в зависимости от свойств слагающих их горных пород, профиля берега, гидрологического режима водохранилища, температур воздуха, грунтов берега и воды, других факторов можно наблюдать и предполагать весьма разнообразные количественные сочетания тепловых и механических процессов. Однако механизм разрушения, отражающий ведущий береговой процесс, является интегральным для всего комплекса факторов берегопереформирования [587].

Попытки прогнозирования переформирования термоабразионных берегов водохранилищ были начаты в нашей стране с 1970-х гг. [22; 155; 156; 159; 186; 194; 220; 221; 271; 642; 643; 717], но развития не получили. Только методика А.И. Ермолаева [220; 221], включающая «операции по прогнозированию абразионного процесса и дополнительные расчеты по определению величины оттаивания, а также построение профиля поверхности в результате осадки» помещена в Инструкцию по проектированию гидротехнических сооружений в районах распространения вечномерзлых грунтов [263] и используется в ОАО «Ленгидропроект» до сих пор [334]. По ней был сделан, например, прогноз берегопереформирования в проекте водохранилища Усть-Среднеканской ГЭС на р. Колыме (см. рис. 16.30, табл. 16.5). Особенности мерзлотно-геологического строения долины и уровня режима водохранилища обуславливают замедленное формирование его берегов: не ожидается развития крупных гравитационных деформаций в береговой зоне, отступление берегов вследствие термоабразии за первые 10 лет существования водохранилища не превысит 5 м, прогнозное изъятие земель в результате берегопереработки составит 47 га (0,17 % площади водохранилища

при НПУ).

Таблица 16.5

**Типы берегов водохранилища Усть-Среднеканской ГЭС
и прогнозные величины их переработки**

Типы берегов		Обозначение на плане водохранилища (рис. 16.30)	Длина, км	Прогнозные величины переработки, м		
				за 10 лет	за 100 лет	на конечную стадию
Абразионно-денудационные		А	74	1 – 3	3,5 – 8,5	15 – 40
Термоабразионные	с уклоном 2°–5°	ТП	93	1,5 – 2,5	4 – 6	120 – 185
	с уклоном 5°–15°	ТС		2 – 5	7 – 10	40 – 85
	с уклоном > 15°	ТК		5	15	400
Эрозионные унаследованные		Э	23	1 – 3,5	2 – 10	180 – 250
Устойчивые унаследованные		У	63	–	–	–
Длина береговой линии			253			

Условия развития берегов водохранилищ области вечной мерзлоты отличаются от условий развития берегов арктических морей [26; 27], поэтому известные методы прогноза разрушения морских берегов [95; 351; 353; 513;] напрямую применить к берегам водохранилищ не удастся.

В ННГАСУ, начиная с 1990-х гг., делались практические шаги по формализации, математическому описанию, разработке инженерных моделей и автоматизации расчетов переформирования берегов водохранилищ, сложенных вечномерзлыми породами [573; 576; 580; 581; 585; 587; 595; 692; 693], и сегодня доступно моделирование термоабразионных (и термокарстовых) берегов водохранилищ криолитозоны с помощью современных вычислительных средств. В том числе: энергетическим методом на многолетний срок по среднегодовым гидрологическим и климатическим данным [580; 584; 585; 586] и за один безледоставный сезон с учетом штормовой погоды [691; 693]; адаптивным (вероятностным) методом в продолжение береговых деформаций, измеренных в предшествовавший период эксплуатации водохранилища [188]; то же методом фрактального анализа [601].

При обосновании проектов водохранилищ требуется прогнозировать берегопереформирование на конечную стадию, главным образом для потен-

циально возможного изъятия земель на обозримую перспективу [263]. Понятие конечной стадии переформирования (или предельного состояния) мерзлого берега водохранилища весьма условно. В первом приближении можно считать, что профиль берега получит предельное состояние, когда полностью протает просадочная толща пород основания и подводная поверхность примет уклон устойчивой отмели, рассуждая, что после этого продукты разрушения не смогут растекаться по дну и начнут скапливаться у подножия берегового уступа, открывая начало процессу термоденудационного выполаживания последнего. Известен тезис о возможности неограниченного теплового разрушения берегов [26]. Он был изначально выдвинут в отношении арктических морей. Считается, что процесс термоабразии, характерный для их побережий, начавшись, по-видимому, около 6 тыс. лет назад, будет продолжаться, по крайней мере, до следующего похолодания климата, и термоабразионные берега все это время будут отступать. Правда, и в этом случае обнаруживается стремление морфодинамической системы «волны – рельеф дна» к равновесию, проявляющемуся в снижении уровня динамических воздействий вследствие выполаживания береговой отмели [352]. Таким образом, данный тезис не препятствует пользоваться условным понятием предельного состояния профиля берега водохранилища, определяемого уклоном волноустойчивой отмели.

16.5. Примеры переформирования термоабразионных берегов водохранилища

Вилуйское водохранилище. Расположено в восточной окраине Вилуйского траппового плато на расчлененной слабо холмистой территории с абсолютными отметками 350 – 400 м. Средняя многолетняя температура воздуха в районе от $-7,5$ °С (Туой-Хая) до $-10,4$ °С (Сюльдюкар), самая низкая наблюдается в январе ($-30,9$ °С), самая высокая – в июле ($+17$ °С). Вечномерзлые породы имеют мощность 300 – 500 м. Данные о геокриологической обстановке базируются на исследованиях, проведенных лишь в районе створа Вилуйской ГЭС, и характеристики мерзлой толщи по длине водохранилища могут меняться. Среднегодовые температуры пород в нижних частях склонов достигают $-6...7$ °С, повышаясь к водоразделам до -1 °С. Мощность снежного покрова не превышает 0,5 – 0,7 м.

Водохранилище имеет сложное очертание в плане и представляет собой чередование озеровидных расширений и каньонообразных участков (см. рис. 10.2). Площадь его водной поверхности 2 170 км² при НПУ = 244,0 м БС, площадь затопления земель – 1 112 км², из которых на зону периодического затопления приходится около 700 км² при величине сработки уровня 8 м. Водохранилище заполнялось с 1967 г. по 1973 г., с тех пор эксплуатируется в нормальном режиме. Ветровой режим зоны водохранилища изучался на стационаре Виллюйской НИМС. Данные наблюдений за три безледных сезона (1972 – 1974 гг.) показали, что при продолжительности наблюдений 120 суток в сезон количество дней с ветрами было 99,7 (83 %). Преобладали слабые ветры 1 – 2 м/с (50,8 %), 3 – 5 м/с (33,5 %). Доли более сильных ветров следующие: 6 – 8 м/с – 11,7 %, 9 – 11 м/с – 3,2 %, 12 м/с и более – 0,8 %. Больше всего дней с ветрами в сентябре и октябре. Штормовые ветры наблюдались 1 – 2 раза за сезон, главным образом осенью и в начале лета. В 1972 г. отмечены два шторма при скоростях ветра 15 – 17 м/с, в 1973 г. аналогичный шторм был один раз, а в 1974 г. наблюдался шторм при ветре 12 – 14 м/с. При штормах происходили наиболее заметные разрушения берегов водохранилища. Наибольшая толщина льда зафиксирована 14 мая 1974 г. в центральной части водохранилища – 107 см, средняя толщина льда 92 см [254].

Первые исследования берегов Виллюйского водохранилища были выполнены в период его заполнения летом 1968 г. В.М. Широковым [715]. В Ахтарандинском, Дуранинском, Кусаганском, Усть-Чонском и Чонском расширениях ВНИМС оборудовала 17 наблюдательных участков (см. рис. 10.2), где выборочно по профилям измерялась берегопереработка в 1972, 1978, 1982, 1983, 1984, 1985 гг. На базе топографической карты масштаба 1:100 000, полевых исследований, теоретических разработок Д. П. Финарова [673] и А. И. Ермолаева [220] берега были систематизированы по геологическому строению (см. рис. 16.25), сделана их типизация по группам (нейтральные, аккумулятивные, термоденудационные, термоабразионные термокарстовые) и зафиксировано состояние после десятилетия нормальной эксплуатации водохранилища (табл. 16.6).

В августе–сентябре 2011 г. ННГАСУ при организационном содействии ВНИМС экспедиционным порядком были проведены инструментальные измерения береговых профилей на участках № 1 – 7 (см. рис. 10.2), позволившие продлить ряды наблюденных прежде параметров берегоперестроения.

Таблица 16.6

Показатели берегов Вилюйского водохранилища после десятилетия его нормальной эксплуатации по данным ВНИМС, см. рис. 16.25 [254]

Протяженность береговой линии, км	814	22	400	455	583	45	57	Всего до 2500
Характерный уклон берега, град.	<5 и до 10	5 – 10	15 – 20 и более		5 – 10	5 – 10	10 – 20	–
Длина размываемых берегов, км	50,3	3	125	86	55	3,5	2	Всего 324,8 (13%)
Породы берегов	четвертичные аллювиальные отложения	юрские песчаные отложения	триасовые туфы	триасовые долериты	пермские песчаные отложения	каменноугольные отложения	ордовикские карбонатные отложения	–

Ниже помещены характерные примеры развития термоабразионных берегов водохранилища на этих участках [103; 104].

Участок № 6. Расположен на правом берегу Кусаганского расширения вблизи гидропоста Кусаган (рис. 16.41). Берег со склоном северной экспозиции крутизной 1–6° сложен аллювиальным мелким песком, обвальнo-осыпной термоабразионный. Измерения профилей берега проводились по 5 поперечникам. Результаты по двум из них представлены на рис. 16.42 и в табл. 16.7. В этих створах бровка образовавшегося термоабразионного уступа за 1972 – 2011 г. продвинулась в сторону суши на 34,2 – 27,8 м от первоначального уреза НПУ. Прогноз энергетическим методом показал, что к 2021 г. она еще отступит на 2,7 – 2,3 (см. табл. 16.7).

Термоабразионный процесс на участке № 6 с типичной для Вилюйского водохранилища наблюдаемой картиной отступления бровки берега подвергался анализу и прогнозу адаптивным методом [188]. Результат (рис. 16.43) определенно указал на продолжение замедления скорости термоабразии по мере увеличения длины береговой отмели (в стационарных климатических условиях). Если в течение последних 25 лет (1985–2011 гг.) средняя

скорость отступления бровки берега на участке была 0,32 м/год, то в следующие 20 лет она ожидается 0,24 м/год.

Таблица 16.7

**Наблюденные (1972 – 2011 гг.) и прогнозные (2011 – 2021 гг.)
характеристики переформирования берега Вилюйского
водохранилища на участках № 6 и № 7**

Участок	Створ	Годы	Величина отступления бровки берега от первоначального уреза НПУ		Объем размывной породы, м ³
			м	м/год	
№6	№1	2011	34,2	0,87	113,0
		2016	35,6	0,28	125,8
		2021	36,9	0,26	134,2
	№2	2011	27,8	0,71	100,1
		2016	29,0	0,24	105,4
		2021	30,1	0,22	109,9
№7	№1	2011	33,6	0,86	146,1
		2016	35,7	0,42	158,7
		2021	37,6	0,38	172,0

Участок № 7. Находится на правом берегу Кусаганского расширения водохранилища в 200 м от устья Усть-Чонской трубы (рис. 16.44). Склон юго-западной экспозиции, крутизна его от 5° до 11°. Берег сложен сильно выветрелыми известняками и песчаниками (карбонатные породы ордовика), обвальнo-глыбовый термоабразионный. На участке один наблюдательный створ, данные по которому приведены на рис. 16.45 и в табл. 16.7. Береговая отмель абразионного типа. Размываемые породы под воздействием преобладающего ветрового волнения юго-западного направления выносятся в Усть-Чонскую трубу и отлагаются на больших глубинах. Отступление бровки берегового обрыва к 2011 г. составило 33,6 м, а к 2021 г. бровка может продвинуться еще на 4 м вглубь суши (см. табл. 16.7).

Из полученных данных по участкам № 1 – 7 [103; 104] следовало, что наблюдаемые средние скорости разрушения термоабразионных берегов Вилюйского водохранилища за многолетний период эксплуатации (1972 – 2011 гг.) составили 0,35 – 1,41 м/год. Если обратиться за сравнением к материалам раздела 14.5, то можно усмотреть, что эти скорости сопоставимы с одноименными скоростями разрушения абразионных берегов Горьковского (0,7 – 1,3 м/год за 1957 – 2010 гг.) и Чебоксарского (0,2 – 1,2 м/год за 1981 – 2011 гг.) водохранилищ. Хотя инфологические модели процессов частично разные, большого противоречия между ними нет. По прогнозным



Рис. 16.41. Термоабразионный обвално-осыпной правый берег Вилюйского водохранилища на участке № 6 в Кусаганском расширении, сложенный мелкими песками. 2011 г.

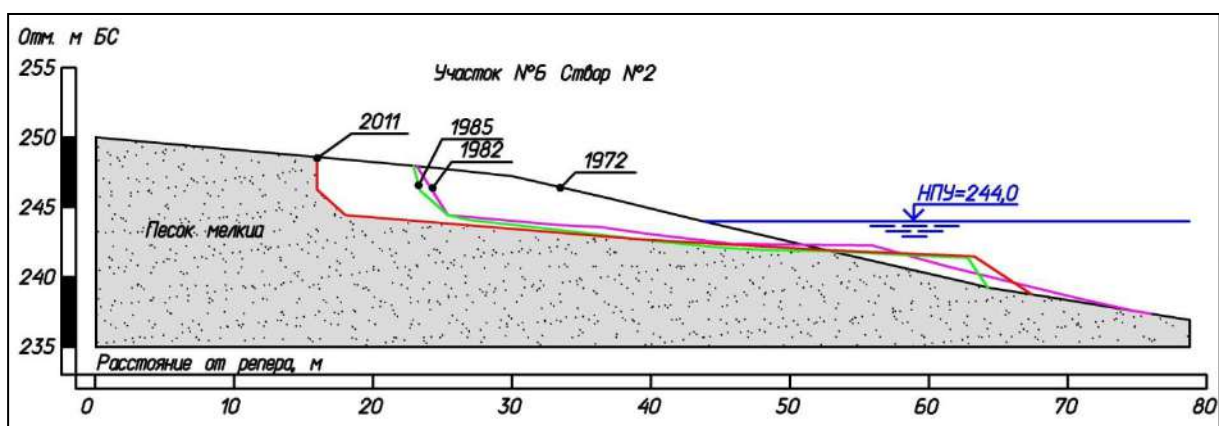
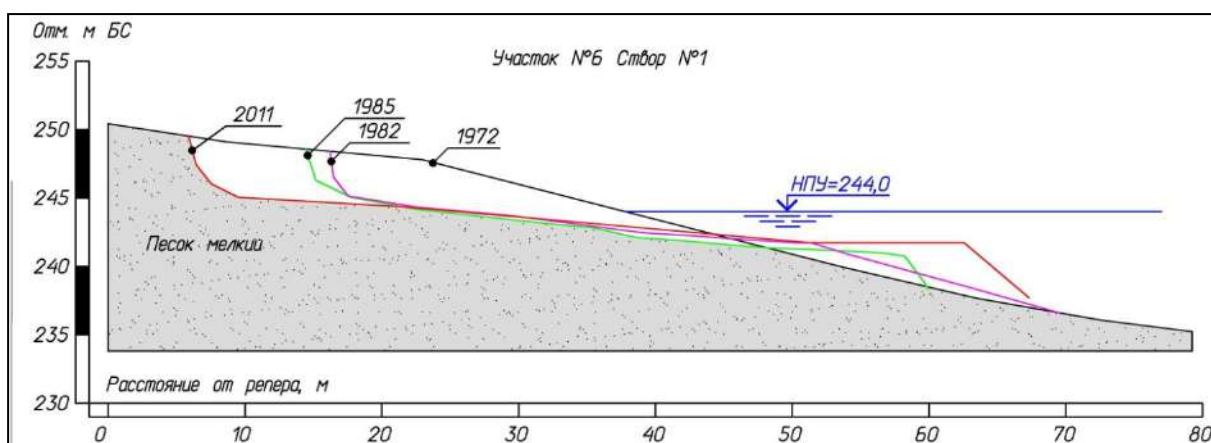


Рис. 16.42. Наблюденные профили термоабразионного берега Вилюйского водохранилища на участке № 6 в створах № 1 и № 2 в Кусаганском расширении за период эксплуатации 1972 – 2011 гг.

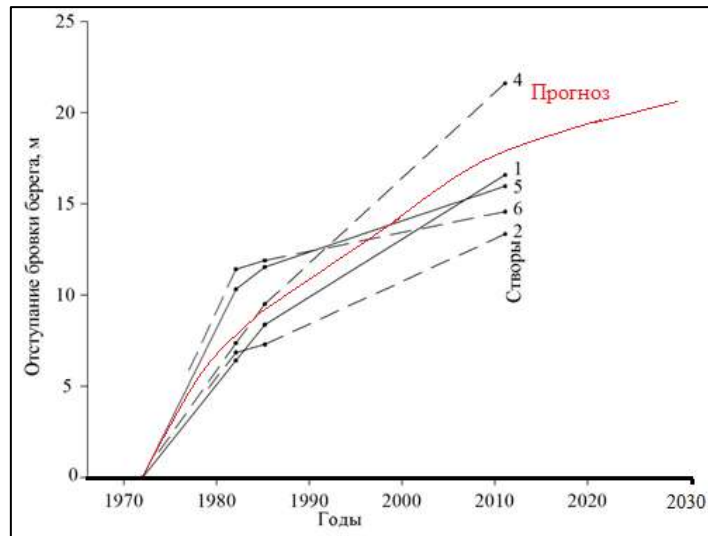


Рис. 16.43. Графики наблюдаемого отступления бровки термоабразионного берега Вилюйского водохранилища на участке № 6 (ломаные линии) и адаптивная модель динамики процесса (плавная линия)



Рис. 16.44. Термоабразионный правый берег Вилюйского водохранилища на участке № 7 в Кусаганском расширении вблизи Усть-Чонской трубы

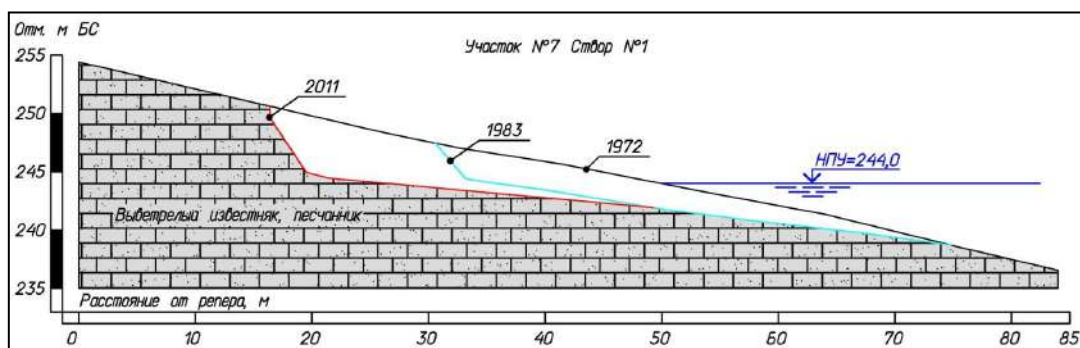


Рис. 16.45. Наблюдаемые профили термоабразионного берега Вилюйского водохранилища на участке № 7 в створе № 1 вблизи устья Усть-Чонской трубы

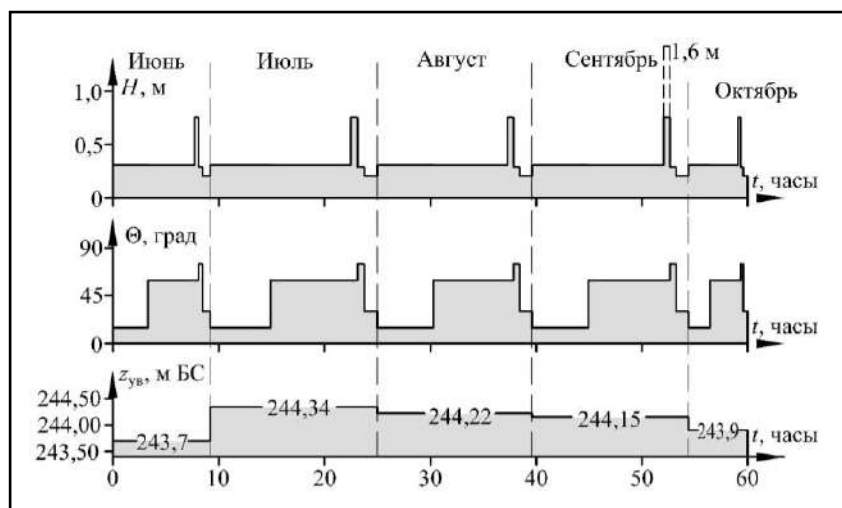


Рис. 16.46. Гидрологические данные по участку № 6 берега Вилуйского водохранилища: H – высота волн, пунктиром – шторм обеспеченностью 25 %; Θ – угол подхода волн к берегу; $Z_{ув}$ – уровень воды; t – время

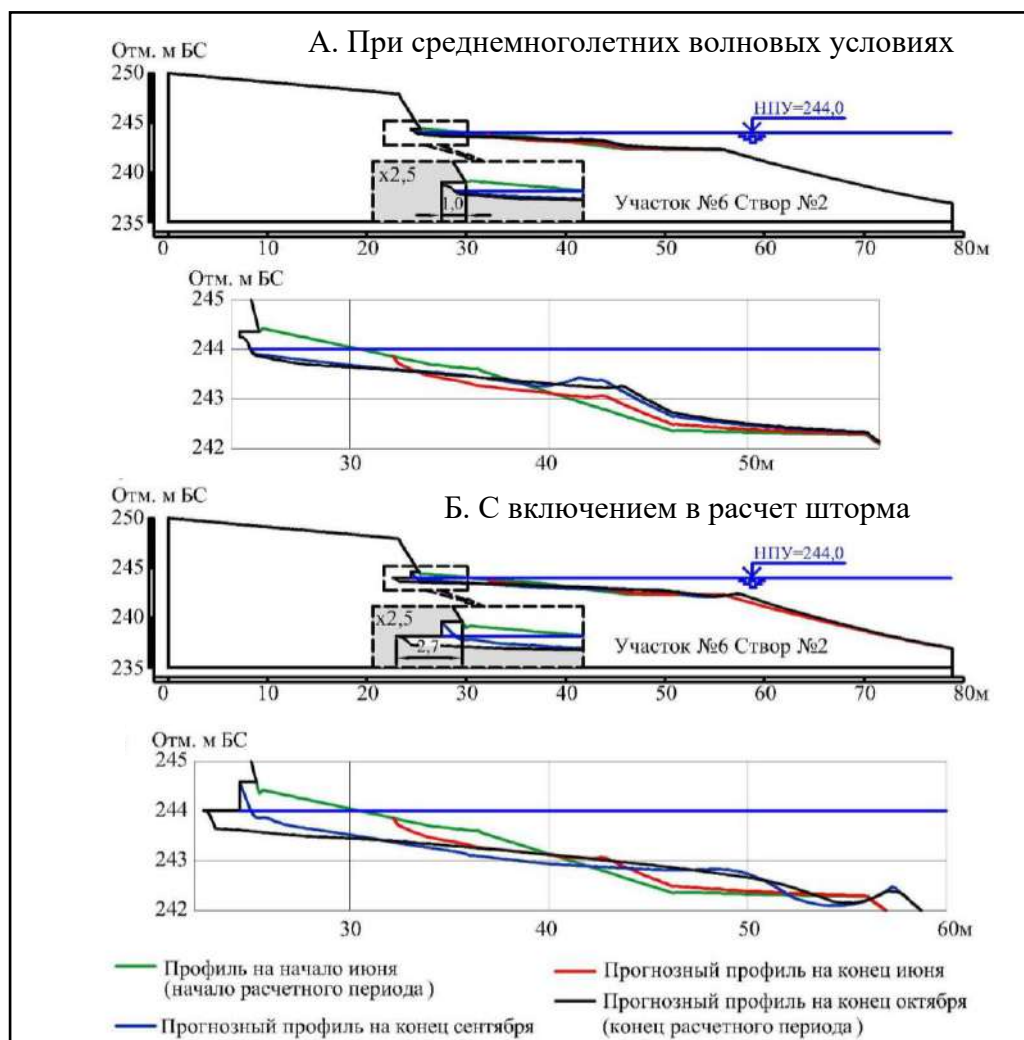


Рис. 16.47. Иллюстрация расчетного переформирования берега Вилуйского водохранилища на участке № 6 в створе № 2 за летний период без учета и с учетом шторма



Рис. 16.48. Долина р. Вачи на Патомском нагорье [14]

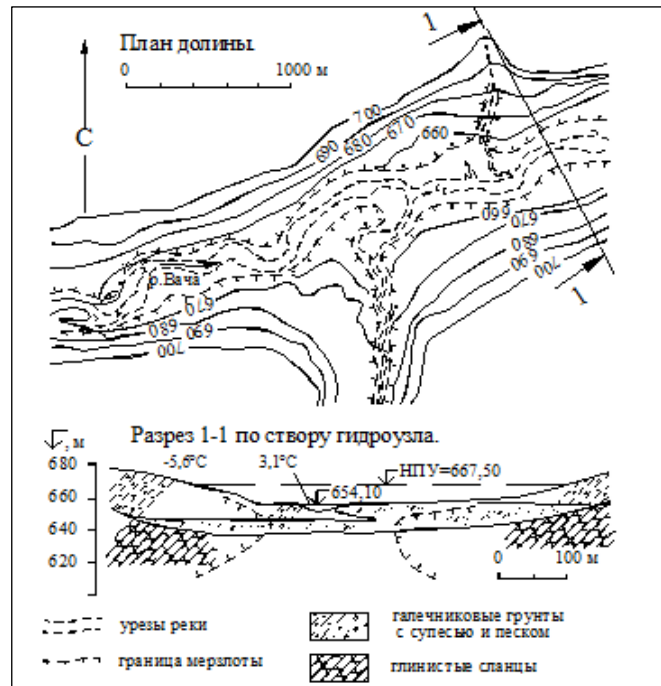


Рис. 16.49. Мерзлотные условия долины р. Вачи

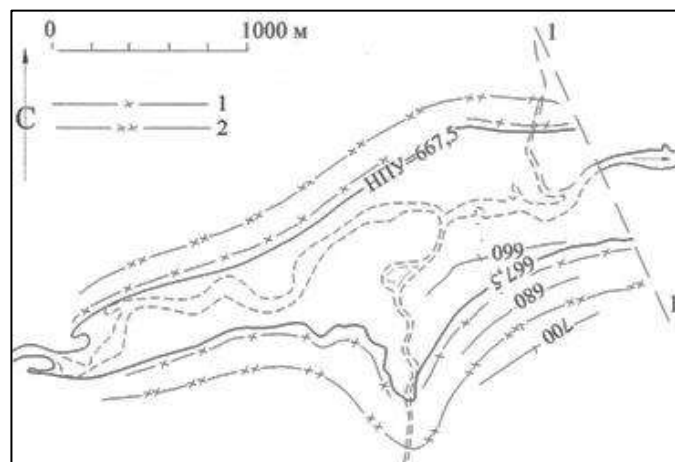


Рис. 16.50. План водохранилища на р. Ваче: 1 – 1 створ гидроузла; 1 – граница перестроения берега за 15 лет; 2 – то же за 100 лет

оценкам средние скорости линейной переработки берегов Вилюйского водохранилища за 2011 – 2021 гг. уменьшатся до 0,35 – 0,50 м/год. Причем, наименьшим разрушением в прошлом и будущем подвержены участки берегов, сложенных мелкими песками, а наибольшим – сильновыветрелыми известняками и песчаниками.

При незначительной протяженности размываемых берегов в 320 км или 13 % длины береговой линии (см. табл. 16.6) берегопереформирование на Вилюйском водохранилище не приводит к ощутимой потере земель в береговой зоне и прогнозирование термоабразии берегов представляет скорее научный, чем практический интерес [103: 104].

Для участка №6 в Кусаганском расширении водохранилища проводилась расчетная оценка переформирования мерзлого берега с выработкой термоабразионной ниши за период штормовой погоды [693]. За исходные брались береговые профили на 1982 г. (см. рис. 16.42). Расчет выполнялся на период одного безледоставного сезона, для двух вариантов волновых условий: в первом – на основе среднемноголетних сведений о ветре; во втором в расчет добавлялся шторм с обеспеченностью скорости ветра в режиме 25 %, приходящийся на сентябрь (рис. 16.46). Результаты проиллюстрированы формирующимися в течение расчетного периода профилями берега в створе №2 (рис. 16.47). При уровнях воды ниже НПУ = 244,0 м БС в основном идет перестройка прибрежной отмели, при повышении уровня начинает вырабатываться термоабразионная ниша. Ее глубина к концу расчетного периода может составить 2,7 м. Такие ниши, появлявшиеся за один летний сезон, многократно наблюдались в берегах Вилюйского водохранилища [254].

Водохранилище на р. Вача. Гидроузел расположен на севере Иркутской области, проектировался ОАО «Ленгидропроект» в 1990-х гг., береговые процессы прогнозировались в ННГАСУ [587].

В районе гидроузла (рис. 16.48) среднегодовая температура воздуха – 5,5 °С. Основание и берега долины реки сложены супесями с гравием и галькой, подстилаемыми на глубине 20 м глинистыми сланцами. Мощность вечной мерзлоты около 40 м, температура на глубине затухания годовых колебаний –1,2...–1,4 °С. При ширине реки около 50 м под руслом и поймой существует сквозной талик шириной 200 м (рис. 16.19). Проектная длина береговой линии водохранилища по урезу НПУ 7,6 км. Берега на всем протяжении термоабразионные. При среднемесячных скоростях ветра 1,1 – 1,2 м/с и незначительном волнении на водохранилище термоабразия берегов ожидалась как процесс чисто тепловой. Уровень водохранилища в течение

летнего сезона (VI, VII, VIII, IX месяцы) постоянный НПУ = 667,50, температуры воды: средняя за лето 9,37 °С, за зиму 0,66 °С.

По алгоритму переформирования термокарстового берега [584] был проделан прогнозный расчет берегопереформирования на водохранилище. Интенсивность отступления берега определялась скоростью оттаивания грунта на образующемся береговом уступе, которая главным образом зависит от температуры воды. Результаты прогноза по нескольким профилям нанесены на план водохранилища (рис. 16.50) в виде границы переформирования береговой полосы за 15-летний период и на конечную стадию. До конечной стадии процесс длится около 100 лет. Двухметровая просадочная толща грунтов основания полностью протаивает за 80 лет. Продвижение берегового уступа продолжается до границы коренных пород 100 лет, в течение этого периода урез НПУ перемещается вслед за уступом на 260 м от первоначального положения. В результате тепловой осадки (6 м) с наложением слоя аккумуляции продуктов разрушения (3 м) поверхность берегового склона в месте проектного уреза при НПУ и дно водохранилища понижается на 3 м. Подводная часть берега в пределах смещения уреза получает уклон 0,010, примерно соответствующий уклону устойчивой отмели для супесчаного грунта.

По сведениям из 1990-х гг. перспектива создания водохранилища на р. Ваче осталось неопределенной [599].

Из опыта моделирования термоабразии берегов водохранилищ известно, что любая модель является приближенной. Ее улучшение сводится обычно к учету все новых, ранее не учитывавшихся факторов. Увеличение же числа учитываемых факторов с некоторого момента начинает снижать точность прогноза. Поэтому роль сложных моделей более важна для понимания физической сущности процессов, а практическое прогнозирование целесообразно основывать на моделях простых и средней сложности, учитывающих небольшое количество факторов [182]. Характерной чертой рассматриваемых процессов является недостаточность и неточность исходной информации на уровне моделирования. А именно ошибки в исходных данных служат основной причиной погрешностей теоретических прогнозов. Это обстоятельство, в свою очередь, указывает на предпочтительность использования несложных моделей с небольшим количеством исходной информации, анализу которой следует уделять значительное внимание.

Расчет термоабразии при постоянном (среднелетнем) уровне водохранилища, но изменяющихся по месяцам температуре воды и параметрах

волнения дает тот же интегральный эффект, что и расчет при осредненных за период зима-лето исходных данных. В связи с этим при долгосрочном прогнозе берегового процесса не имеет смысла осреднять исходную информацию по промежуткам времени более коротким, чем летний и зимний сезоны. При дроблении этих сезонов на месяцы, тем более на декады или сутки, изучается уже не береговой процесс, а частные физические процессы в береговой зоне. Такое дробление целесообразно лишь при краткосрочных (на 1 год) прогнозах берегопереформирования [587].

ГЛАВА 17. ЗАКОНОМЕРНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СО ВРЕМЕНЕМ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДОХРАНИЛИЩ

17.1. Актуализация вопроса

Основные морфометрические параметры любого поверхностного водоема отражаются кривыми объемов и площадей зеркала.

ОАО «Институт Гидропроект» рекомендует использовать для проектирования водохранилищ на равнинных реках топографические карты масштабов 1:100 000 – 1:25 000, на горных реках соответственно 1:25 000 – 1:5 000 [473]. На базе таких карт определяются проектные морфометрические параметры водохранилищ.

Уже на стадии определения проектных площадей зеркала и соответственно объемов водохранилища по топографическим картам не удастся избежать погрешностей (рис. 17.1), которые еще возрастают по отношению к результатам, полученным путем воздушного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки, интегрированным в ГИС (рис. 17.2). При этом проектные кривые площадей и объемов характеризуют первоначальное строение чаши водохранилища. Но, являясь переменными во времени, кривые площадей и объемов динамичны и отражают изменения в строении чаши, которые возникают вследствие процессов заиления, тепловой осадки (в криолитозоне) и переформирования берегов в период эксплуатации водохранилища.

Режим работы водохранилищ в России регламентируется документом «Основные правила использования водных ресурсов водохранилища» для каждого из них [462; 496], включающим данные о морфометрических параметрах водохранилищ.

В прежние годы на многих водохранилищах России целенаправленно велось изучение переформирования берегов и осадконакопления (см. главы

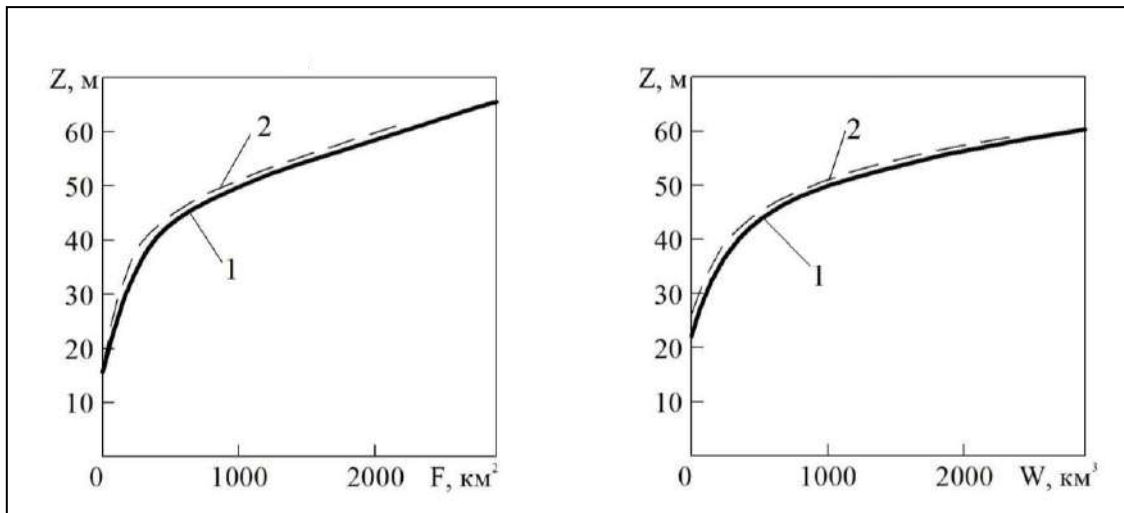


Рис. 17.1. Кривые зависимости площадей F и объемов W от уровней воды Z Усть-Хантайского водохранилища: 1 – проектная 1969 г. и 2 – проверочная 1989 г., определенные по топографической карте масштаба 1:100000 и показывающие возможную погрешность 3 – 5 % их определения [456]

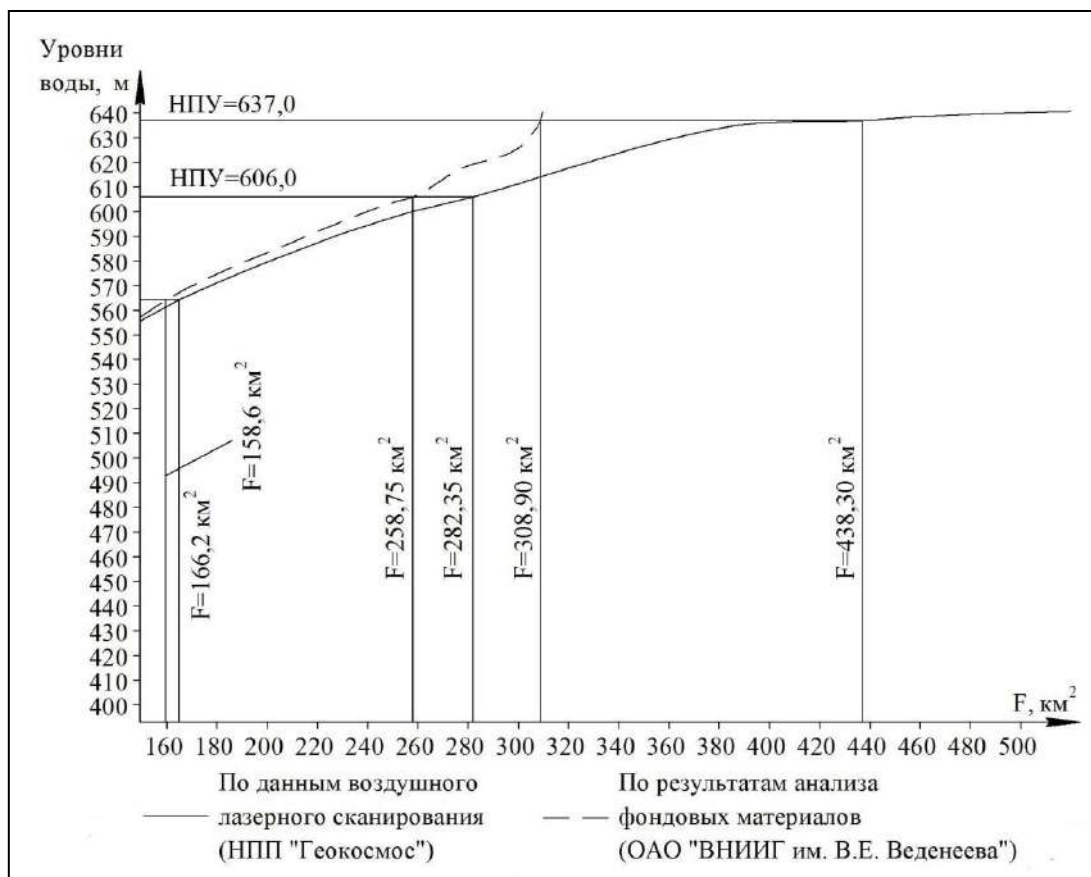


Рис.17.2. Результаты определения площади зеркала водохранилища F Канкунской ГЭС на р. Тимптон для двух вариантов НПУ по топографическим картам и данным воздушного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки [145]

14, 15, 16), но специальные исследования изменения морфометрических параметров со временем как таковые не ставились, и большинство российских водохранилищ эксплуатируются с использованием проектных морфометрических показателей, теряющих с течением времени первоначальную относительную достоверность. Так, в правилах использования водных ресурсов Камского и Воткинского водохранилищ на р. Каме издания 2004 г. [496] информация о площадях водного зеркала и объемах воды полностью повторяет проектные данные 1960-х гг. Но, например, по Воткинскому водохранилищу за годы эксплуатации объем и площадь зеркала при НПУ уменьшились соответственно на 712 млн м³ (7,6 %) и на 52,7 км² (4,7 %). Использование же в гидрологических и водохозяйственных расчетах неверных или устаревших значений морфометрических показателей заведомо ведет к неверным результатам [399].

Морфометрические параметры, в том числе кривые объемов и площадей зеркала, следует уточнять, связывая с определенными периодами существования водохранилища. Сравнение первоначальных кривых с последующими дает наглядную информацию об изменении размеров его чаши вследствие процессов заиления (тепловой осадки) и берегопереформирования, предоставляет возможность корректировать отдачу по воде, электроэнергии, экономические показатели работы водохранилища в составе водохозяйственного комплекса.

На российской территории наибольшее количество водохранилищ – равнинные [112]. В ННГАСУ было реализовано стремление выявить и обосновать общие количественные закономерности изменения с возрастом основных морфометрических параметров равнинных водохранилищ России – объема, площади водного зеркала, длины береговой линии [538; 576]. Итоги с пояснениями представлены в данной главе книги.

17.2. Уточнение морфометрических параметров действующих водохранилищ

Начало работ. В 1998 г. в составе российско-германского научно-исследовательского проекта «Волга-Рейн» (1998 – 2003 гг.), одним из организаторов которого выступал ННГАСУ [420], было инициировано создание цифровой модели рельефа (ЦМР) долины р. Волги для использования с целью оптимизации гидравлического режима каскада волжских

водохранилищ. Модель была создана на базе топографических карт масштабов от 1:200000 до 1:10000 и лоций для участка протяженностью около 1200 км от г. Твери до Чебоксарского гидроузла, включая Ивановское, Угличское, Рыбинское, Горьковское и Чебоксарское водохранилища [721]. Фактически это был первый опыт цифровизации волжского рельефа.

В 2000-х гг. с Волжско-Камского каскада начались работы по уточнению морфометрических параметров больших энергетических водохранилищ в европейской части России: в 2006 г. ОАО «Инженерный центр энергетики Поволжья» представил уточненные ННГАСУ против проектных данные по Чебоксарскому водохранилищу [441]; в 2007 – 2008 гг. выполнены работы для Рыбинского водохранилища Государственным институтом прикладной экологии (ГИПЭ) с последующей корректировкой ННГАСУ [319] и для Камского водохранилища ООО «НПО Омега» (г. Пермь) с участием ПГУ [400; 401]; в 2008 – 2009 гг. – для Ивановского, Угличского, Горьковского, Волгоградского водохранилищ ФГУ «ГОИН» [243; 244; 652] с участием ННГАСУ [319; 322; 575] и для Воткинского водохранилища ООО «НПО Омега» с участием ПГУ [399].

По каждому из водохранилищ комплекс работ включал: сбор и обработку базового картографического материала; полевые работы, основной составляющей которых являлись батиметрические съемки; построение цифровой модели рельефа; создание специализированной ГИС «Морфометрия водохранилища».

Элементы технологии. Для выполнения промеров глубин на водохранилищах в наше время используют лазерные технологии с применением летательных аппаратов, а также акустическое эхолотирование с плавательных средств совместно с позиционированием при помощи глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS). Первый метод дорогой, второй активнее применяется в мировой, а также в отечественной практике [243; 244; 399; 400; 401; 575; 592].

При ведении батиметрической съемки равнинных водохранилищ практичны промерные комплексы, установленные на судах с малой осадкой (рис. 17.3), особенно многофункциональная аппаратура, когда три элемента комплекса – компьютер, эхолот и GNSS GPS-приемник – являются одним устройством, отличающимся невысокой ценой, допустимой точностью измерений, малым энергопотреблением, водонепроницаемостью головного модуля, способностью вести непрерывную съемку в течение длительного времени, применением распространенных форматов итогового файла

данных. В зависимости от плановой формы водного объекта применяются разные схемы ведения промеров, в частности – прямыми П -образными или косыми V -образными галсами (рис. 17.4).

По окончании экспедиции выявляются сведения об уровнях воды по гидрологическим постам, на участках промеров глубин на даты проведения работ. Помимо экспедиционных материалов в качестве топографической основы задействуются карты доступных масштабов, чаще 1:25 000 и 1:50 000. Урезы воды на сложных участках идентифицируются при помощи данных зондирования Земли из космоса, а иногда – средствами наземной геодезии. В итоге создаются растр высот и цифровая модель донного рельефа водохранилища [244; 575].

Основным инструментом для создания ГИС-проектов использован программный комплекс ArcGIS ArcView компании ESPI, США. ГИС «Морфометрия водохранилища» состоит из нескольких слоев: контур береговой линии (урез при НПУ); изолинии рельефа берегов; изолинии рельефа дна; положение линии максимальных глубин (фарватера); поперечные профили водохранилища (через 500 – 250 м); цифровая модель рельефа; таблица морфометрических показателей; кривые площадей и объемов водохранилища [243; 319; 399; 400].

Примеры ЦМР. На рис. 17.5 – 17.9 представлены цифровые модели рельефа некоторых волжских и камских водохранилищ и графические зависимости площадей зеркала и объемов от уровней воды – проектные и полученные в результате проведенных в 2000-е гг. изысканий, а в табл. 17.1 – 17.6 выписаны морфометрические характеристики водохранилищ. Добавим, что, например, по водохранилищам Верхней Волги (Иваньковскому, Угличскому, Рыбинскому, Горьковскому, Чебоксарскому) в Верхне-Волжском БВУ имеется ГИС «Морфометрия водохранилищ», включающая их ЦМР и сформированная при участии ННГАСУ [320; 322].

Адекватность ЦМР натурным ситуациям. Точность определения морфометрических параметров, включаемых в ГИС, вызывает несправедливый интерес у проектировщиков и исследователей водохранилищ (см. раздел 17.1) [59; 145; 434]. Рассмотрим этот вопрос на примере измерения длины береговой линии [578; 601].



Рис. 17.3. Маломерное судно РГР 13-61 с эхолотным промерным комплексом ННГАСУ [575]

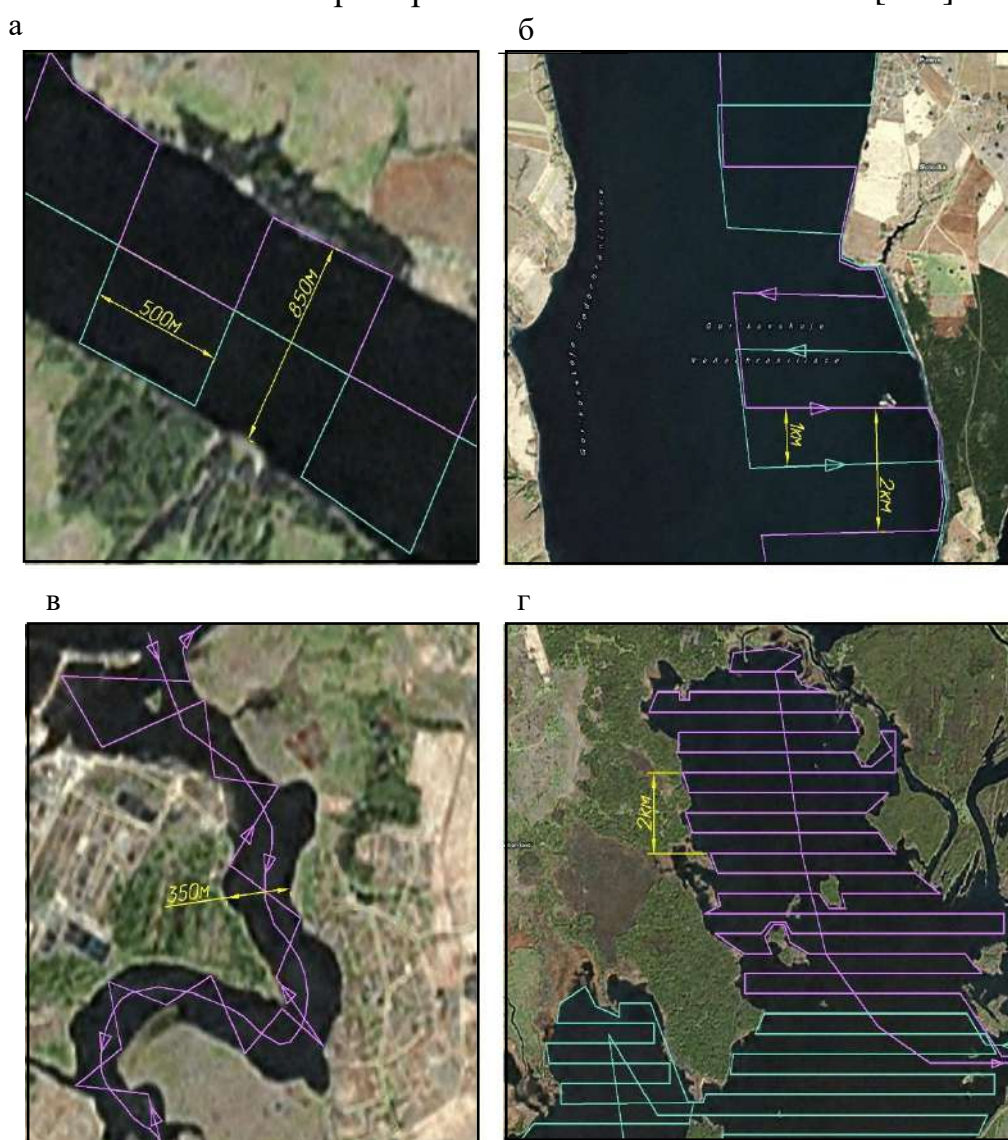


Рис. 17.4. Схемы ведения эхолотных промеров глубин на Горьковском водохранилище: а – в речной части; б – в озерной части; в – на притоке р. Волги; г – в Костромском разливе [575]

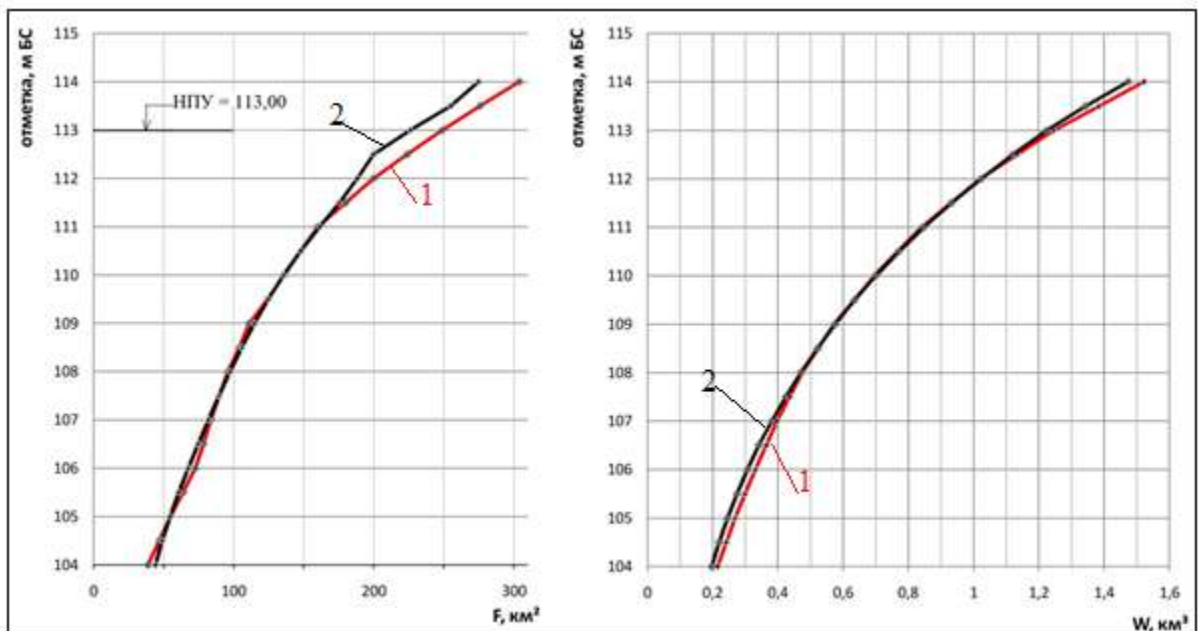
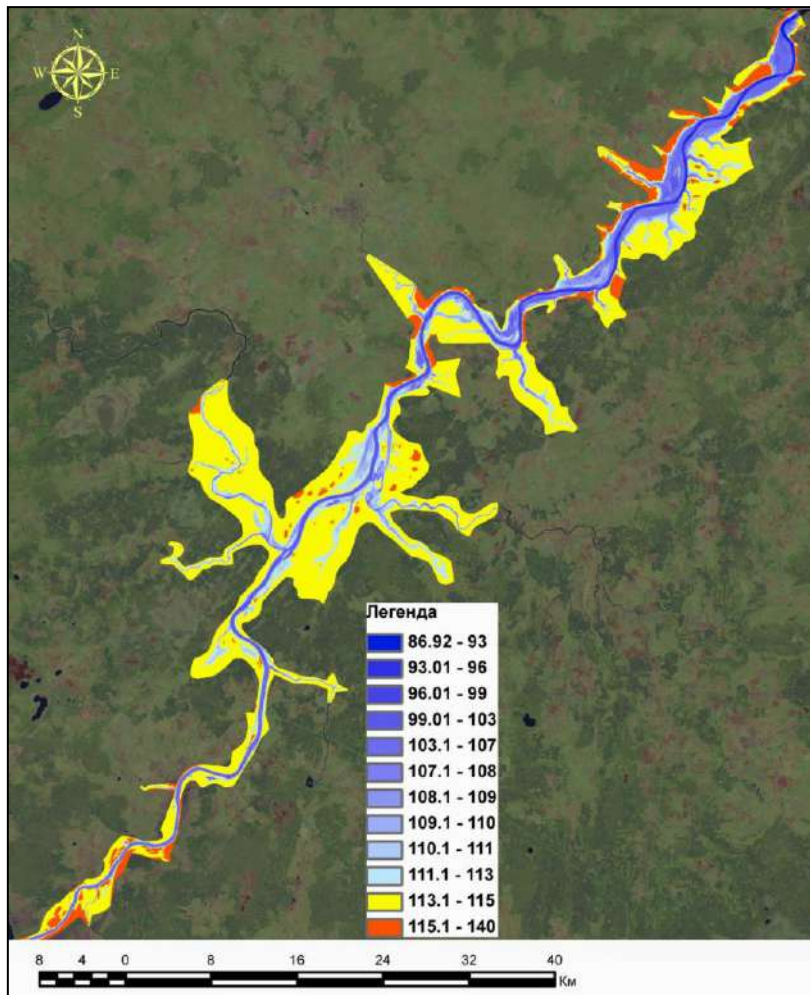


Рис. 17.5. Угличское водохранилище. Цифровая модель рельефа в виде растра высот и кривые площадей зеркала F и объемов W :
 1– на 1940 г. введения водохранилища в эксплуатацию; 2– уточненные на 2008 г. [244]

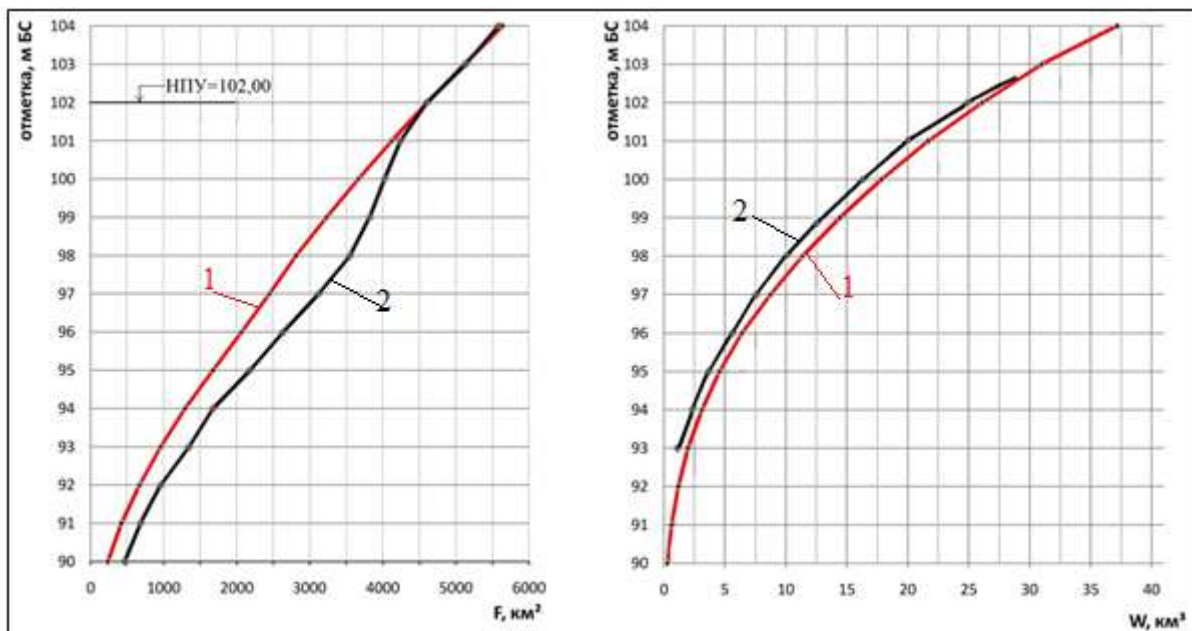
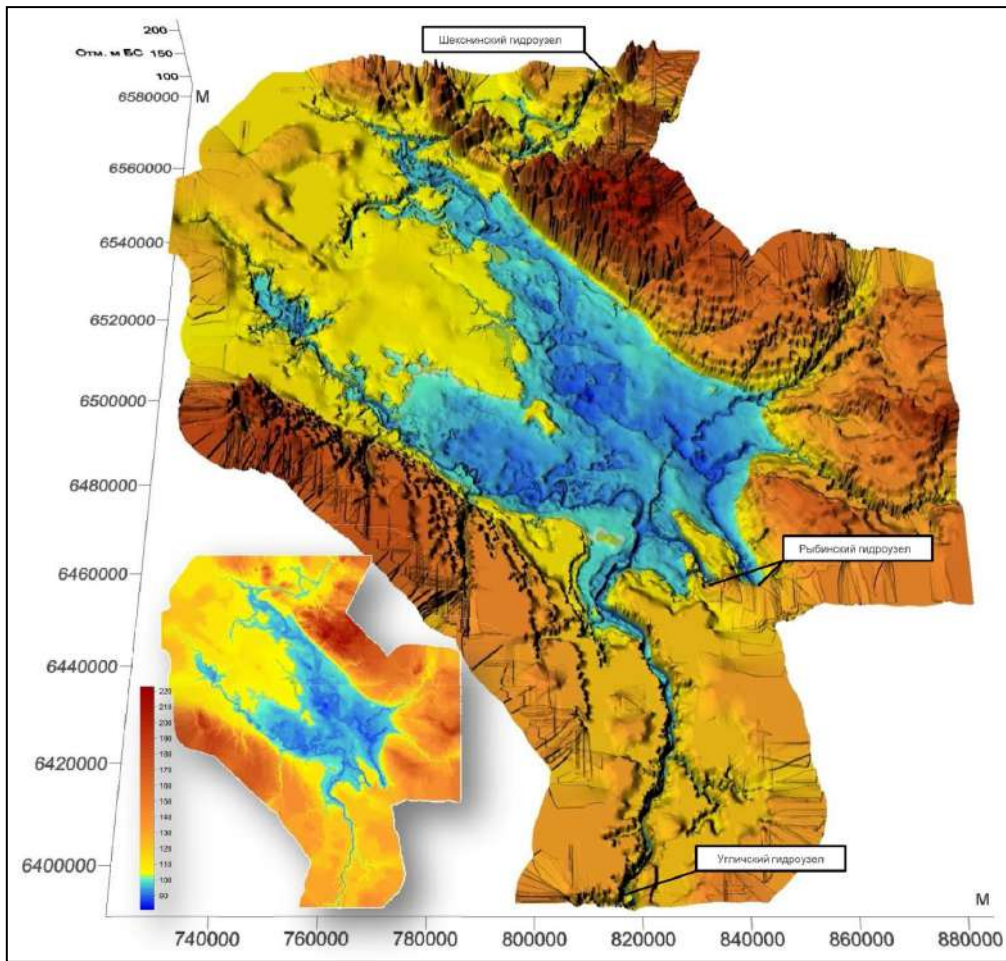


Рис.17.6. Рыбинское водохранилище. Цифровая модель рельефа в виде раstra высот (слева) и в трехмерном изображении (справа) и кривые площадей зеркала F и объемов W : 1 – на 1941 г. введения водохранилища в эксплуатацию; 2 – уточненные на 2008 – 2010 гг. [319]

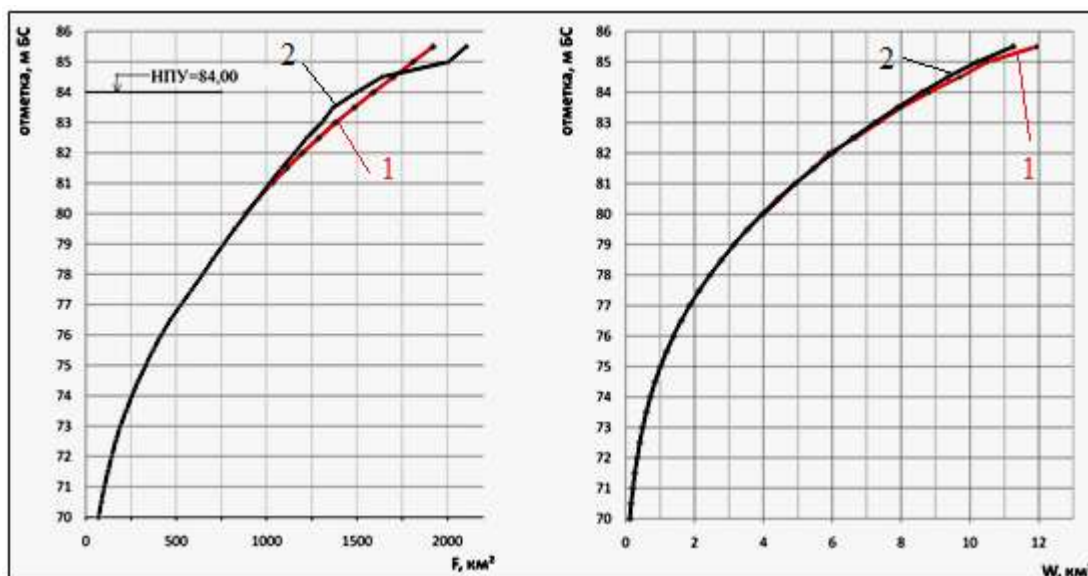
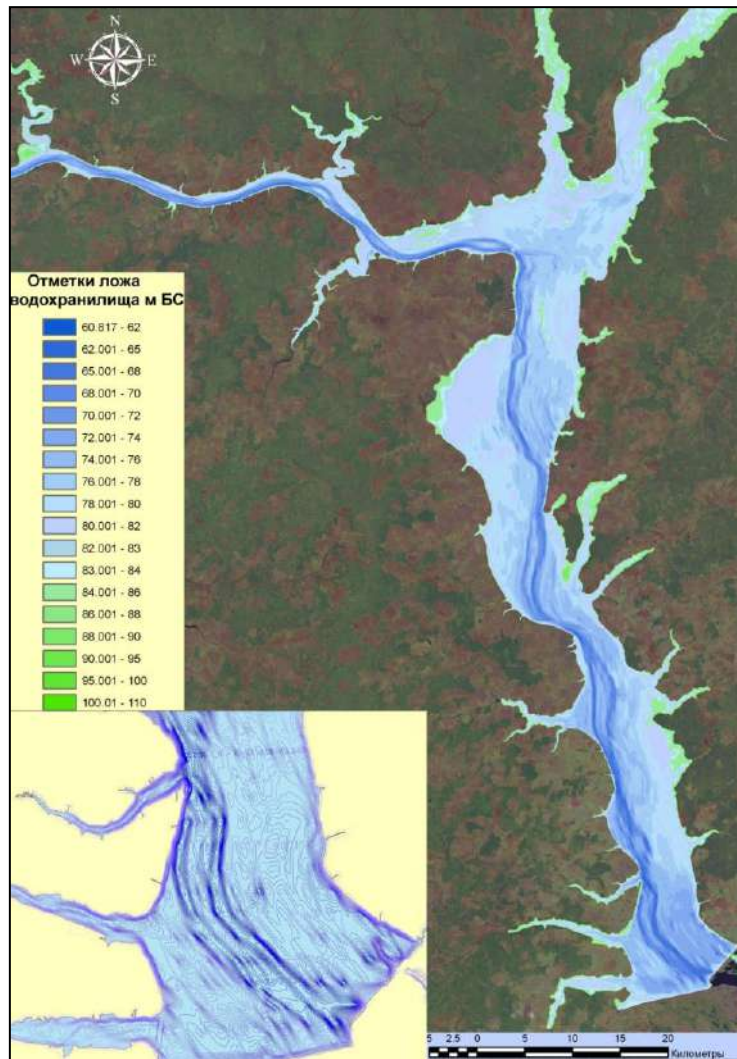


Рис. 17.7. Горьковское водохранилище. Цифровая модель рельефа озерной части (слева план приплотинного участка в изогипсах) и кривые площадей зеркала F и объемов W : 1 – на 1955 г. введения водохранилища в эксплуатацию; 2 – уточненные на 2009 г. [244; 319]

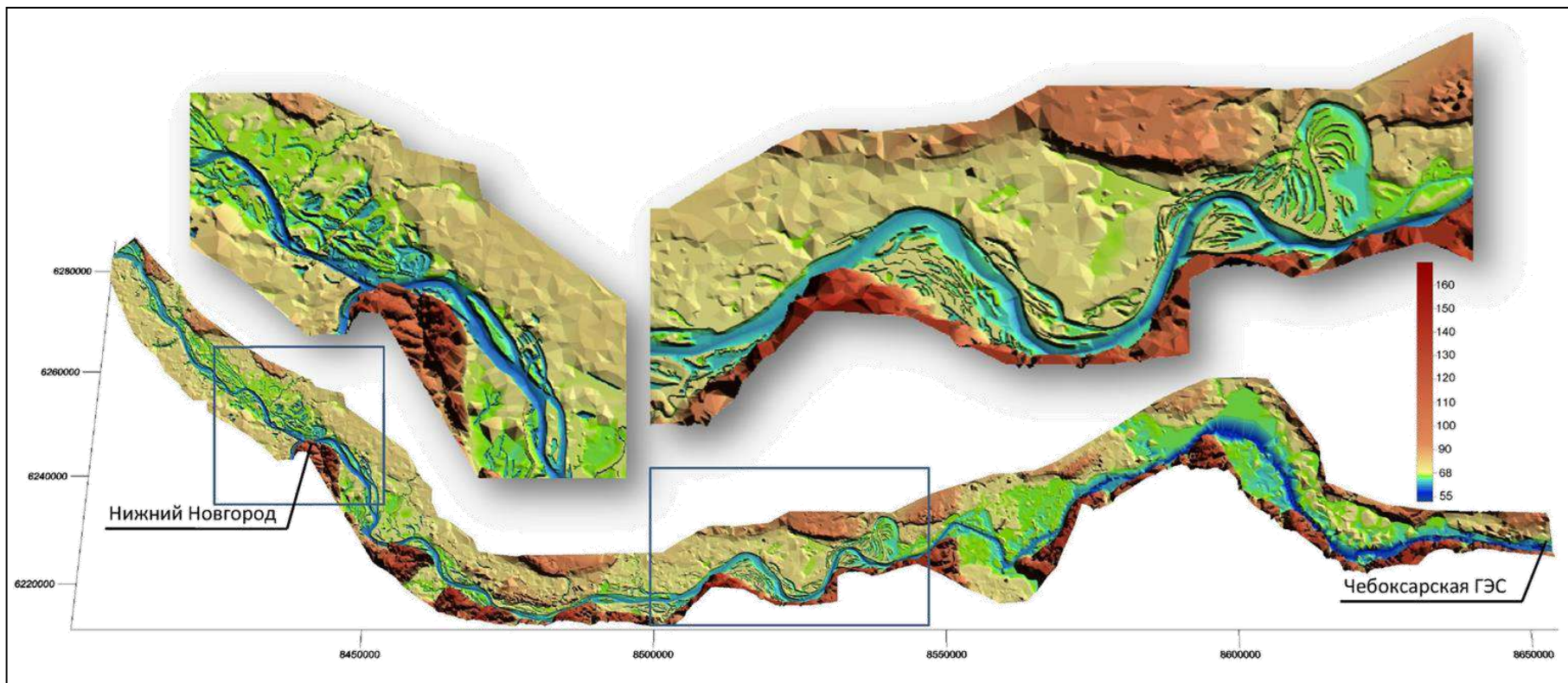


Рис. 17.8. Чебоксарское водохранилище. Цифровая модель рельефа в трехмерном изображении [441]

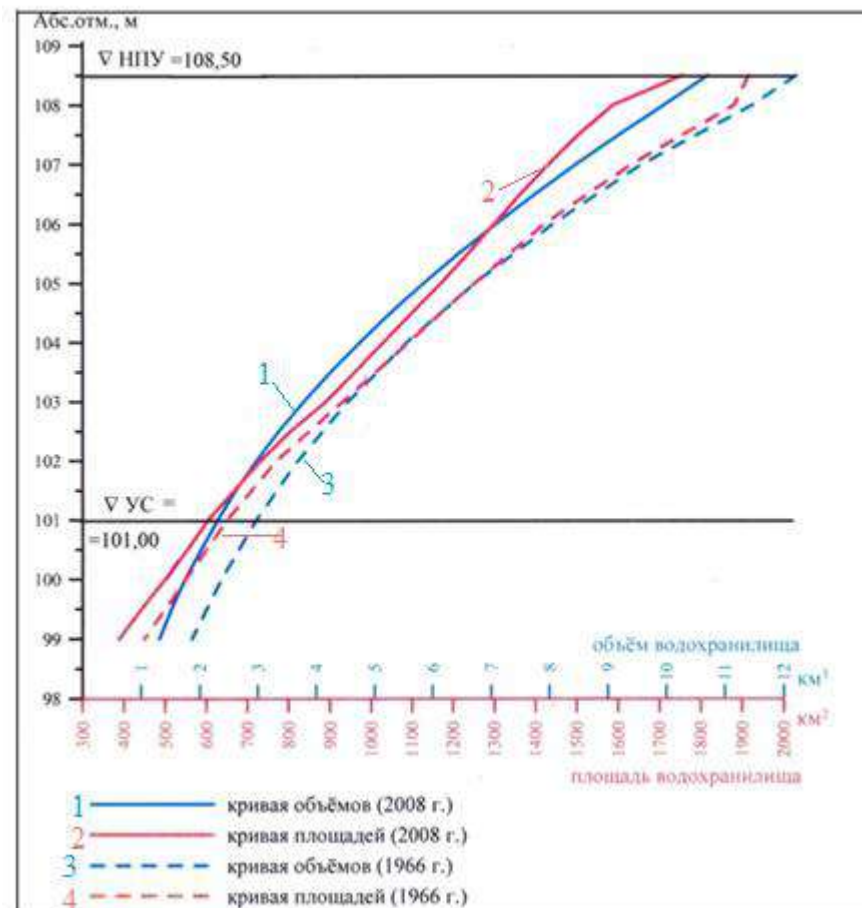
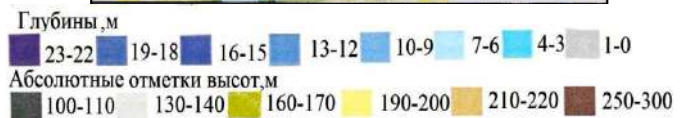
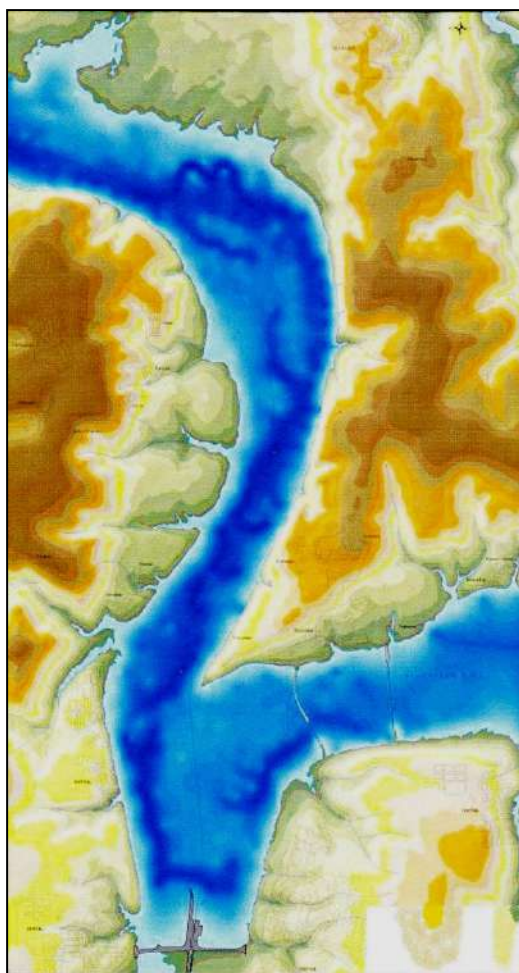


Рис. 17.9. Камское водохранилище. Цифровая модель рельефа нижней части водохранилища и кривые площадей зеркала и объемов на 1966 г. и 2008 г. [401]

Таблица 17.1

Морфометрические характеристики Углицкого водохранилища [244]

Характеристики	Проектные значения	Данные 2008 г.
Нормальный подпорный уровень (НПУ), м БС	113,0	113,0
Уровень мертвого объема (УМО), м БС	109,5	–
Длина по фарватеру, км	146	146
Площадь зеркала при НПУ, км ²	249 (100 %)	226,1 (90,8 %)
Площадь мелководий до 2 м при НПУ, км ²	85,0 (34,1 %)	64,7 (28,6 %)
Наибольшая ширина при НПУ, км	5,0	5,27
Средняя ширина при НПУ, км	2,00	1,55
Наибольшая глубина при НПУ, м	23,2	26,1
Средняя глубина при НПУ, м	5,00	5,41
Длина береговой линии при НПУ, км	–	938,4
Полный объем, млн м ³	1 245 (100 %)	1 223 (98,2 %)
Полезный объем, млн м ³	675,0	647,7
Мертвый объем, млн м ³	570,0	575,3

Таблица 17.2

Морфометрические характеристики Рыбинского водохранилища

Характеристики	Проектные значения [462]	Данные ЦМР, 2008 – 2010 гг. [319; 322]
Нормальный подпорный уровень (НПУ), м БС	102,0	102,0
Уровень мертвого объема (УМО), м БС	97,1	97,1
Уровень навигационной сработки (УНС), м БС	98,0	98,0
Длина по судовому ходу р. Шексны, км	329	285
Площадь зеркала при НПУ, км ²	4550 (100 %)	4545,5 (99,9 %)
Наибольшая ширина при НПУ, км	–	72
Наибольшая глубина при НПУ, м	23,2	20,5
Средняя глубина при НПУ, м	5,58	5,45
Полный объем, млн м ³	25420 (100 %)	24767 (97,4 %)
Полезный объем, млн м ³	16670	16657
Мертвый объем, млн м ³	8750	8110
Объем при УНС, млн м ³	11000	10640
Объем между НПУ и УНС, млн м ³	14420	14017
Площадь мелководий до 2 м, км ²	950 (20,9 %)	–

Таблица 17.3.

Морфометрические характеристики Горьковского водохранилища

Характеристики	Проектные значения (462)	Данные 2009 г. [244; 319]
Нормальный подпорный уровень (НПУ), м БС	84,0	84,0
Уровень мертвого объема (УМО), м БС	82,0	82,0
Длина по фарватеру, км	430	427
Площадь зеркала при НПУ, км ²	1 591 (100 %)	1 497,5 (94,1 %)
Площадь мелководий до 2 м при НПУ, км ²	396 (24,9 %)	343,59 (22,9 %)
Наибольшая ширина при НПУ, км	–	14,3
Средняя ширина при НПУ, км	3,7	3,51
Наибольшая глубина при НПУ, м	–	22,9
Средняя глубина при НПУ, м	5,54	5,77
Длина береговой линии при НПУ, км	–	2 963
Полный объем, млн м ³	8 820 (100 %)	8652 (98,1 %)
Полезный объем, млн м ³	2 780	2 588
Мертвый объем, млн м ³	6 040	6 000

Таблица 17.4

Морфометрические характеристики Чебоксарского водохранилища

Характеристики	Проектные значения [260]	Данные 2006 г. [322; 441]	
		ВПУ = 63,0	НПУ = 68,0
Подпорный уровень, м БС	ВПУ = 63,0	ВПУ = 63,0	НПУ = 68,0
Уровень мертвого объема, м БС	63,0	63,0	65,0
Площадь зеркала, км ²	1080 (100 %)	1118 (103,5 %)	2162
Полный объем, млн м ³	4600 (100 %)	4572 (99,4 %)	12530
Полезный объем, км ³	0	0	5350
Длина по р. Волге, км	260	226	341
Ширина максимальная, км	15,0	–	19,0
Глубина максимальная, км	24,0	–	30,0
Длина береговой линии, км	–	700	1060
Площадь мелководий до 2 м, км ²	370 (33,3 %)	–	–

Примечание. Проектные данные по Чебоксарскому водохранилищу при ВПУ = 63,0 м БС в источниках указаны с незначительными расхождениями: полный объем 4600 млн м³ – табл. 17.4 [260] и 4550 млн м³ – табл. 9.1 [380]; площадь зеркала 1080 км² – табл. 17.4 [260] и 1110 км² – табл. 9.1 [380].

Таблица 17.5

Морфометрические характеристики Камского водохранилища

Характеристики	Проектные значения [148]	Данные 1966 г. [379]	Данные 2008 г. [401]
Проектное наполнение, годы	1954 – 1956		
Нормальный подпорный уровень, м	108,5		
Уровень сработки (УС), м	99,0	101,0	
Длина по средней линии, км	–	497,3	633,9
Ширина, км: наибольшая средняя	13,5	13,5	14,0
	–	3,7	2,6
Площадь зеркала без островов, км ² : при НПУ при УС	1 915	1915 (100 %)	1754,1 (91,5%)
	–	650	603,1
Площадь островов, км ²	–	–	82,85
Объем, км ³ : при НПУ (полный) при УС (мертвый) полезный	12,20	11,5 (100 %)	10,8 (93,9%)
	–	2,3	2,3
	9,80	9,2	8,5
Глубина при НПУ, м: наибольшая средняя	28,6	32,0	28,9
	6,4	6,5	6,6
Длина береговой линии при НПУ, км	–	1394	2750,6

Таблица 17.6

Морфометрические характеристики Воткинского водохранилища

Характеристики	Проектные значения [496]	Данные 1972 г. [399]	Данные 2009 г. [399]
Проектное наполнение, годы	1961 – 1964		
Нормальный подпорный уровень, м	89,0		
Уровень сработки (УС), м	85,0		
Длина по средней линии, км	365,0	328,0	340,2
Ширина, км: наибольшая средняя	9,0	8,2	8,6
	–	3,4	2,7
Площадь водной поверхности без островов, км ² : при НПУ при УС	1120,0	1119,4 (100 %)	1066,7 (95,2 %)
	–	773,5	778,1
Площадь островов, км ²	–	–	13,3
Объем, км ³ : при НПУ (полный) при УС (мертвый) полезный	9,360	9,360 (100 %)	8,648 (92,3 %)
	–	5,660	5,034
	3,7	3,7	3,6
Глубина при НПУ, м: наибольшая средняя	28,0	30,0	22,8
	8,4	8,4	7,1
Длина береговой линии при НПУ, км	–	970	1492,7

Фактическое состояние береговой зоны водохранилища надежнее всего определяется традиционными методами топографии. Однако, это требует значительных материальных и людских затрат и растягивается, как правило, на годы с периодичностью обновления карт в несколько десятилетий даже для урбанизированных территорий. Так, последняя топографическая съемка береговой зоны Камского водохранилища в пределах г. Перми выполнялась в 1970 –х гг. и не отражает ее состояние на сегодняшний день [162].

Современное положение береговой линии устанавливается путем засечек уреза воды при проведении эхолотной съемки донного рельефа водохранилищ с координатной привязкой через спутниковые системы GPS – GNSS, на сложных для промеров участках привлекая данные дистанционного зондирования Земли. Береговую линию отражают на создаваемой в результате цифровой модели рельефа (ЦМР) [243; 575].

Надо сказать, что не все средства дистанционного зондирования могут дать ожидаемый эффект. Прежде всего успех зависит от разрешения материалов зондирования. Приемлемые результаты при определении положения береговой линии дают спутниковые съемки [44; 162]. Геоинформационный опыт ННГАСУ показал, что, например, от спутника Quick-Bird можно получать снимки с разрешением 0,6 – 0,7 м при ширине полосы съемки 16,5 км. Аэрофотосъемка позволяет получать аналоговые или цифровые снимки небольших участков с разрешением 0,1 – 0,2 м, но организационные и экономические затруднения сдерживают ее применение. Пробовалось проводить фотосъемку участков берегов с беспилотного летального аппарата вертолетного типа – гексакоптера. Точность позиционирования его в пространстве при высоте полета 160 м составляла $\pm 1,5$ м по горизонтали (при порывистом ветре до 8 м/с) и $\pm 0,5$ м по вертикали. Цифровая модель береговой полосы (ортофотоплан) создавалась в программе AgisoftPhotoScan. Однако, опыт пока недостаточен, чтобы оценить достоинства и недостатки этой технологии применительно к фиксации береговой линии водохранилищ [361; 574].

Для оценки точности моделирования плановых контуров водохранилищ реализована редкая возможность сравнения результатов двух независимых исследований. ННГАСУ совместно с Государственным океанологическим институтом (ГОИН) в 2009 г. определил длину береговой линии Горьковского водохранилища при составлении ЦМР с привлечением материалов эхолотной съемки донного рельефа, топографических карт

масштабов 1: 25000 и 1: 10000 1963 – 1998 гг. выпуска и данных дистанционного зондирования Земли [319]. ОАО «Кировводпроект» за 2011 – 2013 гг. определило длину береговой линии Горьковского водохранилища в составе работ по установлению границ водоохраной зоны. В качестве «рабочего материала» использовались топографические карты масштаба 1:10000 выпуска 1980 – 2003 гг., а «в особо сложных условиях было проведено уточнение положения береговой линии по результатам полевого маршрутного обследования» [225]. Вот сравнение результатов:

Организация – исполнитель	Год измерения	Длина береговой линии, км	Источник данных
Гидропроект	на 1955 г.	2170	[112]
ННГАСУ –ГОИН	2009	2963	[319]
Кировводпроект	2011 – 2013	2675,3	[225]

Измеренная современная длина береговой линии водохранилища в обоих случаях оказалась больше первоначальной длины, но с расхождением в 287,7 км (около 10 %). Подобная сходимость результатов в гидротехнике считается хорошей, но все же точность моделирования планового контура большого действующего водохранилища оставляет желать лучшего.

Причины приблизительности кроются в следующем:

- определение при эхолотировании координат береговой линии в точках, отстоящих на больших расстояниях одна от другой;
- приблизительная фиксация береговой линии на участках мелководий. Мелководья обычно заболочены и недоступны даже для маломерных экспедиционных судов, непроходимы вдоль уреза воды при полевым маршрутным обследованием и трудноразличимы для монохромного разделения воды и суши на космических снимках;
- неопределенность с учетом или игнорированием притоков до зоны выклинивания подпора;
- использование топографических карт, материалов аэрофотосъемок или результатов зондирования Земли из космоса разных масштабов;
- использование устаревших топографических карт;
- неточное отражение береговой линии на топографических картах. Так, на карте масштаба 1: 25000 положение контуров местности относительно точек съемочной опорной сети определяется с точностью $\pm 0,5$ мм, что соответствует ± 12 м на местности; при измерении отрезка L ошибка в длине составляет $\Delta L = 12\sqrt{2} = \pm 17$ м. На карте масштаба 1: 10000 соответственно ± 7 м;

– погрешность при векторизации карт. После сканирования полиграфических оттисков карт ширина контура береговой линии на растровом изображении составляет 3 – 4 пикселя, что соответствует 6 – 8 м на местности по карте масштаба 1: 10000. Векторная линия проводится по середине растрового контура береговой линии. Погрешность в положении береговой линии, векторизованной по растровым изображениям топографических карт, с учетом неточности проецирования карт, может не уложиться в 10 м.

Остается признать, что в работах по уточнению морфометрических параметров больших действующих водохранилищ декларируемая исполнителями точность в отношении длины береговой линии, не препятствуя делать общие заключения, представляется излишне оптимистичной [578; 601].

17.3. Общие закономерности изменения морфометрических параметров водохранилищ в период эксплуатации

Потеря объема водохранилищ мира. По сведениям Международной комиссии по большим плотинам к 1949 г. в мире было построено около 5 тыс., а к концу XX в. насчитывалось более 45 тыс. больших водохранилищ. Приблизительно 0,5 – 1 % общих запасов пресной воды в существующих водохранилищах по всему миру теряется ежегодно из-за накопления в них донных отложений. Это означает, что в ближайшие 25 – 50 лет 25 % запасов воды в водохранилищах может быть потеряно. Вывод базируется на линейном тренде выборки из 47 водохранилищ (рис. 17.10), среди которых российских водохранилищ нет [486].

Синтез динамической модели процесса. Известно, что накопление осадков в водохранилищах не подчиняется строго линейному закону [238], поэтому зависимость потери объема от возраста водохранилищ в общем случае не будет линейной. Визуально множество точек на рис. 17.10 похоже на некое облако, отличное от зрительного образа временного ряда. В частности видно, что на какой-то момент зафиксированы результаты измерений не по одному, а по целой совокупности объектов, разброс значений которых обусловлен неустановленными, но явно существующими различиями их свойств. В ННГАСУ предложен метод синтеза аппроксимирующего временного тренда в подобных задачах, учитывающий неоднородность множества объектов, представленных экспериментальными точками [189].

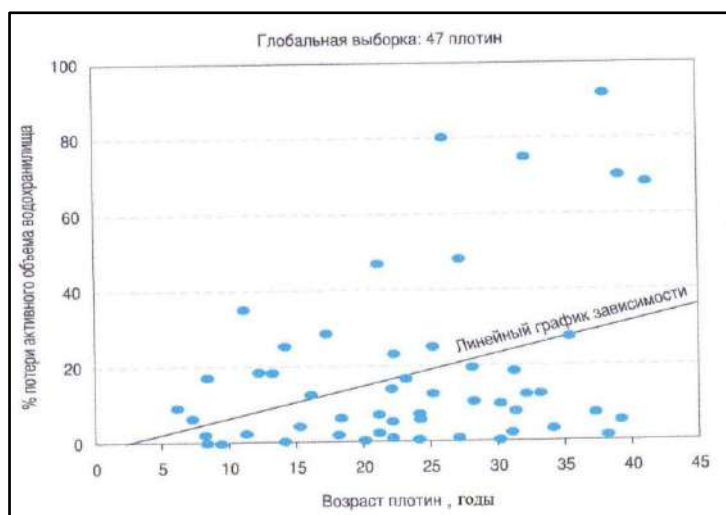


Рис. 17.10. Потеря активного объема водохранилищ мира вследствие накопления наносов [486]



Рис. 17.11 Синтезированная модель процесса потери объема Водохранилищ мира в зависимости от возраста [189]

Алгоритм реализован в виде программы, выполненной в среде Visual Basic for Application офисного приложения MS Excel.

Практически применяя метод, исследователь может выдвинуть две гипотезы: рассматриваемые объекты однородные или неоднородные. Результаты расчетов по обеим из них могут подтвердить его интуитивные представления о динамике процесса или войти с ними в противоречие. Исследователь вправе остановиться на той из гипотез, которая соответствует его интуитивным представлениям.

Предложенный метод синтеза дал тенденцию потери объема водохранилищ мира в зависимости от возраста в виде кривой, изображенной на

рис. 17.11, более оптимистичную по сравнению с линейным трендом, показанным на рис. 17.10 [189].

Метод использован для выявления общих закономерностей изменения объемов, площадей водного зеркала, длин береговых линий российских водохранилищ [538; 539; 576].

Потеря объема больших равнинных водохранилищ европейской территории России. Целенаправленные исследования потерь объема большими российскими водохранилищами предстоит еще провести. Вместе с тем фрагментарные данные по 14 водохранилищам из ряда источников удалось извлечь. Они сопряжены в пространстве и времени и сведены в табл. 17.7. Ради обобщения к ним добавлены данные по 6 водохранилищам Украины.

Среди больших равнинных водохранилищ ЕТР наименьшей процентной потерей полного объема отличается Чебоксарское водохранилище Волжского каскада; Цимлянское водохранилище на Дону по потерям объема близко к водохранилищам Днепровского каскада в Украине; Новосибирское водохранилище находится восточнее ЕТР и его можно было бы рассматривать в группе равнинных и предгорных водохранилищ Сибири, но данные о потерях объема большинством из них сегодня отсутствуют.

Выборка из 45 значений (см. табл. 17.7) позволила выявить общую закономерность потери емкости равнинных водохранилищ с возрастом. Динамическая модель процесса синтезирована из 5 трендов, среди которых наиболее значимым по весовому коэффициенту явился линейный тренд, и представлена графически на рис. 17.12.



Рис. 17.12. Общая закономерность потери полного объема больших равнинных водохранилищ Европейской территории России и Украины в зависимости от возраста. Исходные данные в табл. 17.7 [539]

Таблица 17.7

**Потери с возрастом полного объема больших (больше 1 км³)
эксплуатируемых равнинных водохранилищ Европейской части
России и Украины [539]**

Водохранилище	Полный объем проектный, км ³	Период эксплуатации (возраст водохранилища), годы	Уточненный объем в конце периода, км ³	Потеря полного объема		Источники информации
				км ³	%	
Иваньковское	1,20	1937–1957 (20)	1,180	0,020	1,63	[238]
		1937–1968 (31)	1,178	0,022	1,76	[92;246]
		1937–1992 (55)	1,166	0,034	2,83	[238]
		1937 – 2009 (72)	1,075	0,125	10,4	[652]
Угличское	1,245	1940–1958 (18)	1,228	0,017	1,36	[238]
		1940–1992 (52)	1,224	0,021	1,68	
		1940–2008 (68)	1,223	0,022	1,76	[244]
Рыбинское	25,42	1941–1955 (14)	24,834	0,586	2,30	[238]
		1941–2002 (61)	24,782	0,638	2,50	
		1941-2010 (69)	24,767	0,653	2,56	[319;322]
Горьковское	8,82	1955–1980 (25)	8,689	0,131	1,48	[238]
		1955–1999 (44)	8,666	0,154	1,75	
		1955–2009 (54)	8,588	0,168	1,91	[244; 319]
Чебоксарское	4,60	1981–1991 (10)	4,586	0,014	0,30	[238]
		1981–2001 (20)	4,579	0,021	0,47	
		1981 – 2006(25)	4,572	0,027	0,60	[322; 441]
Куйбышевское	57,30	1955 – 1966 (11)	56,866	0,434	0,80	[714]
		1955–1983 (28)	56,198	1,102	1,92	[238]
		1955–2002 (47)	56,149	1,151	2,01	
Саратовское	12,87	1967–1985 (18)	12,716	0,154	1,19	
		1967–2006 (39)	12,678	0,192	1,49	
Волгоградское	31,50	1958–1985 (27)	31,046	0,454	1,44	
		1958–1990 (32)	31,041	0,459	1,45	
Камское	12,20	1954–1966 (12)	11,50	0,700	5,73	[379]
		1954–2008 (54)	10,80	1,400	11,47	[401]
Воткинское	9,36	1961–2009 (48)	8,648	0,712	7,60	[399]
Нижнекамское	2,80	1984 –	–	–	–	
Цимлянское	23,86	1952–1957 (5)	23,761	0,099	0,41	[292]
		1952–1972 (20)	23,611	0,249	1,04	
		1952–1995 (43)	23,129	0,731	3,06	[112]
		1952 – 2010 (58)	22,970	0,890	3,73	[503]
Пролетарское	1,275	1948–1972 (24)	1,193	0,082	6,40	[292]
Новосибирское	8,86	1959 – 1963(4)	8,763	0,097	1,10	[714]
		1959–1966 (7)	8,651	0,209	1,69	[203]
		1959–1973 (14)	8,565	0,295	2,67	
		1959–1995 (36)	8,020	0,840	9,48	[545]
		1959 – 2009 (50)	7,780	1,080	12,19	[265]
Киевское	3,73	(7,5)			1,03	[203]
		(12,5)			1,08	
Каневское	2,62	(2,5)			0,77	
		(4)			0,90	
Кременчугское	13,50	(12,5)			1,60	
		(17,5)			1,98	
Днепровское	2,45	(13)			1,21	
Запорожское	3,33	(32)			3,35	
Каховское	18,20	(3)			0,93	

Она показывает уменьшение полного объема равнинных водохранилищ на 0,031 % в год с очень слабо затухающей интенсивностью. Это существенно меньше, чем для водохранилищ мира (0,77 – 0,12 % в год) [486] и меньше, чем предполагалось прогнозами 1970-х гг. для равнинных водохранилищ России емкостью 40 – 70 % от среднегодового стока рек (0,1 – 0,5 % в год) [262]. Но потеря объема водохранилищ с многолетними сроками эксплуатации уже ощутима.

Волжско-Камский каскад. Строительство водохранилищ каскада было начато с Иваньковского на р. Волге, наполненного в 1937 г. Вслед за вводом в эксплуатацию они стали терять проектный объем. Разрешим два вопроса.

1. Какого суммарного полного объема водохранилищ лишился Волжско-Камский каскад за прошедший период и лишится в предстоящие годы.
2. Каковы потери суммарного полезного объема, существенно значимые для энергетических водохранилищ каскада.

По выборке из 25 точек (см табл. 17.7) синтезирована кривая потери полного объема 10-ю водохранилищами каскада (за исключением Нижнекамского из-за отсутствия данных) за период эксплуатации с 1937 г. по 2011 г. и далее до 2030 г. (рис. 17.13). Потеря к 2011 г. составила 5,285 км³ или 3,15 % суммарного проектного объема водохранилищ каскада (167,31 км³), что больше полных объемов таких водохранилищ, как Иваньковское (1,2 км³), Угличское (1,245 км³), Нижнекамское (2,8 км³), Чебоксарское (4,6 км³). К 2030 г. потеря полного объема водохранилищ Волжско-Камского каскада составит 5,80 км³ [539].

Полезные объемы 6 водохранилищ каскада за время эксплуатации уточнялись единожды в 2008 – 2010 гг. в составе работ по уточнению их морфометрических параметров, у 2 водохранилищ полезные объемы отсутствуют из-за недонаполнения, по 3 водохранилищам никогда не уточнялись (табл. 17.8). В отсутствие части данных удалось предпринять лишь грубую оценку. Потеря полезного объема 6 исследованных водохранилищ к 2008 – 2010 гг. составила 1694,7 млн м³ или 4,92 % от их суммарного проектного полезного объема, равного 34435 млн м³. Если распространить полученные 5 % на все водохранилища каскада, имеющие суммарный полезный объем 66435 млн м³, то его потеря в целом по каскаду к настоящему времени составила не менее 3000 млн м³. Это равносильно исключению из каскада примерно такого водохранилища, как Горьковское ($W_{\text{полезн.}} = 2780$ млн м³).

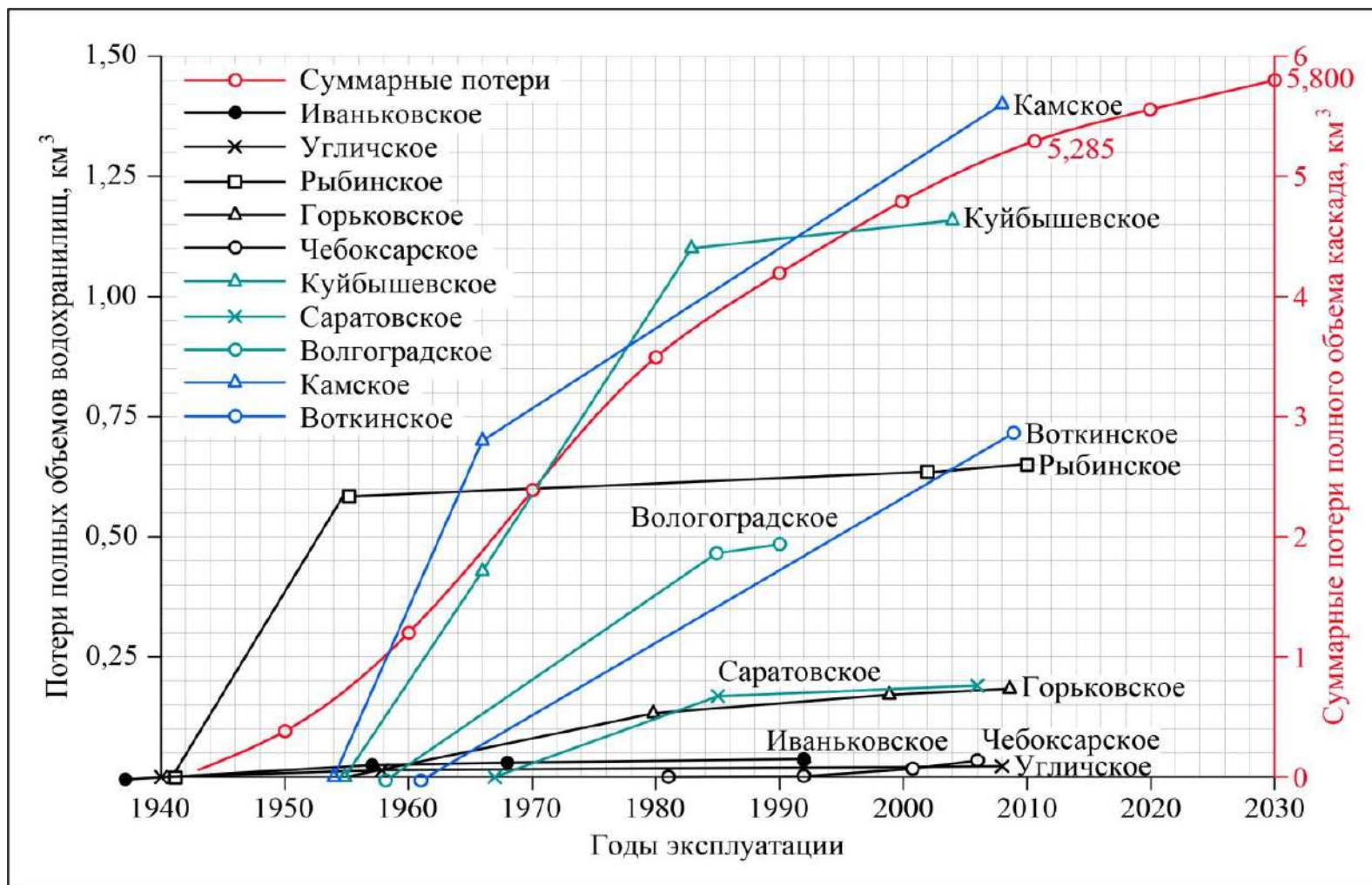


Рис. 17.13. Хронологические графики частных потерь и синтезированная кривая общей потери полного объема водохранилищ Волжско-Камского каскада [539]

А с учетом неиспользуемых полезных объемов Чебоксарского (5400 млн м³) и Нижнекамского (4400 млн м³) водохранилищ, Волжско-Камский каскад сегодня недосчитывает 12800 млн м³ проектного полезного объема.

Уменьшение объемов водохранилищ пора, наверное, учитывать в работе ГЭС каскада.

Таблица 17.8

**Потери со временем полезного объема
водохранилищ Волжско-Камского каскада [539]**

Водохранилище	Полезный объем проектный, млн м ³	Период эксплуатации (возраст водохранилища), годы	Уточненный полезный объем в конце периода, млн м ³	Потеря полезного объема		Источники информации
				млн м ³	%	
Иваньковское	810	1937 – 2009 (72)	747	63	7,77	[652]
Угличское	675	1940 – 2008(68)	647,7	27,3	4,04	[244]
Рыбинское	16670	1941 – 2010(69)	16657	13,0	0,08	[319; 322]
Горьковское	2780	1955 – 2009(54)	2588,6	191,4	6,88	[244; 319]
Чебоксарское	0	1981 – 2011 (30)	0	0	0	[322; 441]
Куйбышевское	21000	1955 –	-	-	-	
Саратовское	1750	1967 –	-	-	-	
Волгоградское	8250	1958 –	-	-	-	
Камское	9800	1954 – 2008(54)	8500	1300	13,26	[149; 401]
Воткинское	3700	1961 – 2009(48)	3600	100	2,70	[496; 399]
Нижнекамское	0	1984 – 2011(27)	0	0	0	

Заметим, что у Цимлянского и Новосибирского равнинных водохранилищ потери полезных объемов за пройденные годы эксплуатации в процентном исчислении оказались меньше, чем у водохранилищ Волжско–Камского каскада: соответственно 2,13 % (246 млн м³) за 1952 – 2010 гг. [460; 503] и 2,24 % [100 млн м³] за 1959 – 2009 гг. [265; 667].

Изменение длины береговой линии больших равнинных водохранилищ за многолетний период эксплуатации. По представлению 1970-х гг. [7; 286; 510; 673; 714], перешедшему в публикации 2000-х гг. [112; 417], вследствие планового выравнивания со временем берегов водохранилищ длина береговой линии должна сокращаться. Количественные данные об этом по нескольким водохранилищам за 1950 – 1960-е гг. приводились в разделе 14.4. Но не отпал вопрос о поведении береговой линии водохранилищ в последующие годы эксплуатации.

В табл. 17.9 сведены данные современных изысканий ННГАСУ [103;

300; 392; 407; 519] и других организаций [265; 400; 401; 419; 667], отразившие изменения, произошедшие с длиной береговой линии больших (>100 км²) водохранилищ за многолетний период. Сведения обладают относительной достоверностью, так как во всех случаях за первоначальную бралась проектная длина береговой линии, а определение современной длины выполнялось независимыми исследователями посредством ЦМР, строившихся практически одинаковыми средствами в схожих масштабах.

Таблица 17.9

Изменение длины береговой линии больших равнинных водохранилищ за многолетний период эксплуатации [538]

Водохранилище	Длина береговой линии проектная, км	Период нормальной эксплуатации (возраст), годы	Длина береговой линии в конце периода, км	Изменение длины береговой линии (+увеличение; –уменьшение)		Источники информации
				км	%	
Иваньковское	820	1937 –2009 (72)	938,5	+118,5	14,4	[112; 457; 500; 652]
Угличское	883	1943 –2008 (65)	938,4	+55,4	6,27	[112;244]
Рыбинское	2460	1947 –2007 (60)	2150	–310	12,6	[112; 121; 673]
		1947 –2010 (63)	2326	–134	5,4	[319]
Горьковское	2170	1957 –1992 (35)	2228	+58	2,7	[112; 244;
		1957 –2009 (52)	2963	+793	36,5	319; 591]
Чебоксарское	–	1981 –2006 (25)	700	0	0	[300; 407]
Камское	–	1954 – 1966	1394			[149; 379]
		1966 –2008 (54)	2268*	+874	62,6	[400;401]
Воткинское	–	1961 –1972	970			[399; 496]
		1972 –2009 (48)	1492,7	+522,7	53,8	
Куйбышевское	2500	1959 – 1963 (4)	2100	– 400	16,0	[510]
Волгоградское	2028	1960 –2000 (40)	2058	+30	1,47	[419]
Цимлянское	912	1952 –2010 (58)	912	0	0	[460;503]
Пензенское	99	1979 –2005 (26)	109	+10	10,1	[303; 593]
Новосибирское	800	1959 –2009 (50)	725,6	–74,4	9,3	[265;667]
Усть-Хантайское	968	1971 –1978 (7)	999,4	+31,4	3,25	[327; 714]
Вилуйское	2750	1973 –1985 (12)	2755	+5	0,18	[90; 103]

*За вычетом 482,6 км береговой линии в верховье водохранилища, не учтенной в 1966 г. [400].

Обобщенные данные свидетельствуют, что из 14 исследованных водохранилищ к настоящему времени 10 имеют длину береговой линии больше проектной, 2 – меньше, на 2-х изменения за малостью не прослежены. Увеличение длины береговой линии против проектной зафиксировано от 1,47 % после 40 лет эксплуатации на Волгоградском водохранилище [419] до 62,6 % за 54 года на Камском водохранилище [400; 401]. Значительное превышение протяженности береговой линии Камского водохранилища над проектной исполнители связывают, в том числе, с уточнением ее конфигурации, особенно в верховьях крупных заливов [400]. Сокращение на четверть длины береговой линии Цимлянского водохранилища [510; 520] современными исследованиями не подтверждено [503] и в действующих Правилах [460] использована ее первоначальная длина.

Проследить динамику изменения во времени длины береговой линии конкретных водохранилищ из-за отсутствия промежуточных данных не представилось возможным, однако открывшееся обстоятельство ее увеличения на большинстве исследованных водохранилищ после значительного срока эксплуатации побудило интерес к синтезу общего тренда. Полученная в результате итоговая модель динамики процесса прочерчена на рис. 17.14.

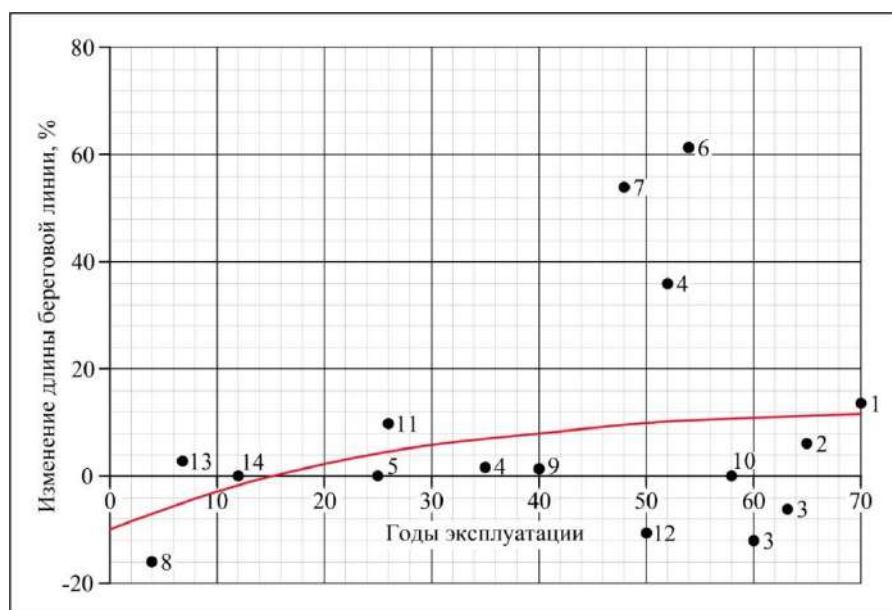


Рис. 17.14. Показатели и общий тренд изменения длины береговой линии больших равнинных водохранилищ за многолетний период эксплуатации: 1 – Ивановское; 2 – Угличское; 3 – Рыбинское; 4 – Горьковское; 5 – Чебоксарское; 6 – Камское; 7 – Воткинское; 8 – Куйбышевское; 9 – Волгоградское; 10 – Цимлянское; 11 – Пензенское; 12 – Новосибирское; 13 – Усть-Хантайское; 14 – Вилюйское [576]

Модель определенно показала тенденцию постепенного увеличения длины береговой линии больших равнинных водохранилищ (в т.ч. в криолитозоне) после периода начальной эксплуатации до возраста 40 – 60 лет с интенсивностью 0,25 % в год.

Изменение площади зеркала больших равнинных водохранилищ за многолетний период эксплуатации. Площадь водного зеркала водохранилищ оконтуривается береговой линией при НПУ. На прежних принципах обобщена информация об изменении со временем площадей зеркала 12 больших равнинных водохранилищ (табл. 17.10). Из них по прошествии лет у 9 водохранилищ проявилось ее уменьшение, у трех увеличение, у одного изменение не прослеживалось. Синтез совокупности данных привел к динамической модели процесса, графически показанной на рис. 17.15. Построенная динамическая модель отразила общую тенденцию уменьшения площади зеркала больших равнинных водохранилищ на 5 – 7 % от проектной к 50 – 70-летнему рубежу эксплуатации.

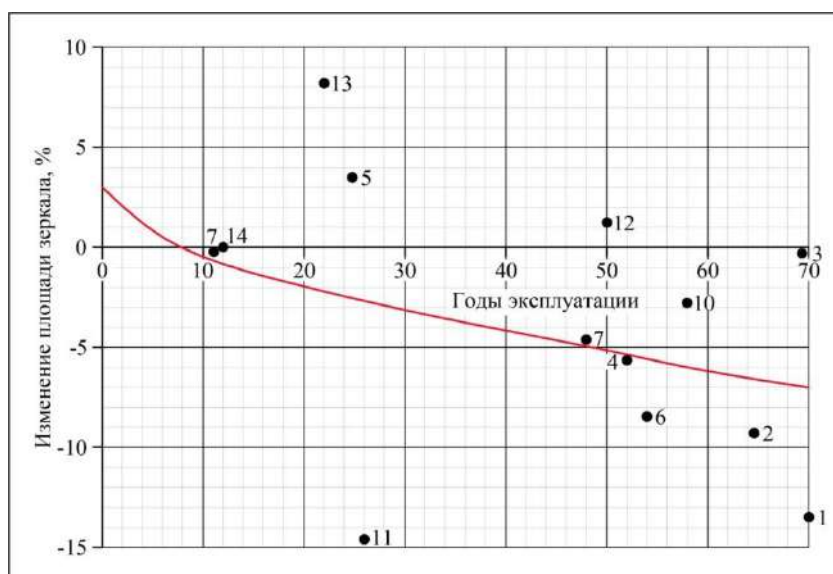


Рис. 17.15. Показатели и общий тренд изменения площади зеркала больших равнинных водохранилищ за многолетний период эксплуатации:
 1 – Иваньковское; 2 – Угличское; 3 – Рыбинское; 4 – Горьковское; 5 – Чебоксарское;
 6 – Камское; 7 – Воткинское; 10 – Цимлянское; 11 – Пензенское; 12 – Новосибирское;
 13 – Усть-Хантайское; 14 – Вилюйское []

Выявленные **общие тенденции** (закономерности) увеличения длины береговой линии вместе с уменьшением площади зеркала больших равнинных водохранилищ за многолетний период эксплуатации по совокупности данных до сих пор в научной литературе не отмечались. Аналитическая

связь длины береговой линии с площадью зеркала неосуществима. Уточнение их поведения является задачей натуральных исследований за пределами охваченного количества и возраста водохранилищ [578].

Таблица 17.10

Изменение площади зеркала больших (> 100 км²) равнинных водохранилищ за многолетний период эксплуатации [576]

Водохранилище	Площадь зеркала проектная, км ²	Период нормальной эксплуатации (возраст), годы	Площадь зеркала в конце периода, км ²	Изменение площади зеркала (+увеличение; –уменьшение)		Источники информации
				км ²	%	
Иваньковское	327	1937 – 2009(72)	282,7	–44,3	13,5	[652]
Угличское	249	1943 – 2008(65)	226,1	–22,9	9,19	[112; 244]
Рыбинское	4550	1941 – 2010(69)	4545,5	–4,5	0,10	[319; 462]
Горьковское	1591	1957 – 2009(52)	1497,5	–93,5	5,87	[244; 319; 462]
Чебоксарское (ВПУ=63,0)	1080	1981 – 2006(25)	1118,33	+38,3	3,54	[441; 464]
Камское	1915	1954 – 2008(54)	1754,1	–16,1	8,40	[379; 401]
Воткинское	1120	1961 – 1972(11)	1119,4	–0,6	0,05	[399; 496]
		1961 – 2009(48)	1066,7	–53,3	4,75	
Куйбышевское	6450	с 1959	нет информации			[112]
Волгоградское	3120	с 1960	нет информации			[112]
Цимлянское	2702	1952 – 2010(58)	2624	–78	2,9	[460; 503]
Пензенское	110	1979 – 2005(26)	94,04	–15,96	14,5	[303; 593]
Новосибирское	1070	1959 – 2009(50)	1082	+12	1,12	[265; 667]
Усть-Хантайское	2120	1970 – 1992(22)	2295	+175	8,25	[408; 456]
Вилюйское	2170	1973 – 1985(12)	~2170	0	0	[330]

Малые водохранилища ЕТР. Аналогично данным о больших водохранилищах обобщены показатели заиления и потерь полного объема 11 малых (<500 млн м³) водохранилищ бассейна р. Волги по исследованиям ННГАСУ 2000-х гг. [303; 592; 593]; сгруппированы сведения об интенсивности заиления и потерь объема 32 малых водохранилищ на равнинных пространствах ЕТР и прилегающих территорий других стран по опубликованным материалам прошлых лет [24; 203; 223; 292; 404; 507; 516; 517; 518; 678; 713]. По выборке из 43 малых водохранилищ синтезирована общая закономерность потери их объема в зависимости от возраста (рис. 17.16). В соответствии с этой закономерностью группа водохранилищ федерального подчинения [479] объемом до 500 млн м³ каждое общей проектной емкостью примерно 16000 млн м³ за 25 лет эксплуатации лишается 16 % этой емкости, то есть 2560 млн м³ полного объема.

Приведенную закономерность можно использовать для грубой оценки потерь объема малых водохранилищ лесостепной и степной зон страны, уточняя по мере накопления данных натуральных изысканий.

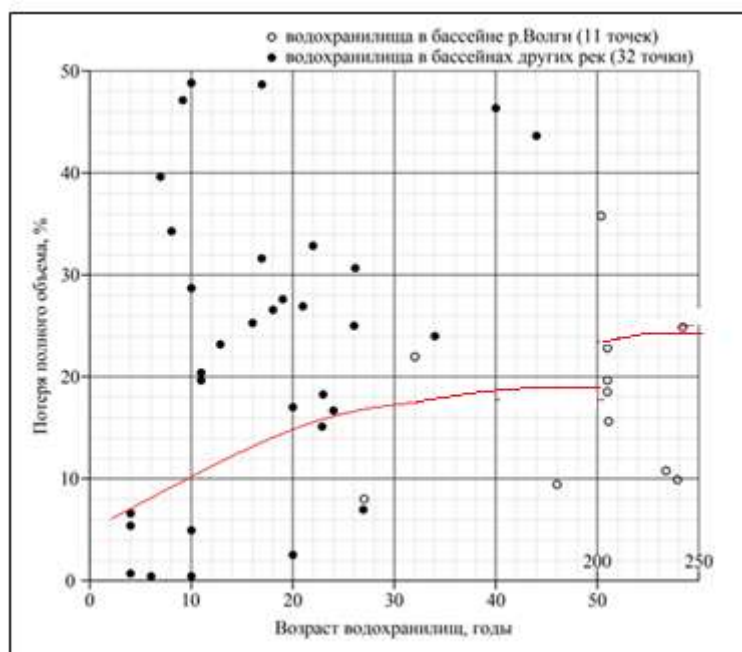


Рис. 17.16. Показатели и общий тренд потери с возрастом полного объема малых (< 500 млн. м³) водохранилищ на равнинных пространствах РФ и прилегающих территорий других стран [539; 576]

Таблица 17.11

Изменение площади зеркала малых равнинных водохранилищ за многолетний период эксплуатации

Водохранилище	Площадь зеркала проектная, млн м ²	Период нормальной эксплуатации (возраст), годы	Площадь зеркала в конце периода, млн м ²	Изменение площади зеркала (+увеличение; -уменьшение)		Источники информации
				млн м ²	%	
Новотроицкое	18,0	1955 – 1974 (19)	12,75	– 5,25	29,1	[404]
Новопокровское	2,83	1952 – 1963 (11)	2,81	– 0,02	0,7	[404]
Протяжка	0,423	1980 – 2000 (20)	0,430	+0,007	1,6	[592]
Анадырское	1,49	1986 – 2008 (22)	1,47	– 0,02	1,3	[152]
Истринское	33,6	1935 – 2009 (74)	34,73	+1,1	3,3	[708]
Рузское	32,7	1966 – 2009 (43)	30,59	– 2,2	6,7	
Озернинское	23,1	1967 – 2009 (42)	21,36	– 1,7	7,4	
Рублевское	3,0	1933 – 2009 (76)	2,68	– 0,3	10,0	

Для водохранилищ малого объема на фоне незначительных изменений длины береговой линии также фиксировалось уменьшение площади зеркала (табл. 17.11), но за недостатком данных выполнить синтез общего тренда не получилось.

Увеличение объема водохранилищ ГЭС криолитозоны. Мутность северных рек невелика, в среднем около 20 г/м^3 [452]. Заиление северных водохранилищ таким образом несущественно. Роль всплывающих торфяников в увеличении объема чаш водохранилищ особенно не проявляется. Опыт гидроэнергостроительства показал, что массового всплытия торфяников на больших северных водохранилищах не наблюдалось [335]. То же относится и к небольшим водохранилищам, например, к водохранилищу Анадырской ТЭЦ на р. Казачке [324], хотя проблемы с торфяниками там имеются. Основными при изменении со временем размеров чаш водохранилищ, эксплуатируемых в области вечной мерзлоты, выступают процессы тепловой осадки ложа и переформирования берегов. Процесс таяния льдонасыщенных пород основания, сопровождающийся осадкой оттаявшего слоя (термокарстовый процесс), определяет изменение объема чаши водохранилища. При этом объем (в отличие от водохранилищ, расположенных вне области вечной мерзлоты) с годами увеличивается. Процесс наиболее интенсивен в начальный период эксплуатации, после оттаивания толщи просадочных пород оседание ложа водохранилища прекращается. Переформирование мерзлых нескальных берегов приводит большей частью к изменению площади водохранилищ.

Работы по натурному уточнению морфометрических параметров действующих водохранилищ ГЭС в области вечной мерзлоты, подобные работам на больших равнинных водохранилищах ЕТР, до настоящего времени не проводились. В их отсутствие научный и практический интерес оставалось удовлетворить приблизительными оценками. Обобщенные результаты таких оценок [538; 539], сконцентрированы непосредственно ниже.

Усть-Хантайское водохранилище размещено в зоне прерывистого распространения вечномерзлых пород мощностью от 15 до 60 м, занимавших 60 % затопленной территории. Наибольшей льдистостью (более 0,4) и просадочностью при оттаивании (более 0,5) характеризовались озерно-болотные, озерно-аллювиальные и озерно-ледниковые отложения мощностью от 2,1 до 8 м, залегавшие на площади 2102 км².

Уточнение морфометрических параметров водохранилища оказалось необходимым для объяснения причин проявившейся невязки его водного баланса и было выполнено институтом «Гидропроект» в 1977 – 1978 гг.

[327; 330; 452; 453; 454; 455], а затем в 1989 – 1990 гг., когда были проведены аэрофотосъемочные, аэротелевизионные работы и полевые исследования на эталонном участке [456]. Приращение площади определили путем сравнения положения береговой линии в момент наполнения водохранилища на топографической карте масштаба 1:100 000 и через 19 лет на аэрофотоснимках, выполненных в том же масштабе. При НПУ = 60 м БС оно составило 175 км² или 8,25 % проектной площади зеркала. Увеличение объема, было определено на эталонном участке акватории площадью 350 км² путем сравнения топографического плана донного рельефа в масштабе 1:25000 на начало заполнения и через 20 лет. Последний строился по материалам промеров глубин эхолотом с катера на профилях через 500 м. Сравнение профилей 1970 и 1990 гг. свидетельствовало об уменьшении отметок ложа водохранилища относительно отметок поверхности рельефа до начала его заполнения в среднем на 3 м. Увеличение проектного полного объема водохранилища с учетом деформации берегов составило 2,81 км³ или 12,15 %, в том числе полезный объем увеличился на 1,06 км³. При этом основную долю в увеличении полного объема дало оседание ложа, а на деформацию берегов пришлось всего 0,17 км³. Процесс оттаивания и оседания вечномёрзлых рыхлых высокольдистых грунтов четвертичного периода в основании водохранилища практически завершился к 1983 г. Полученные данные привели к уточнению кривой объемов водохранилища по состоянию на 01.01.1992 г. в сравнении с проектной кривой (рис. 17.17) [456].

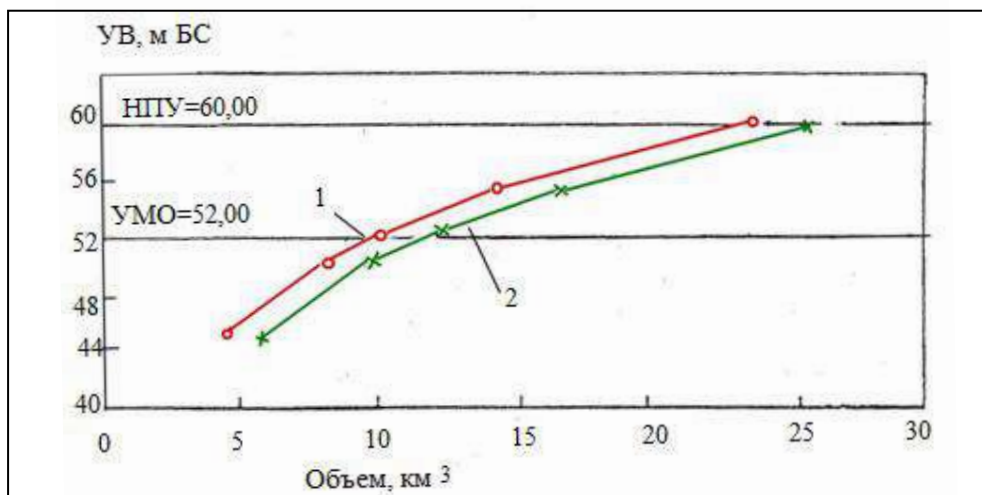


Рис. 17.17. Кривые зависимости объемов от уровней воды в Усть-Хантайском водохранилище: 1 – проектная; 2 – уточненная по состоянию на 01.01.1992 г. [456]

По справке Енисейского БВУ [408] в настоящее время действуют «Правила использования Усть-Хантайского водохранилища» 1996 г., в

которых учтено приращение его полного и полезного объемов, а также площади зеркала, в сравнении с проектными значениями, но в несколько меньших размерах (примерно на 1983 г.).

Курейское водохранилище расположено в зоне прерывистой вечной мерзлоты, распространенной на 25 % затопленной территории. В характеристике геокриологических условий района гидроузла институтом Сибгидропроект в 1990 г. указывалась величина оттаивания покровной толщи мерзлых дисперсных пород на 10-й год затопления, дающая возможное приращение объема водохранилища на 0,104 км³, т.е. на 1,04 % от проектного полного объема 9,962 км³ [587]. Такое приращение не внесло заметных корректив в проектную кривую объемов водохранилища. Как следует из справки Енисейского БВУ [408], при его эксплуатации действовали «Правила использования водных ресурсов водохранилища гидроузла Курейской ГЭС» 1992 г. и разработаны правила 2012 г., повторяющие проектные морфометрические показатели.

Колымское водохранилище проектным полным объемом 14,397 км³ расположено в районе сплошного распространения вечномерзлых пород мощностью 300 м и иногда более. Слой покровных льдистых четвертичных отложений имеет толщину 2 – 15 м [296]. Уже в период временной эксплуатации 1981–1987 гг. отмечались расхождения проектной и фактической кривых связи объемов и уровней водохранилища в зоне мертвого объема (рис. 17.18).

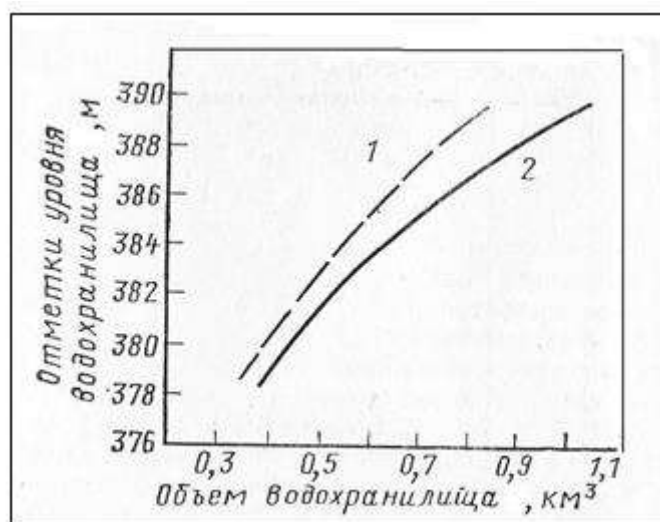


Рис. 17.18. Кривые объемов Колымского водохранилища: 1 – проектная; 2 – фактическая за период временной эксплуатации 1984 – 1987 гг. [330]

Приращение достигнутого объема $0,85 \text{ км}^3$ к 1987 г. составило $0,2 \text{ км}^3$ (23,5 %). В период постоянной эксплуатации при НПУ = 450 м с 1988 г. стало происходить увеличение проектной призмы полезного объема в результате склоновых перемещений делювиально-солифлюкционных отложений и вытаивания льда из покровных мерзлых пород [330]. Если предположить, что отмеченная за 7 лет временно наполненного водохранилища интенсивность тепловой осадки его ложа (2 м на площади около 80 км^2) оказалась такой же на остальной площади затопления ($\sim 300 \text{ км}^2$), то за следующие 7 лет (1988 – 1994 гг.) оседание ложа на этой площади привело к увеличению его объема на $0,75 \text{ км}^3$, а если это оседание с большой долей вероятности оказалось предельным [296], то полный объем водохранилища к 1994 г. увеличился за счет него на $0,95 \text{ км}^3$, т.е. на 6,5 %, а полезный – на $0,32 \text{ км}^3$, т.е. на 4,8 % [576].

Вилуйское водохранилище начали эксплуатировать в 1967 г. при отметке временного подпорного уровня 228,0 м БС, в 1973 г. был достигнут НПУ = 244,0 м БС, при котором площадь водной поверхности составила 2170 км^2 (при затоплении 1112 км^2 земель), полный объем $35,88 \text{ км}^3$. На 1982 г. увеличение объема водохранилища вследствие тепловой осадки ложа исходя из мерзлотно-геологических условий оценивалось величиной $0,05 \text{ км}^3$ или 0,14 % [330].

Эвенкийское водохранилище на р. Нижней Тунгуске, намеченное для самой крупной потенциальной гидроэлектростанции России (12000 МВт), в варианте с НПУ = 200,0 м БС получит полный и полезный объемы $409,4 \text{ км}^3$ и $101,0 \text{ км}^3$ и площадь зеркала 9400 км^2 при площади затопляемых земель 8680 км^2 [731], располагаясь на территории, 10 – 25 % которой в нижней и до 60 – 80 % в верхней части занято вечной мерзлотой мощностью 50 – 300 м с температурой – $0,1 \dots -3 \text{ }^\circ\text{C}$. Четвертичные отложения представлены здесь склоновыми и аллювиальными образованиями толщиной 15 – 18 м с наличием подземного льда. Ориентировочные расчеты Института мерзлотоведения РАН показали, что за первые 10 лет после заполнения водохранилища мерзлый покров из дисперсных пород протает на 5,5 – 8,0 м, а за 50 лет на 12 – 18 м [334]. Продолжив прогноз, получим, что при площади оттаивающих дисперсных пород около 50 % площади затопляемых земель (4340 км^2), их средней льдистости 0,3 и средних глубинах оттаивания 6,75 м за 10 лет и 15 м за 50 лет, общий объем тепловой осадки ложа может составить за 10 лет $8,78 \text{ км}^3$ и за 50 лет $19,53 \text{ км}^3$ или 2,14 % и 4,77 % полного объема водохранилища [576].

Амгуэмское водохранилище проектировалось на Чукотке для ГЭС мощностью 300 МВт, наиболее перспективной в регионе. По материалам геокриологических изысканий [296; 587] предназначавшаяся к затоплению водохранилищем суша (567 км²) расположена в зоне сплошной вечной мерзлоты с температурой на глубине затухания годовых колебаний $-7,6$ °С. Среди покровных отложений преобладают мерзлые ледниковые и озерно-аллювиальные песчаные и супесчано-суглинистые породы с гравием и галькой, включениями ледяных прослоев и линз различного происхождения, повторно-жильными льдами глубиной 1 – 10 м. Согласно расчетному прогнозу за 5 и 20 лет глубина их оттаивания составит 3,8 и 6,6 м, тепловая осадка – 0,31 и 0,55 м. В предположении распространенности покровных пород по всей затапливаемой суше возможное приращение полного объема водохранилища за 5 и 20 лет после наполнения оценено в 1,10 и 1,95 %, а с учетом вытаявания повторно-жильных льдов может быть больше [576].

Результаты описанных оценок сгруппированы в табл. 17.12. Они показали, что увеличение полного объема водохранилищ в первые 2 десятилетия эксплуатации может составлять от 0,2 % (Вилуйское) до 12 % (Усть-Хантайское). Сформированная небольшая выборка из 9 точек позволила выполнить **синтез общей закономерности** увеличения полного объема водохранилищ ГЭС криолитозоны в зависимости от возраста (рис. 17.19).

Таблица 17.12

Оценочные данные об увеличении со временем полного объема эксплуатируемых и проектируемых водохранилищ ГЭС в области вечной мерзлоты [576]

Водохранилище	Полный объем проектный, км ³	Период эксплуатации (возраст водохранилища), годы	Уточненный объем в конце периода, км ³	Приращение полного объема		Источники информации об уточнении объема
				км ³	%	
Усть-Хантайское	23,520	1970~1983 (13)	24,54	2,02	8,58	[408]
	23,113	1970-1992 (22)	25,924	2,81	12,15	[456]
Курейское	9,962	1980-1990 (10)	10,066	0,104	1,04	Проект, 1990 г.
Колымское	0,85	1981-1987 (7)	1,05	0,2	23,5	[330]
	14,397	1981-1994 (14)	15,347	0,95	6,5	[539]
Вилуйское	35,88	1967-1982 (15)	35,93	0,05	0,14	[330]
Эвенкийское	409,4	Проект (10)	418,18	8,78	2,14	[539]
		Проект (50)	428,93	19,53	4,77	
Амгуэмское	15,95	Проект (5)	16,125	0,175	1,10	[539]
		Проект (20)	116,267	0,317	1,95	

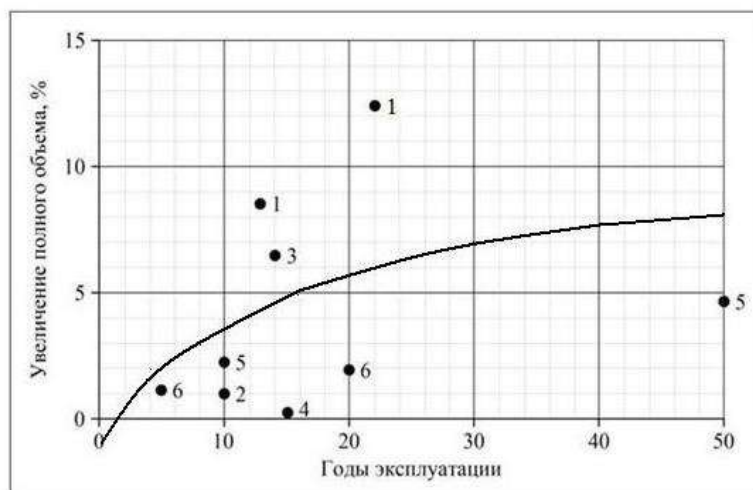


Рис. 17.19 Показатели и общая закономерность возможного увеличения полного объема водохранилищ ГЭС в области вечной мерзлоты: 1 – Усть –Хантайское; 2 – Курейское; 3 – Колымское; 4 – Вилуйское; 5 – Эвенкийское; 6 – Амгуэмское [539]

Полученная закономерность дала общее представление о динамике процесса, показав, что водохранилища ГЭС криолитозоны за 20 – 40 лет эксплуатации могут естественным образом увеличивать свой полный объем в среднем на 6 – 8 % с последующей стабилизацией ситуации.

Поведение береговой линии и площади зеркала водохранилищ ГЭС криолитозоны. Изменение длины береговой линии и площади зеркала вследствие переформирования берегов, оцененное для Усть-Хантайского [327; 408; 456; 714] и Вилуйского [90; 103; 330] водохранилищ, отражено в перечнях вместе с данными об этих параметрах больших равнинных водохранилищ (см. табл. 17.9, 17.10).

Увеличение объема малых водохранилищ криолитозоны. Единственным водохранилищем криолитозоны, на котором выполнены полно-объемные исследования изменения со временем морфометрических параметров, является пока малое Анадырское водохранилище на Чукотке (см. раздел 16.3, табл. 16.3, рис. 16.19 – 16.21). Вследствие тепловой осадки льдистых четвертичных отложений за 22 года эксплуатации с 1986 г. по 2008 г. полный объем водохранилища увеличился с 6,19 до 7,23 млн м³ (на 16,8 %), а к 2030 г. по прогнозу возрастет до 7,55 млн м³, т.е. увеличение составит 21,9 % проектного объема (рис. 17.20) [539].

В отсутствие натуральных изысканий по другим малым водохранилищам криолитозоны были предприняты приблизительные оценки изменения их объемов со временем расчетными методами [539]. В качестве исходных

данных принимались сведения о природных условиях, составе и свойствах грунтов долин, почерпнутые из публикаций, проектов, материалов эксплуатирующих организаций, архива ННГАСУ. Для примера представим результаты одной из таких оценок.

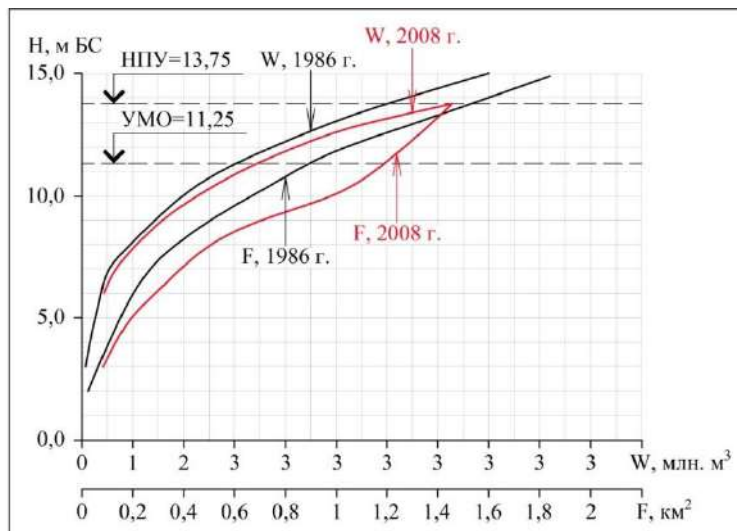


Рис. 17.20. Кривые объемов W и площадей зеркала F Анадырского водохранилища на р. Казачке [324]

Водохранилище на ручье Уэся-Лиендокит в бассейне р. Мархи (приток р. Вилюя) создано в 2006 г. для водоснабжения Нюрбинского ГОК АК «Алмазы России-Саха». В 2009 г. в ННГАСУ выполнялись прогнозные расчеты температурного режима плотины гидроузла для обеспечения мониторинга [60], совместно с которыми были проведены расчеты оттаивания основания водохранилища до 2020 г. с учетом осадки грунтов покровного слоя и выявлена возможность увеличения полного объема водохранилища на 14,3 % (табл. 17.13, рис. 17.21).

Таблица 17.13

Морфометрические характеристики водохранилища на р. Уэся –Лиендокит [60]

Характеристики	Проектные данные	Приблизительная оценка на срок до 2020 г.
Год наполнения	2006	—
Отметка НПУ, м абс.	220,5	220,5
Отметка УМО, м абс	218,0	218,0
Глубина у плотины, м	10,5	—
Площадь зеркала, км ²	0,571	0,571
Полный объем, млн м ³	1,678 (100%)	1,918 (114,3%)
Полезный объем, млн м ³	1,052	1,202
Мертвый объем, млн м ³	0,626	0,715

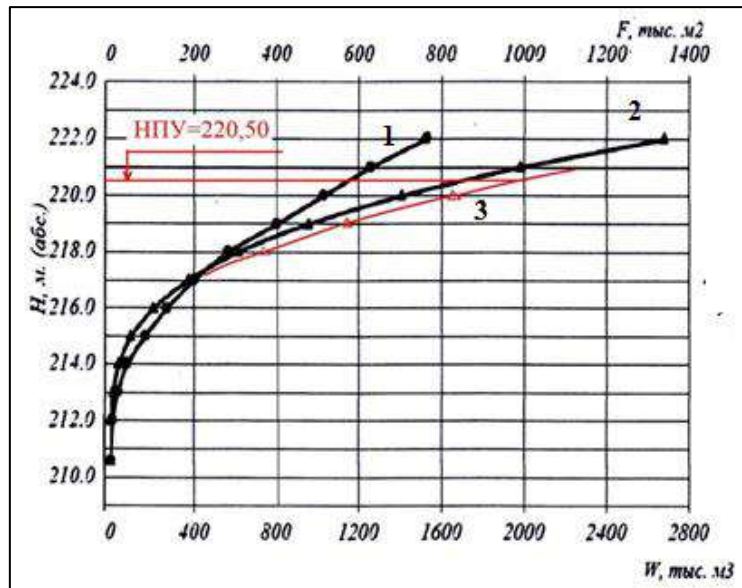


Рис. 17.21. Кривые объемов W и площадей зеркала F водохранилища на р. Уэся-Лиендокит: 1 – $F = f(H)$ проектная на 2006 г.; 2 – $W = f(H)$ проектная на 2006 г.; 3 – $W = f(H)$ оценочная на 2020 г. [60]

Аналогичным образом получены оценочные расчетные данные для 15 водохранилищ, по которым синтезирована общая закономерность увеличения полного объема малых водохранилищ криолитозоны в зависимости от возраста (рис. 17.22).

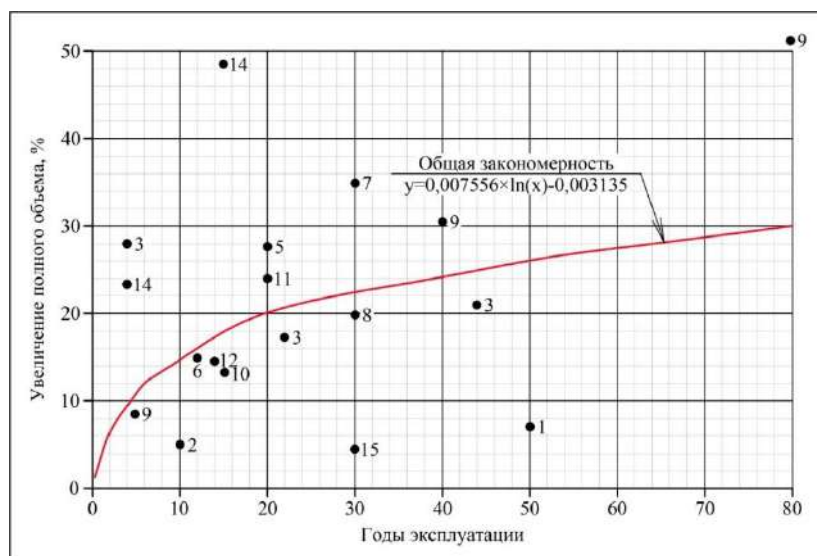


Рис. 17.22. Показатели и общая закономерность возможного увеличения полного объема малых водохранилищ в области вечной мерзлоты: 1 – на р. Долгой; 2 – Аркагалинское; 3 – Анадырское; 4 – на р. Каменушке; 5 – Иреляхское; 6 – Кадыкчанское; 7 – Певекское; 8 – на р. Ойуур-Юреге; 9 – Билибинское; 10 – Сытыканское; 11 – на р. Мархе; 12 – на р. Уэся-Лиендокит; 13 – на р. Эбэлэх; 14 – на р. Ваче; 15 – на р. Ханмей

За три десятилетия эксплуатации почти полностью протаивают покровные слои мягких просадочных грунтов в зонах затоплений исследованных водохранилищ. Исходя из выявленной общей закономерности, средний предел увеличения емкости чаш малых водохранилищ криолитозоны оценен нами примерно в 20 % от полного объема [539; 576].

Участки перспективных гидроэнергоузлов на северо-востоке страны, особенно в северной Якутии и на Чукотке, характеризуются распространением сильнольдистых дисперсных пород со свойствами, резко изменяющимися при оттаивании. С продвижением гидроэнергетического и водохозяйственного строительства в северо-восточном направлении вопрос о возможном увеличении объемов чаш водохранилищ потребует углубленного изучения.

17.4. Фрактальные параметры водохранилищ

Географические информационные системы (ГИС) «Морфометрия водохранилищ» создаются методами традиционной геометрии, которая основана на приближенной аппроксимации структуры объекта линиями, отрезками, плоскостями, многоугольниками и т. п. Объект заменяется моделью. Это приводит к потере части информации об его свойствах. Например, топология не видит разницы между различными береговыми линиями: топологическая размерность любой береговой линии равна топологической размерности окружности и обе они равны 1. Дополнительную полезную количественную информацию в ГИС предназначены внести данные о фрактальных параметрах водохранилищ, получаемые методами фрактальной геометрии.

Термин «фрактал» (*fractal*) означает дробный, ломаный, фрагментарный. К фракталам относят геометрические объекты, имеющие изрезанную форму и демонстрирующие некоторую повторяемость (самоподобие) в широком диапазоне масштабов. Математическим выражением самоподобия выступают степенные законы $f(x) = c \cdot (x)^D$ с целочисленными или дробными постоянными c и D . Специфической количественной характеристикой фрактального объекта является фрактальная размерность D [666].

Фракталы встречаются везде. Специалисты в разных областях, повинаясь врожденной активности, штурмуют фрактальную тему. У водохранилищ (замкнутых водоемов) фрактальными свойствами обладают береговая линия, площадь водного зеркала, подводный рельеф [601].

Береговая линия это фрактал. Во фрактальной геометрии различные береговые линии имеют разные фрактальные размерности в диапазоне $1 < D < 2$, и величина D тем больше, чем более извилистым является берег. Результат измерения береговой линии зависит от масштаба топографической основы и длины измерителя ε . С уменьшением ε длина береговой линии $L(\varepsilon)$ увеличивается теоретически до бесконечной. Пример – на рис. 17.23 и в табл. 17.14 [578]. Чтобы избежать несопоставимости результатов, в сообщениях о длине береговой линии надо указывать масштаб картографической основы, на которой она измерена. Но даже в солидных монографиях [112; 117] и академических изданиях [520] длина береговой линии, если и называется, то без указания способа измерения.

Таблица 17.14

Результаты измерения длины береговой линии Горьковского водохранилища на участке АБ между д. Малый Суходол и плотиной гидроузла [578; 601]

Картографическая основа	Год выпуска	Масштаб	Длина мерного отрезка	Длина береговой линии на участке АБ	
				км	%
Карта топографическая	1992	1:200 000	2 мм = 400 м	20,80	83,9
Карта топографическая	1992	1:100 000	2 мм = 200 м	21,20	85,5
Космоснимок (20,49 м/пиксель)	04.10.2010	1:80 000	2 мм = 160 м	21,76	87,6
Космоснимок (10,47 м/пиксель.)	04.10.2010	1:40 000	2 мм = 80 м	22,64	91,1
Космоснимок (5,25 м/пиксель)	04.10.2010	1:20 000	2 мм = 40 м	23,84	96,2
Натурное измерение	28.07.2012	1:200	1 м	24,80	100

Методы вычисления фрактальной размерности D береговой линии по ее изображению на плоскости освещены в специальной литературе [601; 666]. Понятно, что измерить длину береговой линии водохранилища и определить ее фрактальную размерность можно только приблизительно. В реальности из практических соображений обычно выбирают минимальный размер деталей береговой линии равным порядку единицы измерения. Так, если береговая линия измеряется в километрах, то детали меньше 1 км просто не принимаются во внимание. При этом для многих береговых линий

значение D близко к 1,3 [666]. Например, на участке АБ берега Горьковского водохранилища (см. рис. 17.23) $D = 1,021$, для берегов его приплотинной части (см. рис. 14.29) $D = 1,170$, вся береговая линия водохранилища (рис. 17.24) характеризуется значением $D = 1,249$ [601]. Из примера видно как увеличивается фрактальная размерность береговой линии с повышением ее извилистости.

Положение береговой линии водохранилища с течением лет изменяется вследствие переформирования берегов. Соответственно изменяется реальная длина и фрактальная размерность береговой линии. Если в сообщении о длине береговой линии кроме масштаба указать год измерения, вот тогда ситуация будет полностью определена.

Площадь водного зеркала. В понятиях фрактальной геометрии теоретически береговая линия бесконечной длины ограничивает конечную площадь водного зеркала водохранилища [666]. Изучение формы водохранилища в плане может быть чисто описательным [7; 120; 122], а может быть аналитическим. Математическое описание формы обладает точностью, которая практически отсутствует на стадии чистого описания.

Плановая конфигурация водохранилища корректно характеризуется коэффициентом формы $K_F = L/F^{0,5}$, где L – длина береговой линии, F – площадь зеркала. Числовое значение K_F тем больше, чем сложнее конфигурация водохранилища. С учетом фрактальных свойств значение коэффициента формы K_F зависит от размера ε используемого эталона измерения. Для получения приемлемого результата эталон ε должен быть предельно малым и одинаковым при измерении длины береговой линии и площади водного зеркала водохранилища [666]. Посредством коэффициента формы разработана классификация водохранилищ с выделением их категорий по сложности плановой конфигурации (см. табл. 10.2) [601].

Для удовлетворения интереса о реальных значениях фрактальных параметров российских водохранилищ проведены измерения длин береговых линий L , расчеты их фрактальных размерностей D и вычисления коэффициентов плановой формы K_F на базе топографических карт масштаба 1:500 000 (в 1 см – 5 км) 1983 – 2003 гг. Площади зеркал и длины береговых линий определялись при помощи стандартных инструментов САПР «Autocad». Фрактальные размерности береговых линий по их изображениям находились методом подсчета занятых ячеек (*box-counting*) [43; 601; 602]. В табл. 17.15 представлены данные по водохранилищам Верхней Волги.



Рис. 17.23. Участок АБ левого берега Горьковского водохранилища от д. Малый Суходол до плотины гидроузла

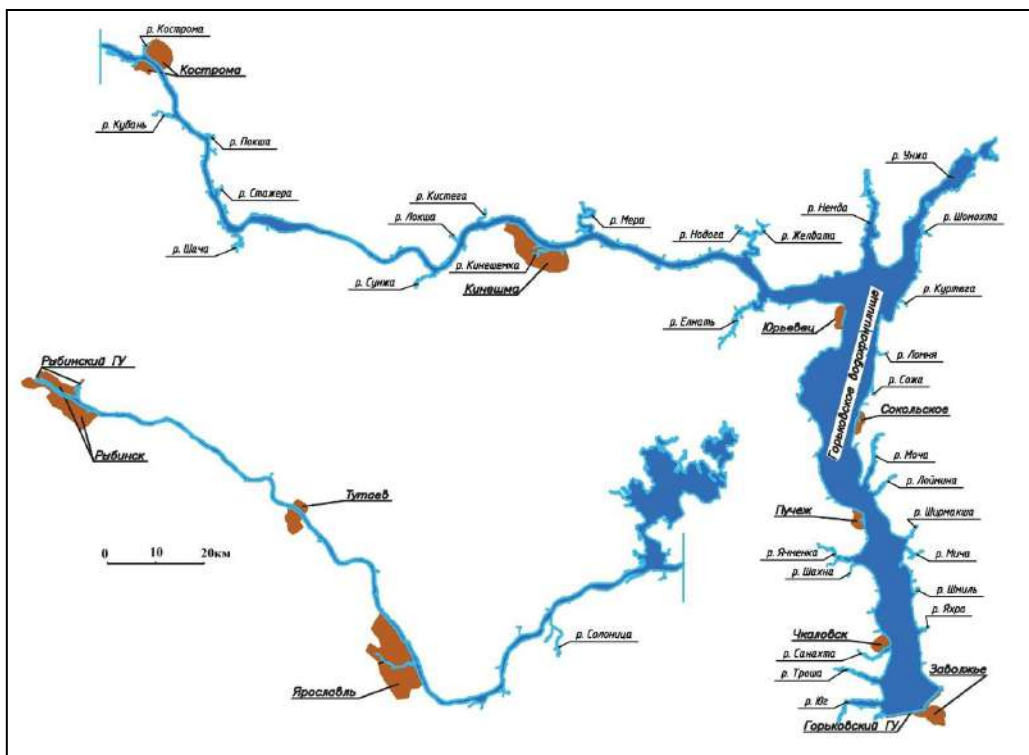


Рис. 17.24. Обработанное с монохромным разделением воды и суши изображение Горьковского водохранилища с подпертыми притоками [601]

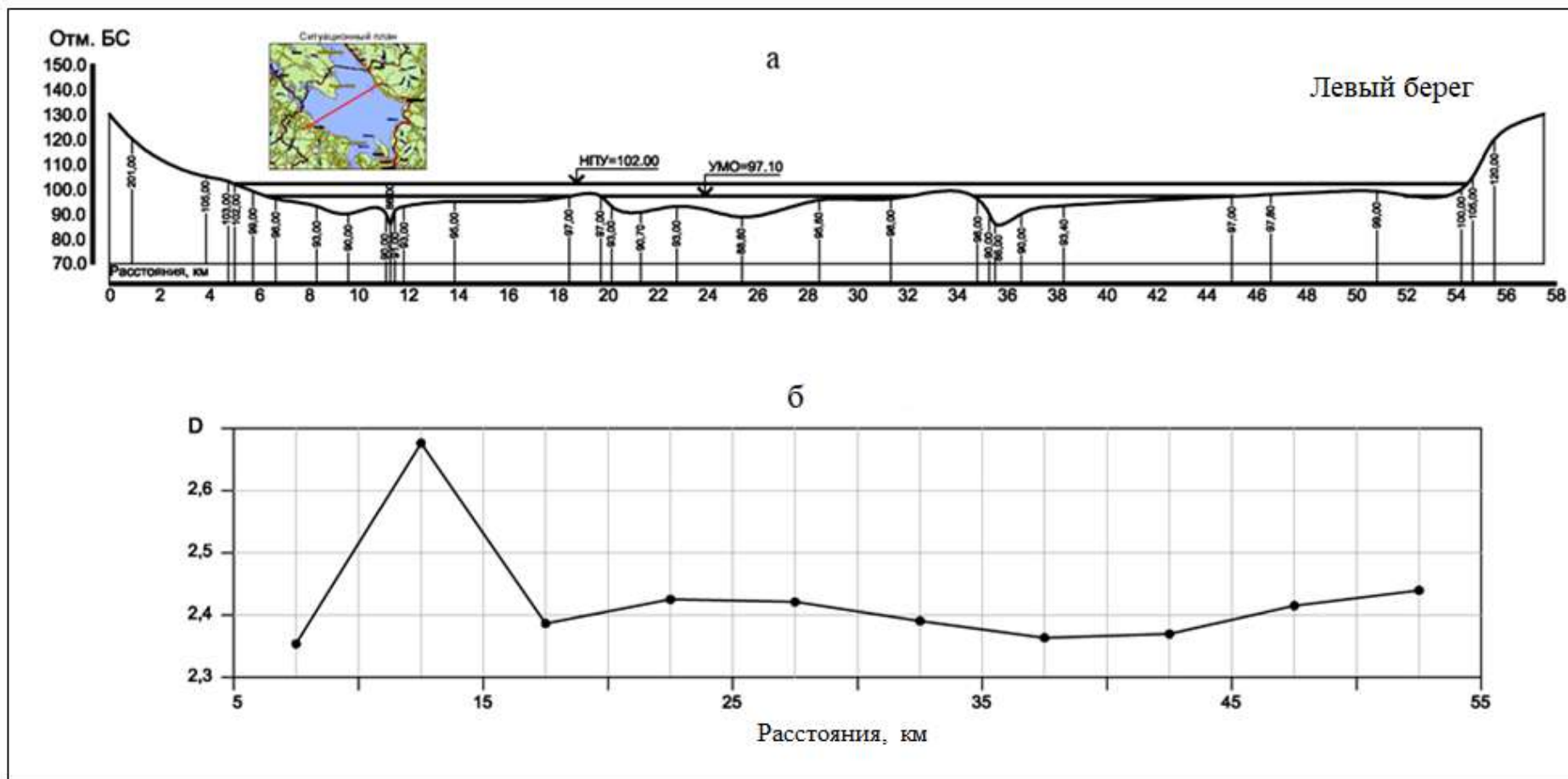


Рис. 17.25. Исходное изображение и график изменения локальной фрактальной размерности профиля дна Рыбинского водохранилища. $D = 2,35 - 2,67$. $D_{cp} = 2,5$ [321; 601]

Таблица 17.15

**Фрактальные размерности береговых линий и коэффициенты
плановой формы водохранилищ Верхней Волги, определенные на базе
топографических карт масштаба 1:500 000 [43]**

Водохранилище	НПУ, м БС	Пло- щадь зеркала F , км ²	Длина бе- реговой ли- нии L , км	Коэффициент формы водо- хранилища K_F	Фрактальная размерность береговой ли- нии D
Верхневолжское	206,50	133,5	266,3	23,05	1,346
Иваньковское	124,00	269,4	386,7	23,56	1,400
Угличское	113,00	266,3	371,7	22,78	1,362
Рыбинское	102,00	4370,9	1266,5	19,16	1,238
Горьковское	84,00	1250,8	1446,7	40,91	1,249
Чебоксарское	63,00	973,0	1068,2	34,24	1,316

Подводный рельеф водохранилищ, как указывалось выше, тоже фрактален. Для оценки его самоподобия можно применить постворовый анализ его фрактальных размерностей методом нормированного размаха Х. Херста в приложении к рядам отметок дна [666]. По данным ЦМР 2009 – 2011 гг. (см. рис. 17.6) на рис. 17.25 воспроизведен поперечный профиль дна в одном из створов Рыбинского водохранилища. Вычисленные фрагментарно фрактальные размерности отразили особенности донного рельефа: в районе русла р. Волги $D = 2,67$, а затопленная пойма характеризуется средней величиной $D \approx 2,4$. Все дно – фрактальная поверхность с локальной фрактальной размерностью $D = 2,50$, что согласуется со статической независимостью его отметок [321; 601]. В табл. 17.16 дана сводка фрактальных параметров Рыбинского водохранилища, определенных на базе упомянутой ЦМР [43].

Таблица 17.16

**Сводка фрактальных параметров Рыбинского водохранилища,
полученных на базе ЦМР**

Элементы	Показатели фрактальности	Значения показателей
Береговая линия	Фрактальная размерность D	1,238
Водное зеркало	Коэффициент плановой формы K_F	19,16
Подводный рельеф	Локальная фрактальная размерность D	2,50

Вычисленные на базе топографических карт (проектные) и уточненные на базе построенных ЦМР (современные) фрактальные параметры водохранилищ открывают перспективу оценки их динамики во времени и пополняют количественную информацию ГИС «Морфометрия водохранилищ»,

используемых при организации водохозяйственной деятельности [43]. Включение показателей фрактальности в число морфометрических параметров водохранилищ ведет к повышению корректности их анализа, моделирования и прогнозирования, к повышению объективности и адекватности информационной поддержки жизненного цикла водохранилищ.

17.5. Влияние изменения объема на отдачу водохранилищ по электроэнергии и воде

Изменение объема водохранилищ ГЭС в процессе эксплуатации может влиять на отдачу их **по электроэнергии**. В этом смысле показателен опыт начального периода эксплуатации Усть-Хантайской ГЭС с несложившимся водным балансом водохранилища [330; 452; 455].

Водоохранилище Усть-Хантайской ГЭС, созданное в 1970–1973 гг., имеет проектные НПУ = 60,00 м, УМО – 52,00 м, полный и полезный объемы 23,52 и 12,81 км³. Предусмотренные проектом средняя многолетняя и гарантированная выработка электроэнергии определены соответственно в 2012 и 1725 млн кВт·ч.

В течение первых 15 лет эксплуатации проектный НПУ не был достигнут. Наивысшие уровни составили 59,52 м (август 1978 г.) и 59,76 м (август 1986 г.). Водноэнергетические расчеты с использованием проектных зависимостей объемов от уровней наполнения и сработки зафиксировали расхождения (невязки) с фактическими значениями параметров водохранилища в сторону увеличения и уменьшения его объемов. Наибольшие абсолютные величины невязок ($\pm\Delta W$) были отмечены у более высоких отметок уровня верхнего бьефа. Максимальные погрешности в сторону увеличения объема водохранилища +0,37 км³ и в сторону уменьшения объема (или потерь воды из водохранилища) –0,51 км³ снижают уровень верхнего бьефа против проектного соответственно на 0,23 и 0,27 м [455]. Основные факторы, влияющие на снижение проектных уровней водохранилища, показаны на рис. 17.26. За счет уменьшения напора на ГЭС при снижении уровня водохранилища произошла недовыработка электроэнергии, средняя годовая величина которой за рассматриваемый период оценена в 334 млн кВт·ч. Вместе с этим за счет прироста объема водохранилища получено увеличение выработки электроэнергии в среднем на 48 млн кВт·ч в год. С учетом последнего ежегодная недовыработка электроэнергии в многолетнем ряду

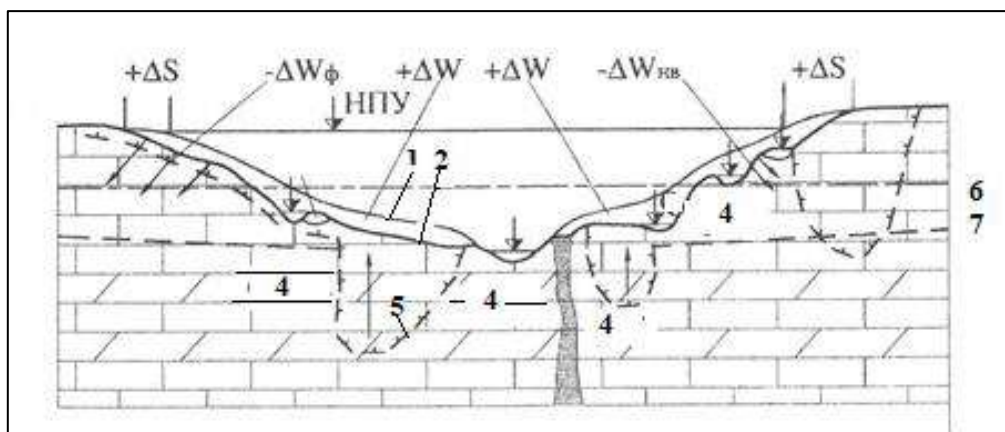


Рис. 17.26. Схема факторов, проявившихся при формировании чаши Усть-Хантайского водохранилища и влияющих на снижение проектных уровней верхнего бьефа: 1 – проектная, 2 – фактическая по состоянию на 1978 г. поверхность дна и бортов водохранилища; 3 – четвертичные отложения с льдосодержанием от 20 до 70 %; 4 – известняки, доломиты; 5 – граница вечномёрзлых пород; 6 – уровень подземных вод на момент наполнения водохранилища в 1970 г. и 7 – по состоянию на 1978 г.; факторы, влияющие на формирование уровней верхнего бьефа ГЭС: $+\Delta W$ – увеличение проектного объема водохранилища, $+\Delta S$ – увеличение проектной площади зоны отчуждения; потери воды: $-\Delta W_{\phi}$ – фильтрационной, $-\Delta W_{пв}$ – аккумулирующей на пониженных участках переформировавшейся поверхности и не участвующей в работе ГЭС при сработке водохранилища [330]

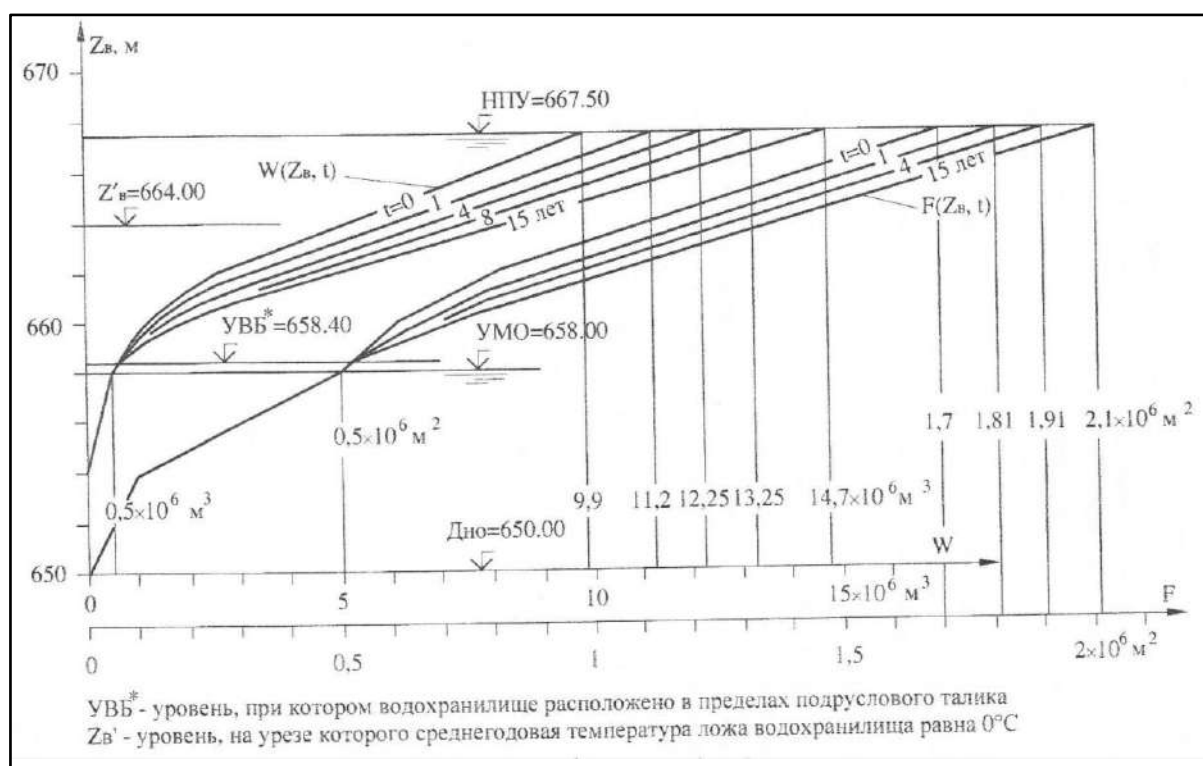


Рис. 17.27. Морфометрические характеристики водохранилища на р. Ваче в течение 15 лет эксплуатации [587]

эксплуатации Усть-Хантайской ГЭС составила $334 - 48 = 286$ млн кВт·ч при проектной выработке 2 012 млн кВт·ч [330; 455].

На Камском гидроузле зафиксирован положительный тренд сброса воды за период 1956 – 2015 гг. Сделан вывод, что это происходит, в частности, из-за ежегодного уменьшения объема водохранилища при НПУ вследствие накопления отложений и для поддержания проектных уровней в верхнем бьефе у ГЭС приходится увеличивать объемы холостых сбросов, теряя часть выработки электроэнергии [291]. Вывод обращает на себя внимание. В работе [59] он назван «несостоятельным», но доказательств несостоятельности не приведено никаких.

Гидроузел на р. Ваче в области вечной мерзлоты (см. раздел 16.5) проектировался для водоснабжения. Прогнозировалось изменение со временем размеров чаши водохранилища вследствие тепловой осадки грунтов основания, определялось изменение отдачи его по воде [587]. По расчетам вышло, что процесс формирования чаши весьма скоротечен. Уже в первые годы эксплуатации происходит существенное увеличение ее размеров. Так, за 4 года грунты основания оттаивают примерно на 4,5 м, объем чаши увеличивается на 23,7 %, а площадь на 12,3 % от первоначальных (рис. 17.27). В связи с увеличением объема водохранилища появляется возможность постепенно увеличить его отдачу по воде в период межени при достаточной водности года с проектных $0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ до $0,55 \text{ м}^3/\text{с}$ к концу 15-го года эксплуатации.

17.6 Развитие темы

Общие закономерности изменения морфометрических параметров больших водохранилищ за многолетний период эксплуатации (раздел 17.3) синтезированы нами на базе количественных данных по 22 водохранилищам ЕТР (с Украиной) и 6 водохранилищам криолитозоны России, на чем имевшиеся возможности были исчерпаны. Материал опубликован в 2014 г. [538; 539]. В откликах прозвучало, что подобная «оценка... является важной научно-практической задачей мирового уровня, которая нуждается в дальнейшей проработке» [59]. Это понятно. За прошедшие годы подоспели публикации с новыми данными по нескольким большим российским водохранилищам. Вот их обзор.

Краснодарское водохранилище [340]. Расположено в среднем течении р. Кубани, введено в эксплуатацию в 1973 г. Включило в свою северо-

Таблица 17.17

Основные морфометрические характеристики Краснодарского водохранилища по данным геодезических (в том числе батиметрических) съемок разных лет и проектным данным [340]

Показатели	Проектные (1973 г.)	По съемкам		
		1985 – 1986 гг.	2004 – 2005 гг.	2016*г.
Общая емкость, млн м ³ : при НПУ 33,65 м	2396	2347	2149	–
при НПУ 32,75 м	–	–	1798 (1532,14*)	144,94
при УМО	236	221	192	151,42
Полезная емкость, млн м ³ : при НПУ 33,65 м	2160	2126	1957	–
при НПУ 32,75 м	–	–	1606	1297,52
Мертвый объем, млн м ³	236	221	192	151,42
Площади зеркала, км ² : при НПУ 33,65 м	400	394	–	–
при НПУ 32,75 м	–	–	382,0	229,03
при УМО	128	127	115,7	99,58
Длина, км	46	46	45,5	29,9
Ширина, км: максимальная	11,0	11,0	11,0	11,0
средняя	8,7	8,7	8,2	8,7*
Средняя глубина, м	7,0	6,0	4,7 (6,72*)	6,33
Площадь зон с глубиной менее 2 м, км ²	–	34	121	40,31*
Длина береговой линии, км	200	–	–	209,5

Примечание. Символом (*) показаны данные без учета Тщикского водоема. Площадь зеркала Тщикского водоема в 2016 г. при уровне 32,75 м была равна 46,75 км², объем – 87,57 млн м³, средняя глубина – 1,87 м.

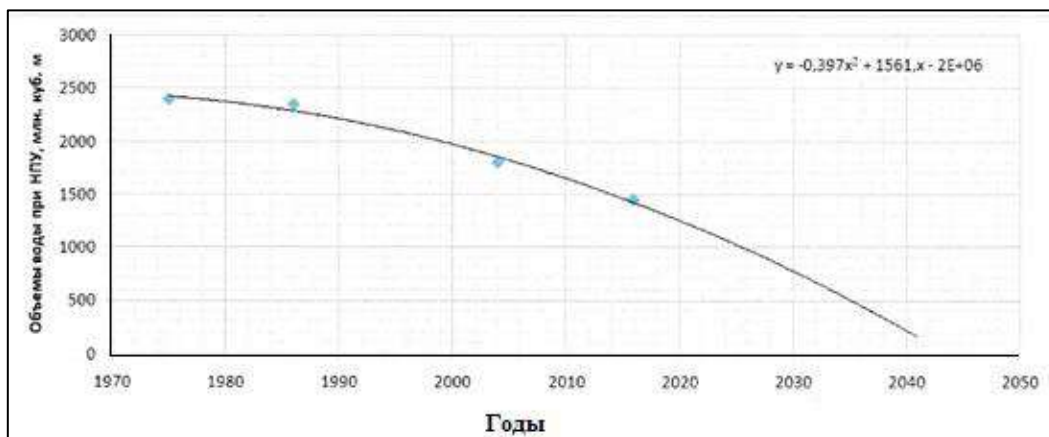


Рис. 17.28. Изменение объема воды в Краснодарском водохранилище при НПУ от ввода в эксплуатацию в 1973 г. до 2016 г. [340]

восточную часть построенное в 1940 – 1941 гг. Тщикское водохранилище. В 1973 – 1992 гг. эксплуатировалось с НПУ = 33,65 м БС, затем с НПУ = 32,75 м БС. Первоначально имело площадь водного зеркала около 400 км², полный объем около 3 км³. В водохранилище мутной (0,68 кг/м³) рекой Кубанью и притоками подается 6,9 млн м³/год твердого стока. За 1973 – 2005 гг. из подводных карьеров в зоне водохранилища изъяли 70 млн м³ песка. Объем и площадь зеркала водохранилища непрерывно уменьшаются. К 2016 г. полный объем водохранилища сократился с 2396 млн м³ до 1449 млн м³, полезный объем с 2160 до 1298 млн м³, а площадь зеркала с 400 до 229 км², причем 36,7 км² мелководий при НПУ пришлось на заросли ивняка (табл. 17.17). По расчетам аккумулятивный конус выноса р. Кубани в чаше водохранилища к 2030 – 2032 гг. достигнет УМО (рис. 17.28) и Краснодарское водохранилище начнет деградировать [340; 497]

Таким образом, по Краснодарскому водохранилищу видим соответствие общим закономерностям изменения морфометрических характеристик, проявившееся столь явно по причине большой мутности воды р. Кубани.

Угличское водохранилище [231]. За 72-летний период эксплуатации (к 2015 г.) объем отложений в нем составил около 30 млн м³ (т.е. 2,4 % полного объема водохранилища). Всего на дне аккумуляровалось 23 млн т осадков, из которых примерно 75 % представлены крупнозернистыми наносами.

Потеря полного объема Угличского водохранилища к 2015 г. согласуется с данными за более ранние годы, учтенными в табл. 17.7.

Горьковское водохранилище [237]. На Горьковском водохранилище скорости вдольбереговых течений обычно составляют 0,1 – 0,2 м/с, а при высоте волн более 1 м достигают 0,5 – 0,8 м/с. Эти течения способствовали процессам отчуждения части акватории суши вследствие намыва наносов с образованием валов, пересыпей, аккумулятивных пляжей и т.п. – к 2010 г. около 55 км². В Костромском расширении и заливах озерной части водохранилища в 1999 г. было обнаружено около 21 км² заболоченных почв, в 2010 г. их площадь составляла уже 27 км². Таким образом, отчуждение суши части акватории за счет сросшихся с дном макрофитных сплавин и песчаных почв за полосой прибоя, превратившихся в пляж и бечевник (см. рис.14.14, 14.26) уменьшило площадь зеркала водохранилища на 82 км² (5,15 %), что согласуется с данными ГОИН (5,2 %) [244] и ННГАСУ (5,87 %) [539], полученными с помощью ЦМР [237].

Камское водохранилище [59]. Эксплуатация водохранилища начата

в 1954 г. В 2007 – 2008 гг. проведены работы по уточнению его морфометрических параметров [400; 401] (см. рис. 17.9, табл. 17.5). Сравнение проектных и уточненных в 2007 – 2008 гг. данных (см. табл. 17.7, 17.10) отразило уменьшение объема и площади зеркала водохранилища (табл. 17.18). Аналогичные результаты получены другим (независимым) исследованием [275]. На это указано в публикации [59].

Таблица 17.18

**Сравнение проектных и уточненных параметров
Камского водохранилища [59]**

Параметр	Значение		Разность	
	проект	уточнение	в ед. изм.	%
Полный объем, км ³	12,205	10,77	– 1,435	– 11,76
Полезный объем, км ³	9,2	8,5	– 0,7	– 7,6
Мертвый объем, км ³	2,3	2,3	0	0
Площадь при НПУ, км ²	1915	1754,1	– 160,9	– 8,4
Площадь при УС, км ²	650	603	– 47	– 7,2

Однако факты не пошатнули скепсиса некоторых коллег по научному цеху. Случилось несовпадение дедуктивной теории – трактуемой с 1970-х гг. тенденции изменения морфометрических параметров водохранилищ – с реальностью. «Площадь водохранилища уменьшилась на всем диапазоне уровней, в то время как она должна была бы уменьшиться на отметке УМО вследствие сокращения площади при аккумуляции наносов и увеличиться на отметке НПУ вследствие активно протекающих и по настоящее время процессов переработки берегов». «Максимальное расхождение проектной и уточненной кривых площадей (см. рис. 17.9) отмечено в мелководной зоне, особенно на глубине ниже 0,5 м отметки НПУ. Следуя логике процесса, именно на отметке НПУ, в зоне максимальной ветро-волновой деятельности, должно фиксироваться увеличение, а не уменьшение площади зеркала водохранилища». «Парадоксально выглядят при сравнении проектные и уточненные кривые объемов (см. рис. 17.9)..., сложно объяснить то, что кривые объемов практически параллельны по всему диапазону уровней» [59].

На взгляд автора цитируемой статьи [59] «единственным ответом на вышеперечисленные вопросы является признание того факта, что в проекте создания Камского водохранилища изначально были заложены завышенные значения его объема и площади. Речь идет об ошибках в проектных расчетах при применении картографического метода» [533; 623]. «Если принять, что

проектные данные содержат неточные значения морфопараметров Камского водохранилища, тогда становится возможным объяснить несоответствие проектных и уточненных кривых площадей и объемов». «Более разумным подходом будет сравнение данных 2007 – 2008 гг. с результатами последующих исследований...», которые «возможно ожидать не ранее 2030-х годов...» [59].

К этому осторожно заметим, что вывод [59] предположительный, его обоснование натывается на организационные трудности, не преодолимые в настоящее время, и уповает на безошибочность оценок морфометрических параметров водохранилищ современными методами на базе ЦМР, относительно чего обольщаться не стоит (см. разделы 17.1, 17.2).

Куйбышевское, Саратовское, Волгоградское водохранилища. В недавнее время введены в действие [59] новые Правила использования водных ресурсов этих водохранилищ, составленные в 2012 г.. С привлечением помещенных в них данных (табл. 17.19) появилась информация о более внушительных, чем определенные нами на 2011 г. $5,285 \text{ км}^3$ [539], потерях объема водохранилищ Волжско-Камского каскада: «с привлечением обновленных данных по Саратовскому и Нижнекамскому водохранилищам потери полного объема каскада достигают $8,892 \text{ км}^3$ » [59]. Новыми данными на 2012 г. можно было бы дополнить табл. 17.7, 17.8, 17.10, если бы не сомнения в достоверности некоторых из них, в частности – по Саратовскому водохранилищу.

Саратовское водохранилище создано в 1967 – 1968 гг. Его НПУ = 28,0 м БС, УМО = 27,0 м БС. Полный объем 12870 км^3 , полезный 1750 млн м^3 . Площадь зеркала 1831 км^2 . Протяженность береговой линии 865 км, из них с интенсивной переработкой – 65 км [water – rf.ru]. На 2006 г. потеря полного объема вследствие заиления составляла $0,192 \text{ км}^3$, т.е. 1,49 % [238] (см. табл. 17.7). Это по прошествии 39 лет эксплуатации. А через 5 последующих лет (к 2012 г.) уменьшение объема составило уже $2,87 \text{ км}^3$, т.е. 22,3 % (см. табл. 17.19). Причина скачка необъяснима.

Новосибирское (равнинное) и Красноярское (предгорное) водохранилища [668]. «Придерживаясь общего подхода» в 2008 – 2010 гг. проводились натурные исследования на Новосибирском водохранилище, в 2013 г. – на Красноярском, построены ЦМР, описано изменение берегов в масштабе 1:400000, методом Е.Г. Качугина [286; 287] спрогнозирована берегопереработка. На Новосибирском водохранилище (табл. 17.20) отмечены незначительный прирост площади на отметках близких к НПУ,

обусловленный переработкой берегов, и значительное сокращение площади (до 30%) ниже УМО. Это говорит о том, что основное накопление осадочного материала происходило ниже уровня сработки и привело к существенному уменьшению объемов водохранилища. На Красноярском водохранилище (табл. 17.21) изменение площадей на всех уровнях не превышает 5 – 10 %, что к существенному сокращению объемных характеристик не привело. Осадконакопление идет относительно равномерно по всей площади дна. Прирост площади зеркала при НПУ и УМО объясняется процессом переработки берегов. А сокращение площади зеркала для соседних отметок уровня обусловлено образованием островов и отмелей (рис. 17.29).

Таблица 17.19

**Новые данные об изменении полного / полезного объемов
и площадей зеркала Куйбышевского, Саратовского,
Волгоградского водохранилищ**

Водохранилище	Показатели	Проектные значения	Период эксплуатации, годы	Уточненные значения в конце периода	Изменение значений	Источники информации
Куйбышевское	полный объем, км ³	57,30	1955 – 2002	56,149	– 1,151 (2,01 %)	Табл. 17.7
		57,30	1955 – 2012	57,30	0	Правила
	полезный объем, км ³	21,0	1955	–	–	Табл. 17.8
		–	1955 – 2012	30,7	+ 9,7	Правила
	площадь зеркала, км ³	6450	с 1959 –	–	–	Табл. 17.10
–		1959 – 2012	6150	–	Правила	
Саратовское	полный объем, км ³	12,87	1967 – 2006	12,678	– 0,192 (1,49 %)	Табл. 17.7
		–	1967 – 2012	10,00	2,87 (22,3 %)	Правила
	полезный объем, км ³	1,750	–	–	–	Табл. 17.8
		–	1967 – 2012	1,5	– 0,25	Правила
	площадь зеркала, км ³	1831	–	–	–	Табл. 17.10
–		1967 – 2012	1893,5	–	Правила	
Волгоградское	полный объем, км ³	31,50	1958 – 1990	31,041	– 0,459 (1,45%)	Табл. 17.7
		–	1958 – 2012	28,1	– 3,4 (10,79%)	Правила
	полезный объем, км ³	8,250	–	–	–	Табл. 17.8
		–	1958 – 2012	5,9	– 2,35	Правила
	площадь зеркала, км ³	3120	с 1960 –	–	–	Табл. 17.10
–		1958 – 2012	3248	+128	Правила	

Источник: Правила использования водных ресурсов Куйбышевского, Саратовского, Волгоградского водохранилищ (проект). – Москва: НП «Вода и люди XXI век», 2012. – 74 с.

Таблица 17.20

**Изменение морфометрических параметров
Новосибирского водохранилища [667]**

Морфометрическая характеристика	Единицы измерения	Значение		Изменение	
		проектное	современное	по величине	процент к проектному
Объем при НПУ 113,5 м БС	млн м ³	8800	7783	– 1017	11,55
Объем при УМО 108,5 м БС	млн м ³	4400	3424	– 976	22,18
Полезный объем	млн м ³	4400	4359	– 41	0,93
Площадь зеркала при НПУ	км ²	1070	1082	+12	1,10
Площадь зеркала при УМО	км ²	700	673	– 27	3,90

Примечание. Проектные значения получены из [459]; современные значения «высчитаны по состоянию местности» на 2008 г. [667].

Таблица 17.21

**Изменение морфометрических параметров
Красноярского водохранилища [667]**

Морфометрическая характеристика	Единицы измерения	Значение		Изменение	
		проектное	современное	по величине	процент к проектному
Объем при НПУ 243 м БС	млн м ³	73300	73054	– 246	0,33
Объем при УМО 225 м БС	млн м ³	42900	42549	– 351	0,82
Полезный объем	млн м ³	30400	30505	+105	0,35
Площадь зеркала при НПУ	км ²	2000	2062	+62	3,10
Площадь зеркала при УМО	км ²	1382	1446	+64	4,60

Примечание. Проектные значения получены из [495]; современные значения «высчитаны по состоянию местности» на 2013 г. [667]

На 2010 г. общая протяженность берегов Новосибирского водохранилища указана 725,5 км, из них разрушаемых берегов 314,1 км, относительно стабильных и аккумулятивных – 71,4 км. Общая протяженность берегов Красноярского водохранилища в 2013 г. составляла 2444,6 км, из них разрушаемых – 1364,3 км, относительно стабильных и аккумулятивных, а также формируемых эоловыми процессами – 1041,6 км. Процессы переработки берегов демонстрируют затухание. На Красноярском водохранилище этому способствует урочный режим, при котором за последние 15 лет ни разу не достигался НПУ, а уровень стабильно держался на 2 м ниже [459; 495; 668].

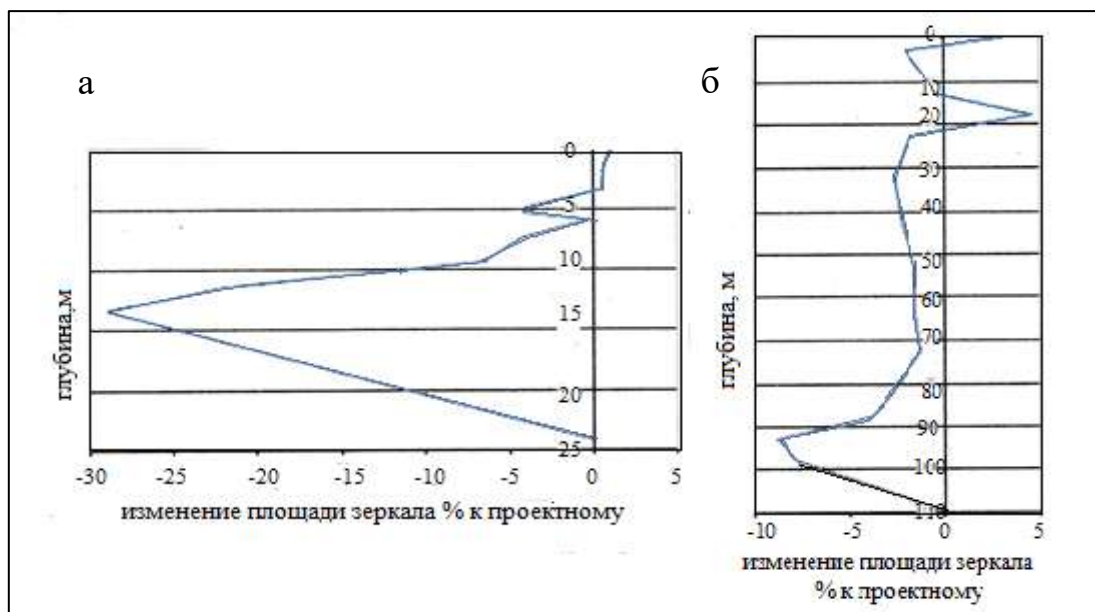


Рис. 17.29. Процентное изменение площади зеркала Новосибирского (а) и Красноярского (б) водохранилищ за время их эксплуатации [668]

Данные по Новосибирскому водохранилищу на 2010 г. об объеме и длине береговой линии из процитированного источника [668] только на самую малость отличаются, а о площади водного зеркала полностью совпадают с данными Верхне-Обского БВУ на 2009 г. [265; 667], учтенными в табл. 17.7, 17.9, 17.10.

Возможно есть и другие публикации по теме, о которых мы не знаем. Тему определенно надо развивать. Оставим ученым, придерживающимся дедуктивных представлений середины XX в., полемику по поводу индуктивно намеченных общих закономерностей изменения объема, длины береговой линии и площади зеркала в процессе длительной эксплуатации равнинных российских водохранилищ. Как известно, лучшим способом проверки теоретических предпосылок является их верификация на возможно большем числе модельных объектов. Если рано или поздно кажущаяся неопределенность ситуации кого-то начнет раздражать и ему захочется создать теорию, которая уже не будет подвергаться сомнению, для этого просто надо будет проанализировать поведение береговых линий и площадей водного зеркала нескольких десятков больших российских водохранилищ за многолетний период эксплуатации, видя не только то, что хочется увидеть, но именно то, что нам показывает действительность. А для синтеза общих закономерностей он сможет воспользоваться методом ННГАСУ [189].

ГЛАВА 18. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ

18.1. Подпор подземных вод и подтопление берегов водохранилищ

В земной коре происходит естественный процесс движения подземных вод. После наполнения водохранилищ в долинах рек изменяются условия питания и разгрузки подземных вод, гидравлическая взаимосвязь водоносных горизонтов, может возникать подпор подземных (грунтовых) вод и подтопление прилегающих территорий. Названные понятия следует различать. **Подпор** – это подъем уровня грунтовых вод, обусловленный подъемом уровня воды в реке в результате создания водохранилища (рис. 18.1). **Подтопление** – изменение природных условий в результате подъема уровня грунтовых вод. Подпор вызывает подтопление лишь на тех участках побережья, где этому способствуют рельеф и механический состав почвогрунтов. Подтопление возникает, если при подъеме грунтовые воды и капиллярная кайма достигают корнеобитаемого слоя и создают в нем дополнительное увлажнение. Ориентировочные значения высоты капиллярного подъема воды даны в табл. 18.1.

Таблица 18.1

Высота капиллярного подъема воды в грунтах [515]

Грунт	Капиллярный подъем, см	Грунт	Капиллярный подъем, см
Глина	400 – 200	Песок	100 – 50
Суглинок	300 – 150	Лесс	450 – 250
Супесь	150 – 100	Торф	120– 150

Часть побережья водохранилища, в пределах которой происходит изменение природных условия в результате подъема уровня грунтовых вод,

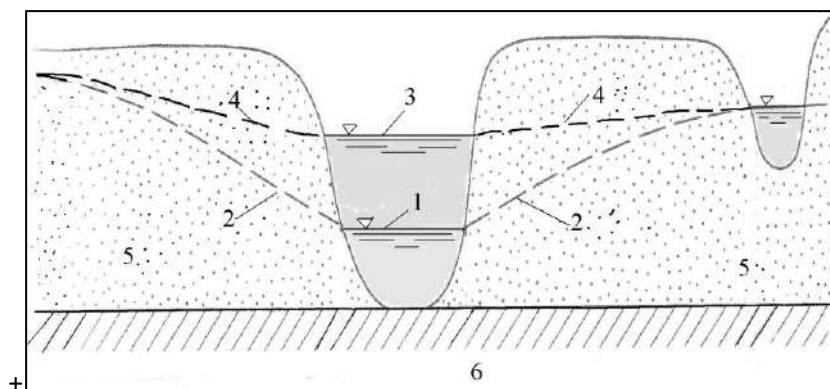
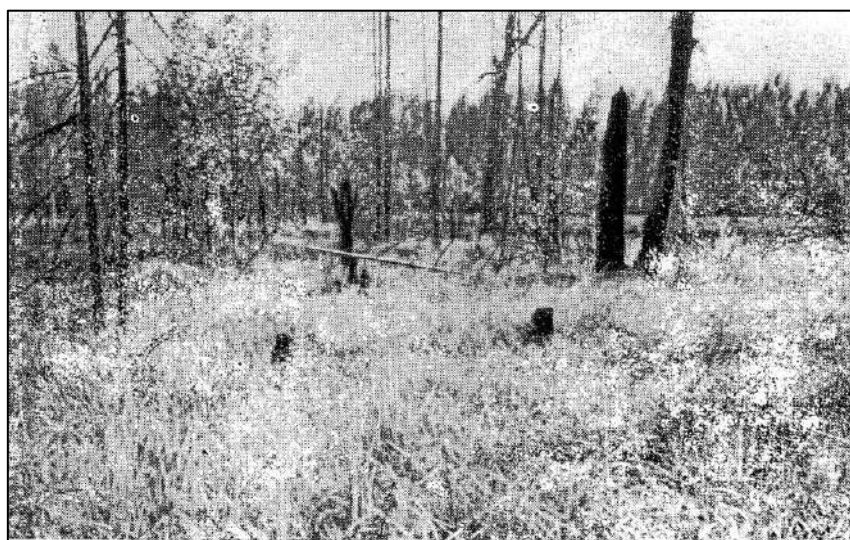


Рис. 18.1. Схема подпора грунтовых вод при создании водохранилища:
 1 – уровень воды в реке; 2 – естественная поверхность грунтовых вод до создания водохранилища; 3 – уровень воды в водохранилище; 4 – поверхность грунтовых вод после подпора водохранилищем; 5 – водопроницаемая порода; 6 – водоупор

а



б



Рис. 18.2. Зона сильного подтопления побережья Рыбинского водохранилища в Волжском плесе: а – угнетение древостоя через 5 лет после подпора уровня грунтовых вод [262]; б – развитие болотной растительности, 2012 г.



Рис. 18.3. Умеренно подтопленный левый берег Карповского водохранилища на Волго-Донском судоходном канале. Граница зоны подтопления просматривается по цвету растительности. 2009 г.

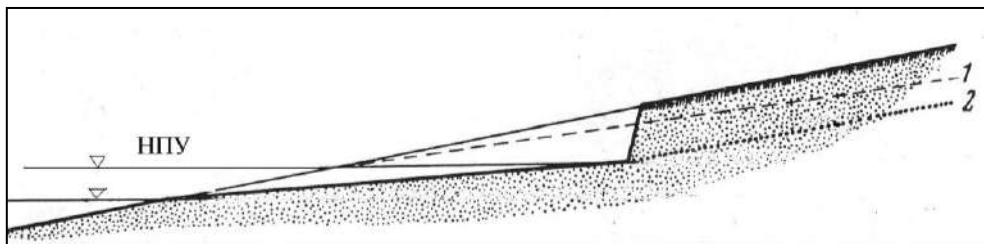


Рис. 18.4. Снижение уровня грунтовых вод в связи с переработкой берега водохранилища: 1 – уровень грунтовых вод в первые годы затопления; 2 – то же, после переработки берега [286]



Рис. 18.5. Подтопленная территория у с. Михайловского за защитной дамбой с дренажным каналом на левом берегу Чебоксарского водохранилища. 2002 г. [420]

принято называть **зоной подтопления**, подразделяя ее на подзоны: *сильного подтопления* с залеганием грунтовых вод на глубине менее 0,6 м от поверхности; *умеренного подтопления* с залеганием уровня грунтовых вод в пределах от 0,6 до 2 м от поверхности; *слабого подтопления* с залеганием грунтовых вод на глубине до 3 м во влажных и до 5 м в засушливых районах. По распространению процесса подтопления различают берега: с очень широкой зоной подтопления (более 600 м); с широкой зоной подтопления (300 – 600 м); с узкой зоной подтопления (менее 300 м).

В первом приближении можно считать, что продолжительность периода формирования подтопления соответствует времени формирования подпорного уровня грунтовых вод или несколько превышает его: это до 8 – 15 лет в однородных песках и до 15 – 20 лет в суглинках. После окончательного формирования уровня грунтовых вод на побережье может выделиться приводохранилищная зона, где режим грунтовых вод не приобретет установившийся характер, а будет зависеть от колебаний уровня водоохранилища. Такое характерно для больших водоохранилищ со значительной амплитудой внутригодовых колебаний уровня воды.

При подтоплении нарушается природное равновесие: изменяются условия дренирования грунтовых вод, водный режим и свойства почв, меняется травянистая и древесная растительность, животное население, микроклимат и микрорельеф. Сильное подтопление угнетает древостой, ведет к заболачиванию земли, к смене луговой растительности на болотную (рис. 18.2). Умеренное подтопление (рис. 18.3) дает увеличение прироста растительной массы (табл. 18.2). По прошествии времени приходит новое динамическое равновесие, когда направленное развитие природы, связанное с повышением уровня грунтовых вод, перестает ощущаться [388].

В результате переработки берегов водоохранилища уровень грунтовых вод может понизиться (рис.18.4) и подтопление уменьшится или прекратится.

Низменные территории не уберегает от подтопления даже их инженерная защита (рис. 18.5).

Повышения уровня грунтовых вод не происходит, если склон долины сложен водоупорными породами до отметок выше НПУ водоохранилища, а также когда береговой массив гидравлически связан с другим водоемом, уровень воды в котором равен или ниже НПУ водоохранилища. Последняя ситуация имеет место, например, в районе Волго-Усинского водораздела,

где наблюдается постоянная фильтрация воды из Куйбышевского в Саратовское водохранилище [7].

Таблица 18.2

Растительные индикаторы подтопления на берегах водохранилищ [388]

Подзоны	Природные зоны		
	Лесная	Лесостепная	Степная
Сильного подтопления	Осоки: вздутая, острая, пузырчатая, струйная; ситники, ситняг болотный, хвощ приречной, сабельник болотный, канареечник тростникововидный, камыш лесной	Осоки: стройная, лисья, острая; полевица побегообразующая, ситняг болотный, ситники; на засоленных почвах – бескильница расставленная	Осоки: стройная и острая; ситняг болотный, лисохвост колеччатый, двукисточник; на засоленных почвах – солерос европейский, солянки, кермек Гмелина, бескильница расставленная
Умеренного подтопления	Осоки: сероватая, лисья, черная; ситники, ситняг болотный, лютик ползучий, мятлик болотный	Лапчатка гусиная, полевица побегообразующая, ситник развесистый, ситняг болотный, лютик ползучий, осоки	Ситняг болотный, ситник развесистый, осоки; на засоленных почвах – бескильница расставленная, осоки
Слабого подтопления	Видовой состав травянистой растительности практически не меняется, отмечается некоторое увеличение яркости окраски, роста, повышение продуктивности растений		

18.2. Размеры подпора и подтопления

По данным аэрофотогеодезических изысканий 1985 г. на территории СССР было подтоплено водохранилищами 1 159 тыс. га земель, в том числе пашни 138 тыс. га, сенокосов и пастбищ 325 тыс. га, лесов и кустарников 476 тыс. га, других угодий 220 тыс. га. По энергетическим водохранилищам общая площадь подтопления была оценена в 1 млн га [512].

Бассейн р. Волги являет собой единую гидродинамическую систему взаимосвязанных водоносных горизонтов напорных и грунтовых подземных вод и поверхностных вод. Грунтовые воды верхнего гидрогеологического этажа связаны с современным рельефом и гидрографической сетью территории. До создания водохранилищ грунтовые воды получали питание за счет инфильтрации атмосферных осадков на всей площади своего рас-

пространения, в приречных зонах имелись условия для разгрузки напорных подземных вод, а в периоды половодий и паводков – для обратной фильтрации речных вод в берега. Зеркало грунтовых вод снижалось в сторону р. Волги и ее крупных притоков. Создание водохранилищ вызвало изменения условий питания и разгрузки подземных вод, обусловило уменьшение дренирующего влияния речных долин, привело к подпору грунтовых вод.

Например, в районе Горьковского и Чебоксарского водохранилищ сложилась следующая ситуация. От Горьковского водохранилища подпор грунтовых вод сформировался в четвертичных аллювиальных отложениях 1-й и 2-й надпойменных террас р. Волги, в отложениях палеодолины, флювиогляциальных отложениях водораздельных склонов. Конечная стадия развития подпора была достигнута в 1965 г. через 8 лет после заполнения водохранилища. Ширина зоны подпора в берегах озерной части водохранилища составляет 10 – 12 км. Площадь зоны подпора равна 1 600 км². Годовая амплитуда колебаний уровней грунтовых вод не превышает 0,55 м. Формирование подпора грунтовых вод Чебоксарским водохранилищем произошло в аллювиальных отложениях волжской долины и долин притоков. Наибольшей ширины (до 25 – 50 км) зона подпора достигла у плотины гидроузла и в побережье залива, образовавшегося в устье р. Ветлуги. Площадь зоны подпора грунтовых вод составляет 6 200 км² [306].

Наполнение водохранилищ способствовало увеличению эксплуатационных ресурсов грунтовых вод в пределах зон подпора (табл. 18.3), создавая благоприятные условия для хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов на побережье. Так, расположенные на берегах р. Волги города Городец, Чкаловск, Юрьевец, поселки Сокольское, Катунки и др. испытывали нужду в питьевой воде хорошего качества. С созданием Горьковского водохранилища возникла возможность их водоснабжения за счет устройства инфильтрационных водозаборов (рис. 18.6).

Таблица 18.3

Расчетные эксплуатационные ресурсы грунтовых вод на территориях, прилегающих к Горьковскому и Чебоксарскому водохранилищам [306]

Водохранилище		Эксплуатационные ресурсы грунтовых вод, тыс. м ³ /сут, на период		
		25 лет	50 лет	100 лет
Горьковское	до создания	417	352	320
	после создания	1 220	1 163	1 132
Чебоксарское	до создания	5 427	3 856	3 071
	после создания	7 384	5 844	5 074

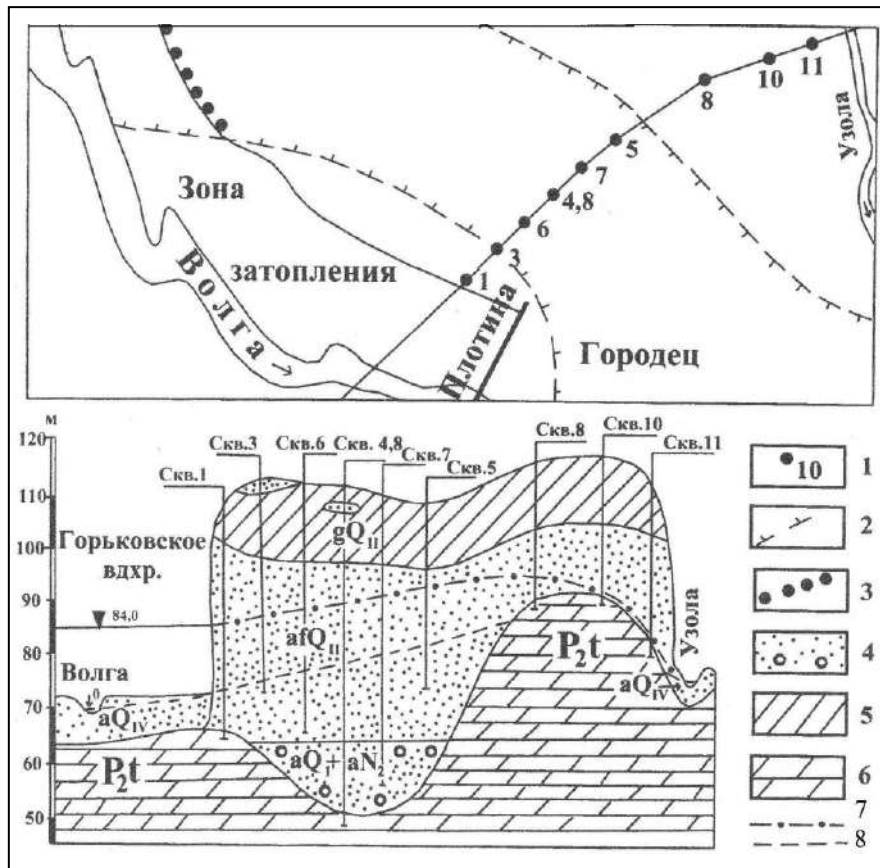


Рис. 18.6. Гидрогеологический разрез левого берега р. Волги в районе г. Городца:

- 1 – наблюдательная скважина; 2 – контур палеодолины; 3 – участки, перспективные для заложения инфильтрационного водозабора; 4 – песок с гравием; 5 – суглинок; 6 – мергель; 7 – уровень грунтовых вод на конечную стадию формирования подпора; 8 – уровень грунтовых вод до подпора [306]

При Волгоградском водохранилище планировалось освоение больших массивов орошения. В связи с этим подпор подземных вод прогнозировался посредством математического моделирования и проводились натурные наблюдения. Один из наблюдательных створов с тремя режимными скважинами №2156, №2157, №2158, был заложен перпендикулярно урезу проектного НПУ на левом берегу на участке Рахинка в 35 км от плотины гидроузла (рис. 18.7). Участок находится на II надпойменной террасе, незаметно в рельефе переходящей в возвышенную равнину. Поверхность наклонена в сторону р. Волги от отметок 20,0 – 25,0 м БС до отметок около 10,0 м БС на бровке берега. Берег сложен песками мощностью до 40 м, подстилаемыми глинами. Грунтовые воды до подпора находились на глубине 10 – 25 м, дренировались р. Волгой. Уровень р. Волги колебался в диапазоне от 0 до – 10 м БС.

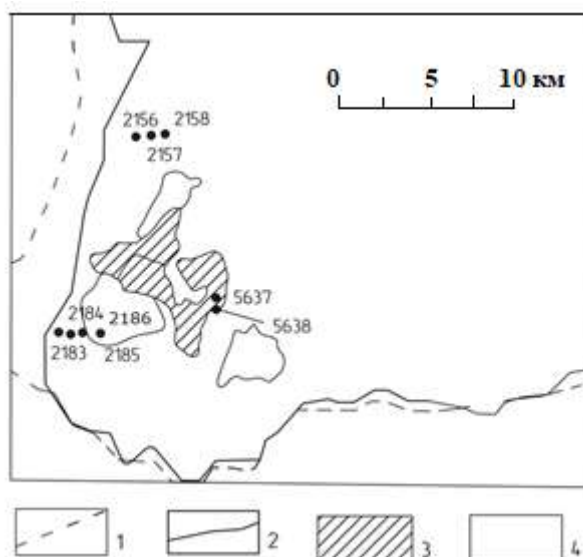


Рис.18.7. Схематический план южной части левобережья Волгоградского водохранилища: 1 – урез р. Волги; 2 – урез водохранилища при НПУ; 3 – массивы орошения, введенные в эксплуатацию в 1962 – 1976 гг.; 4 – то же, проектировавшиеся; точками обозначены режимные скважины с их номерами [502]

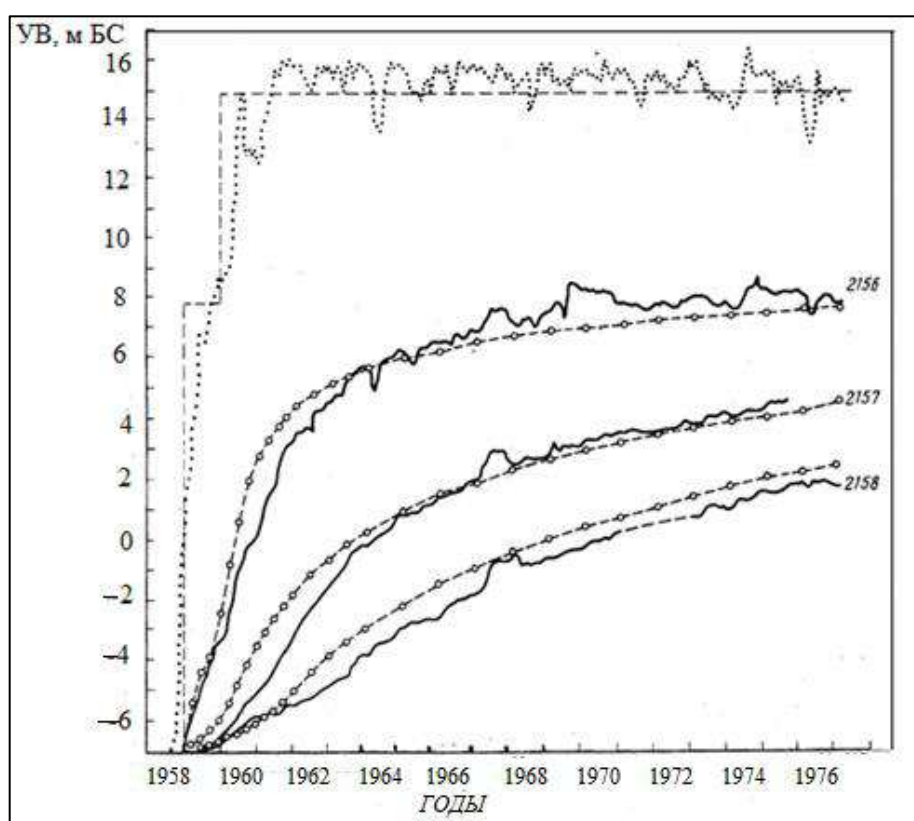


Рис. 18.8. Фактические (сплошные линии) и модельные (штриховые линии) кривые подъема уровня грунтовых вод в режимных скважинах №2156, №2157, №2158 и гидрограф наполнения Волгоградского водохранилища (верхний график). Уровни воды даны от уровня р. Волги в декабре 1958 г. [502]

Наполнение водохранилища было начато в декабре 1958 г. К концу января 1959 г. уровень реки повысился до отметки +2,6 м БС. В октябре 1961г. уровень водохранилища достиг проектного НПУ = 15,0 м БС и после июля 1961г. поддерживался относительно постоянным во времени за исключением периодов сработки с января месяца к концу зимы на 1,0 – 1,5 м. На рис. 18.8 показаны фактические и модельные графики подъема уровней воды в режимных скважинах вместе с графиком уровней водохранилища за период с 1958 г. по 1977 г. Видно, что подпор формировался плавно с колебаниями уровней воды в скважинах не превышавшими 1 м, а к 1980-м гг. практически стабилизировался [502].

В табл. 18.4 обобщены сведения о подтоплении берегов волжских водохранилищ по проектным материалам и научным публикациям. Эти сведения, полученные в результате обследования ограниченных участков береговой территории и последующей экстраполяции на весь контур водохранилища, разноречивы. Например, площадь подтопленных земель в зоне Горьковского водохранилища в проекте оценивалась в 11,3 тыс. га (113 км²), а в последующих публикациях от 5,7 до 26,2 тыс. га (57 – 262 км²) [346]. На берегах водохранилищ всего Волжско-Камского каскада суммарная площадь подтопленных земель по некоторым данным составляет 254 тыс. га (2 540 км²) или 9 % суммарной площади зеркала водохранилищ [112; 420].

Таблица 18.4

**Сведения о площадях подтопления берегов водохранилищ
Волжского каскада [112; 346]**

Водохранилище	Площадь подтопления		Сильно подтопленные угодья, %		
	км ²	% площади зеркала	Пашня	Луга	Леса
Иваньковское	80–254	25–78	37,5	31	31
Угличское	100	40	–	–	–
Рыбинское	230–509	5–11	11	24	65
Горьковское	57–262	3,6–17	14	30	56
Чебоксарское	70*–320	8–15	9	16	75
Куйбышевское	183–370	3–6	20	30	50
Саратовское	180–193	10	6	39	55
Волгоградское	189–270	6–8,7	14	41	45

* по [441] при НПУ = 68,0 м

В проектах волжских и камских гидроузлов не делалось акцента на необходимость оценки подтопления территорий в бытовых условиях до создания водохранилищ. Отсутствие такой оценки, а также топографической

основы с сечением рельефа через 0,5 – 1 м и сети пьезометрических скважин в береговой зоне, не позволяет и сегодня с необходимой точностью определить размеры подтопления берегов ни по одному из водохранилищ каскада [346].

Водоохранилища Сибири с большими (до 100 м) напорами внесли существенные изменения в гидрогеологические условия береговых зон.

Представителем таких водохранилищ является Красноярское. В отличие от большинства европейских водохранилищ, берега Красноярского водохранилища сложены скальными породами и развитие подпора проходило главным образом в трещинных, трещинно-пластовых, трещинно-карстовых водах, приуроченных к отложениям песчаников, алевролитов, аргиллитов и известняков (рис. 18.9). Это обстоятельство, а также большой напор со сработками уровня водохранилища, достигающими 16 м, обусловили специфические особенности развития подпора подземных вод.

Наполнение Красноярского водохранилища продолжалось с 1967 г. по 1970 г. Режим подпора отслеживался по 11 наблюдательным гидрогеологическим створам. Вслед за подъемом уровня водохранилища сформировались новые водоносные горизонты в ранее неводонасыщенных трещиноватых породах берегов, а в некоторых местах в маломощных рыхлых осадках высоких террас (рис. 18.10). При сезонной сработке водохранилища подземные воды прибрежной части на расстоянии сотен метров, а иногда до нескольких километров, понижают свой уровень. Площадь подтопления земель в результате создания Красноярского водохранилища в целом невелика и укладывается в несколько процентов площади его зеркала [676].

Площадь подтопления земель проектируемым Эвенкийским (Туруханским) водохранилищем на притоке Енисея р. Нижней Тунгуске по проекту предполагается не более 1 % от площади водохранилища [731].

Прогнозирование размеров подпора и подтопления. Согласно методическим рекомендациям [388] для обоснования прогноза подпора подземных вод и подтопления берегов производится комплекс инженерных изысканий. Выполняется топографическая, инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемка чаши водохранилища и прилегающей территории в масштабах 1:200 000 – 1:50 000. Побережье районировано по условиям прогнозируемого подтопления территории, в том числе выделяются участки заведомо неподтопляемые, заведомо подтопляемые и участки возможного подтопления. При этом возможность подтопления определяется по результатам анализа топопланов и расчетов подпора подземных вод в

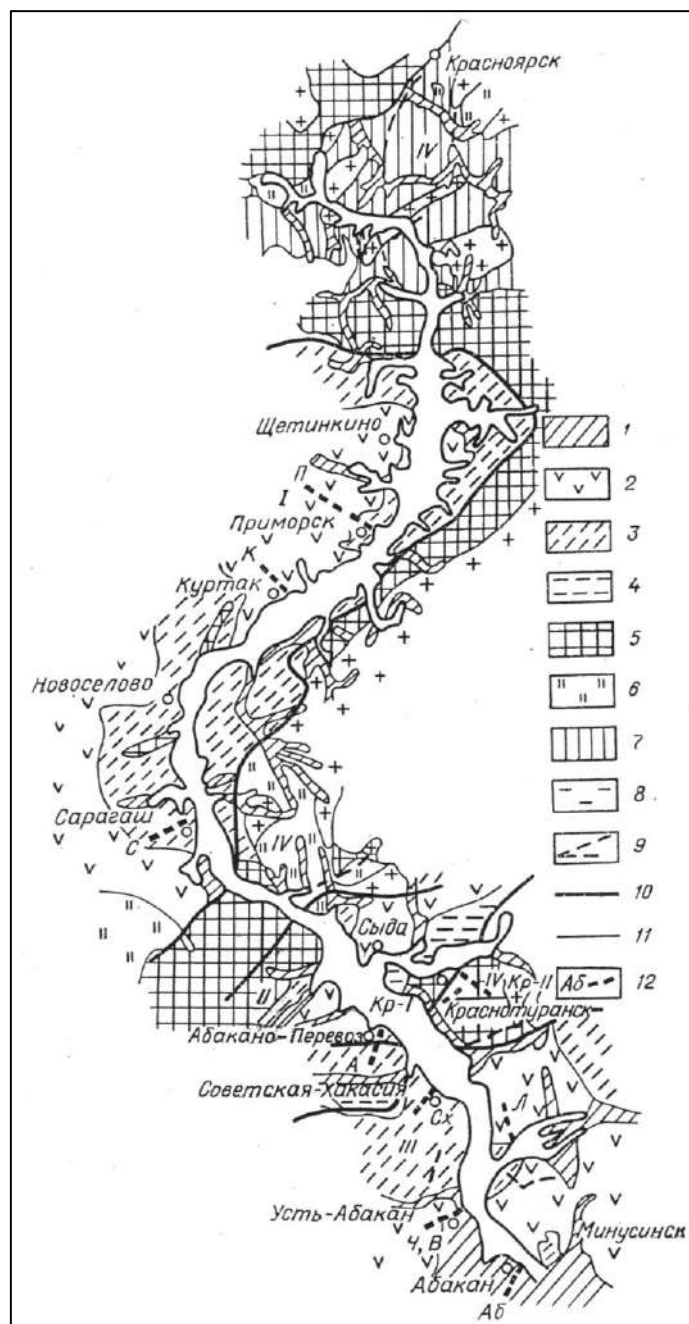


Рис. 18.9. Гидрогеологическая схема побережья Красноярского водохранилища: площади распространения артезианских бассейнов I – Чебаково-Балахтинского; II – Сыдо-Ербинского; III – Южно-Минусинского; IV – трещинных, трещинно-карстовых вод Кузнецкого Алатау и Восточных Саян; водоносные комплексы: 1 – четвертичных отложений, 2 – нижнекаменноугольных отложений, 3 – верхнедевонских отложений, 4 – среднедевонских отложений, 5 – отложений нижнего – среднего девона, 6 – кембрийских отложений, 7 – протерозойских отложений, 8 – магматических пород; 9 – зоны тектонических нарушений; 10 – границы артезианских бассейнов; 11 – границы водоносных комплексов; 12 – гидрогеологические наблюдательные створы: П – Приморский, К – Куртаковский, С – Сарагашский, А – Абакано-Перевозный, Кр-I – Краснотуранский I, Кр-II – Краснотуранский II, Л – Листвяговский, Сх – Советская Хакасия, Ч – Черногорский, В – Водозаборный, Аб – Абаканский [676]

поперечниках берега. На последующих стадиях выполняется прогноз подпора уровня грунтовых вод и подтопления выделенных ценных в хозяйственном отношении участков береговой полосы на базе инженерно-геологической съемки в масштабах 1:10 000 – 1:2 000 [346].

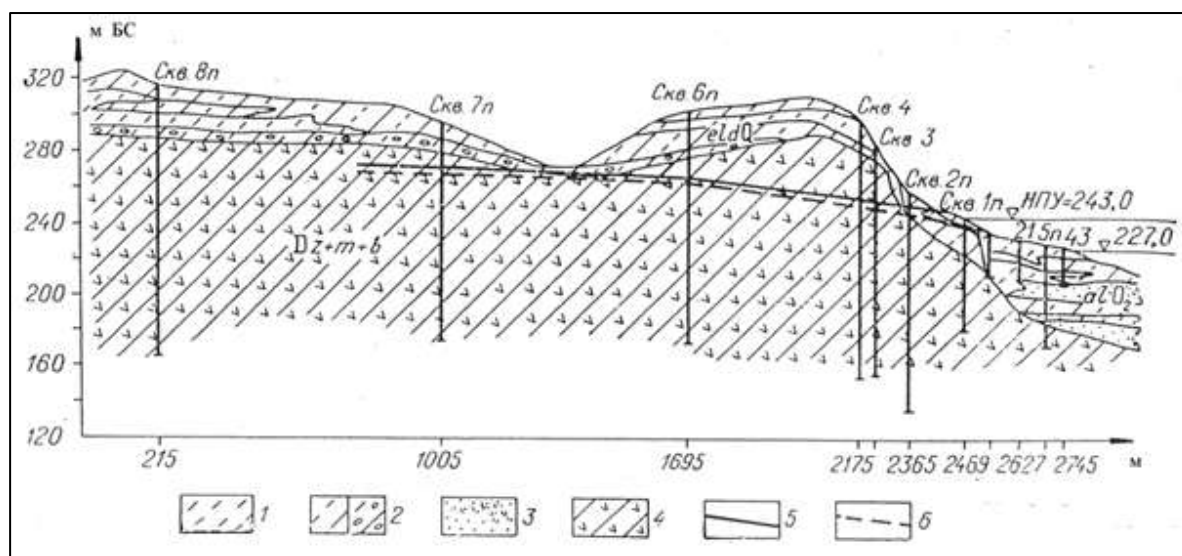


Рис. 18.10. Гидрогеологический разрез побережья Красноярского водохранилища (см. рис. 18.9). Приморский створ: 1 – супеси; 2 – суглинки с галькой и гравием; 3 – пески; 4 – аргиллиты, алевролиты, конгломераты и песчаники; 5 – уровень подземных вод при НПУ; 6 – то же при УМО [676]

Очень условно верхнюю границу зоны подтопления можно провести по горизонтали берега на топоплане: при этом к подтопленным относят сельскохозяйственные и лесные угодья в пределах до +1 м над НПУ, сельские населенные территории до +2 м и городские территории до +3 м над НПУ водохранилища [388].

В условиях берегов, сложенных песками, для приблизительной оценки параметров подпора и подтопления можно воспользоваться графиком (рис. 18.11), полученным обработкой результатов наблюдений за берегами эксплуатируемых водохранилищ [388].

В ответственных случаях для решения прогнозных задач об уровнях подземных вод в берегах водохранилищ применяют математическое моделирование [502]. В ОАО «Институт Гидропроект» для этого используется, например, программный комплекс «ГИС – Geolink + ModTech», разработанный ЗАО «Геолинк – Консалтинг» в 1990 – 2008 гг. [377].

Как показала практика, районирование берегов водохранилищ по условиям подтопления на основании топографических планов масштабов

1:200 000 – 1:50 000 с сечением горизонталей через 20 – 5 м невозможно осуществить с необходимой точностью. Поэтому оправдываемость теоретических прогнозов подтопления прибрежных территорий водохранилищ оказывается невысокой [346].

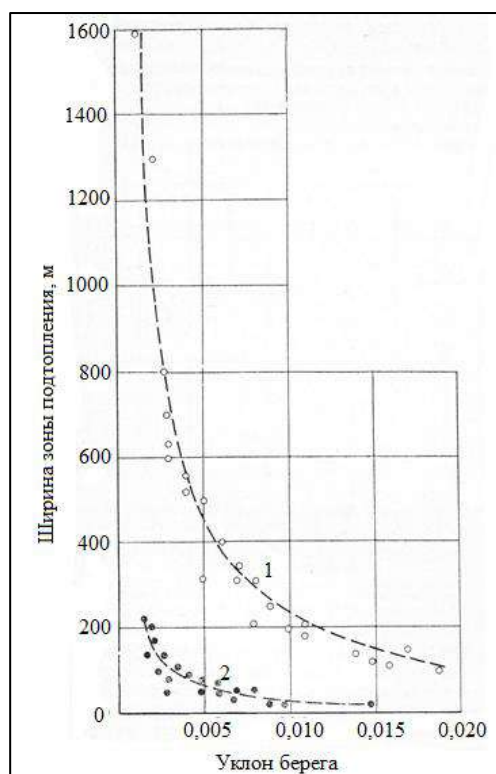


Рис. 18.11. Зависимость ширины зоны подтопления (1) и подзоны сильного подтопления (2) от уклона на пологих берегах водохранилищ по данным наблюдений через 20 – 35 лет после заполнения [388]

18.3. Подтопление урбанизированных территорий

Подтопление застроенных и освоенных территорий – это комплексный инженерно-геологический процесс, проявляющийся под влиянием техногенных и естественных факторов, при котором в результате изменения режима поверхностных и подземных вод происходит повышение уровня подземных вод, нарушающее условия эксплуатации зданий и сооружений или ухудшающее условия жизни людей.

В качестве критерия выделения подтопленных территорий при хозяйственном освоении земель используется так называемая **норма осушения** – минимально допустимая глубина залегания уровня грунтовых вод, равная

для городов 3 м, сельских населенных пунктов 2 м, рекреационных зон (парки и др.) 1 м, сельскохозяйственных угодий 0,5 – 1 м [612].

К концу XX в. (на 1986 г.) в России было подтоплено 733 города и поселка городского типа. Подтапливаются предприятия, работа которых связана с большим оборотом воды в технологическом процессе – тепловые и атомные электростанции, металлургические, нефтеперерабатывающие, химические заводы и др. [346]. Исследования в приволжских городах свидетельствуют о том, что во многих случаях, наряду с влиянием водохранилищ, подтоплению способствуют и другие причины.

Город Балахна расположен в 30 км вниз от Нижегородской ГЭС на правобережной болотистой террасе р. Волги с абсолютными отметками 70 – 77 м (рис. 18.12). При строительстве современной Балахны территория подсыпалась и попутно была нарушена существовавшая прежде сеть дренажных каналов. Теперь большая часть города находится в состоянии подтопления. Глубина от поверхности земли до поверхности грунтовых вод менее 3 м держится на 1484 га из 1804 га застроенной территории. Площади, не подсыпанные грунтом, подтоплены постоянно: уровни грунтовых вод стоят на глубине 0,4 – 0,6 м (рис. 18.13), а в паводковые периоды поднимаются до поверхности земли. Повышение уровня Чебоксарского водохранилища до НПУ = 68,0 м усугубит подтопление г. Балахны [441].

Заречная часть г. Нижнего Новгорода лежит в междуречье при слиянии рек Волги и Оки, куда не достигает подпор Чебоксарского водохранилища при ВПУ = 63,0 м. Представляет собой территорию с абсолютными отметками 75,0 – 78,0 м, развитой сетью водотоков и озер. Большинство водотоков берет начало в болотах, сосредоточенных преимущественно в западной, наиболее возвышенной части Заречья. Для всей территории характерно распространение горизонта грунтовых вод в четвертичных аллювиальных отложениях и наличие трещинно-карстовых подземных вод в подстилающих верхнепермских породах.

Подтопление заречной части г. Нижнего Новгорода с 1960-х гг. стало привлекать внимание в связи с проектированием Чебоксарского водохранилища (рис. 18.14). Гидрогеологические условия в течение 30 – 45 лет наблюдались сетью из 94 скважин ФГУП «Волгагеология». В 1990 – 1994 гг. институтом «Самарагидропроект» была оборудована также сеть из 32 скважин, по которой проводились временные наблюдения под разработку схемы инженерной защиты города. Вследствие литологических особенностей аллювиальной толщи грунтовый поток здесь имеет двухъярусное строение.

Верхняя часть потока приурочена к пойменной фации аллювия: пескам мелким, часто пылеватым, глинистым, с прослоями суглинков и погребенного торфа. Коэффициент фильтрации водовмещающих пород не превышает 1 – 3 м/сутки. Местами формируется верховодка, не исчезающая даже в засушливый период года. Мощность верхнего яруса грунтового потока составляет 10 – 18 м. Нижняя часть грунтового потока приурочена к русловой фации аллювия, содержащей средние, крупные и разнородные пески с гравием и галькой осадочных пород. Мощность этой части потока 10 – 12 м, коэффициент фильтрации в среднем 10 – 12 м/сутки. Зеркало грунтовых вод радиально расходится от водораздела (78,0 м БС) в стороны основных дрен территории – рек Оки и Волги (67,0 м БС в межень). При этом значительная площадь заречной части города постоянно подтоплена (рис. 18.15, табл. 18.5): из 17 003 га городской территории 7 743 га (45 %) имеют уровни грунтовых вод на глубине 0 – 3 м и в этой зоне из всей городской застройки 11 250 га расположены 6 351 га (56 %).

Таблица 18.5

**Площади подтопления территории заречной части
г. Нижнего Новгорода в бытовом состоянии при ВПУ = 63,0 м
Чебоксарского водохранилища [141; 441]**

Площадь городской территории, га	Площадь городской застройки, га	Глубина до воды, м	Площадь подтопленных земель		% подтопления городской территории
			общая площадь, га	площадь застройки, га	
17 003	11 250	0 – 1	3 871	912	22
		0 – 2	8 600	3 766	39
		0 – 3	7 743	6 351	45
		0 – 5	15 473	10 210	91

Причины подтопления разделяются на естественные и техногенные. Естественные причины: избыточное питание грунтовых вод атмосферными осадками; затрудненность поверхностного стока ввиду равнинности рельефа; особенности геолого-гидрогеологических условий. Техногенные причины: питание грунтовых вод производственными потерями крупных предприятий, утечками из водонесущих коммуникаций (в таких местах на фоне зеркала грунтовых вод формируются локальные купола, в этом отношении показательны Автозаводская и Сормовская ТЭЦ, под территориями которых постоянно существуют водяные купола радиусом около 700 м и высотой 1 – 2 м); закачки технологических вод в скважины; фильтрация из малых рек, превращенных в каналы для стока жидких промышленных отходов;



Рис. 18.12. Вид с р. Волги на г. Балахну. Набережная, построенная в 2000-е гг. под отметку НПУ = 68,00 м БС Чебоксарского водохранилища



Рис. 18.13. Подтопленный старый квартал г. Балахны: уровень воды в дренажной канаве стоит на глубине 0,5 м от поверхности земли. 2008 г.

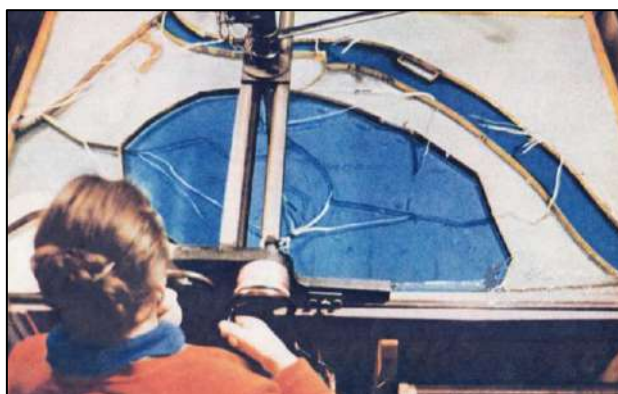


Рис. 18.14. Исследование положения поверхности грунтовых вод в заречной части г. Нижнего Новгорода на аналоговой модели во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева [Огонек, 1963. – №50]

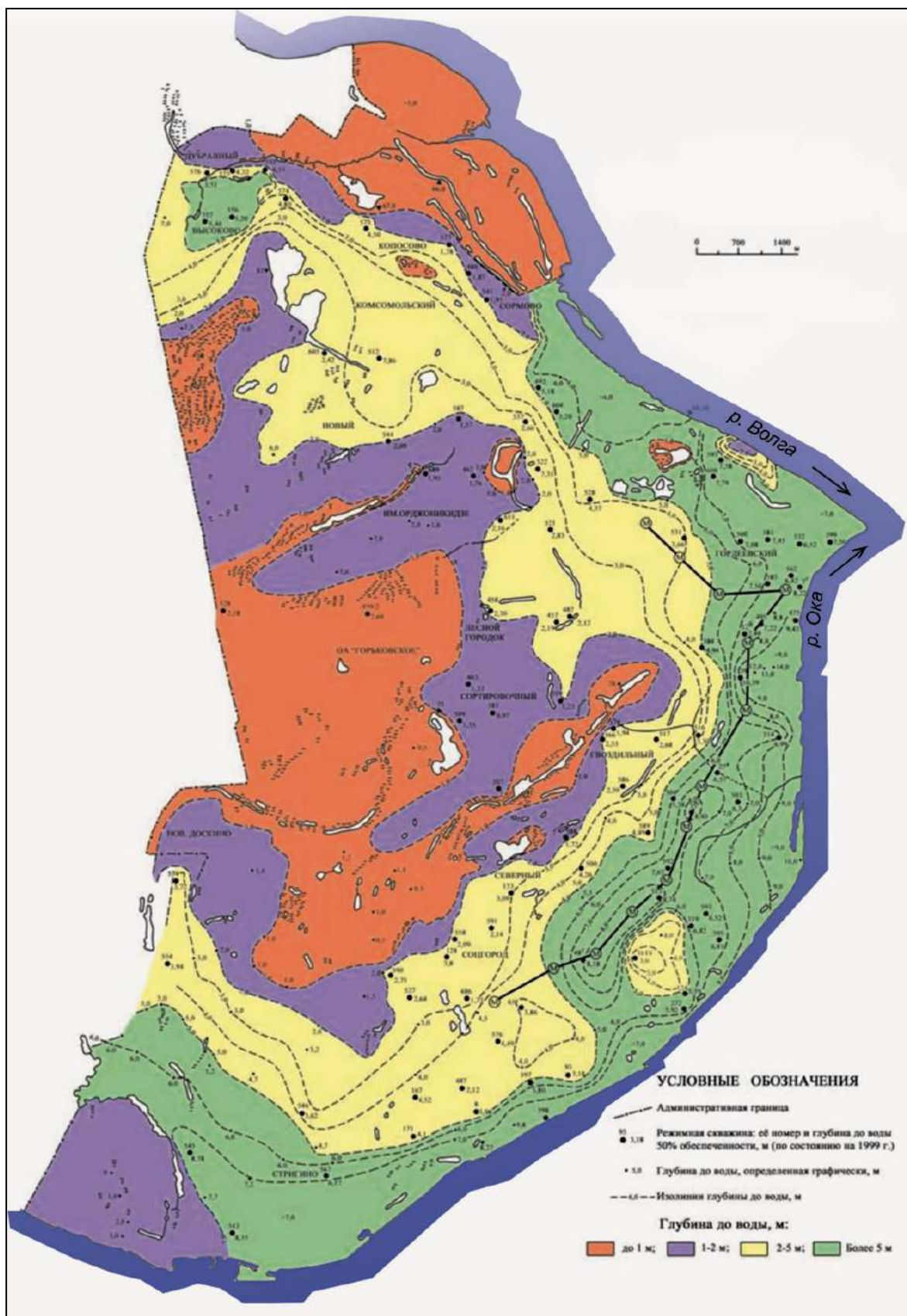


Рис. 18.15. Схема глубин залегания уровня грунтовых вод 50% обеспеченности в заречной части г. Нижнего Новгорода [141]

поступление воды при сосредоточенных поливах в коллективных садах; отсутствие единой системы ливневой канализации.

Расчеты баланса грунтовых вод для летней межени показывают, что их питание и разгрузка на территории Заречной части г. Нижнего Новгорода практически равнозначны: величина прихода составляет $50\,102\text{ м}^3/\text{сут}$, расхода – $49\,648\text{ м}^3/\text{сут}$, при невязке баланса $+454\text{ м}^3/\text{сут}$ (0,9 % от статьи прихода). Суммарная величина естественного питания грунтовых вод в межень составляет $11\,785\text{ м}^3/\text{сут}$, техногенного питания – $38\,317\text{ м}^3/\text{сут}$ (76,5 % статьи прихода). Равнозначность статей прихода и расхода свидетельствует о динамической стабильности современного водоносного горизонта. Динамическое равновесие притока и оттока грунтовых вод по пласту обеспечивается регионально действующим природным фактором: оттоком грунтовых вод через слои слабопроницаемых нижнетатарских отложений в трещинно-карстовый нижеказанский водоносный горизонт.

Геофильтрационное моделирование подпора грунтовых вод при отметке НПУ = 68,0 м Чебоксарского водохранилища обещает, что при современном состоянии дренажно-осушительной сети, 4 434 га (39 %) территории застройки заречной части г. Нижнего Новгорода при НПУ = 68,0 м Чебоксарского водохранилища станут непригодными для проживания людей и производственной деятельности [141; 441].

Не умаляя достоинств прогнозов уместно сделать следующий комментарий. По данным ВВБВУ зимами, отличающимися оттепелями, уровни в р. Волге у г. Нижнего Новгорода стоят выше отметки 68,00 м БС. Увеличения подтопления заречной части города никто не замечает. В последние годы такое бывает каждую зиму.

Начиная с 1970-х гг. проектными институтами предлагались схемы инженерной защиты Заречной части г. Нижнего Новгорода от подтопления при НПУ 63,0 и 68,0 м Чебоксарского водохранилища. Водопонизительные мероприятия включают дренажные каналы по руслам малых водотоков, подземные коллекторные и лучевые дренажи, ливневую канализацию и пр. Теоретически водопонижение реально, но на практике много лет не реализуется.

Таким образом, при прогнозировании и оценке подтопления урбанизированных территорий следует анализировать все возможные причины, а не считать его процессом, происходящим только под влиянием повышения уровней грунтовых вод вследствие их подпора от водохранилищ [346].

ГЛАВА 19. ИЗМЕНЕНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

Землетрясения на Земле вызваны тектоническими деформациями земной коры (теория тектоники плит). Земная кора представляет собой сферическую плиту сложного строения (рис. 19.1). Известно, что она имеет толщину 6 – 8 км под дном океанов и до 50 км в районах горных массивов [36]. Для ее изучения на Кольском полуострове в 10 км от г. Заполярного закладывали сверхглубокую скважину (рис. 19.2). Целью ученых было пройти нижнюю границу земной коры, так называемую поверхность Мохоровича, и добраться до мантии. Бурение начали в 1970 г. Оно шло трудно. В 1990 г. была достигнута глубина 12262 м, причем отклонение скважины от вертикали составило 870 м. Выяснилось, что температура пород земной коры до глубины 3 км увеличивается на 1°С через каждые 100 м, затем на 2,5°С через 100 м и на 12-километровой глубине равна 230°С. На этом бурение прекратили. Скважину забросили. Сейчас здесь разрушенные строения и ржавый диск, прикрученный болтами, как кажется, к самой земле (см. рис. 19.2), а под ним – скважина, занесенная в Книгу Гиннеса как самое глубокое вторжение человека в земную кору.

Сейсмические события по отношению к размерам Земли носят локальный характер. Их проявления в одних местах, как правило, не влекут за собой подобные события в других, удаленных. Землетрясения с глубинами более 50 км случаются крайне редко. Сложность строения литосферных плит и многофакторность внешних воздействий явились той причиной, что до сих пор нет признанного и строго установленного фактора или факторов, являющихся наиболее ответственными за нарастание сейсмической напряженности в них. Понятно одно: землетрясение – это разрушение литосферной плиты, происходящее с высвобождением упругой энергии, накопившейся в ней за счет внешних воздействий [36].

Сейсмичность региона характеризуется распределением землетрясений по территории, повторяемостью по времени, характером и площадью разрушений, связью очагов землетрясений с геологическим строением.

Интенсивность землетрясений оценивается по бальной шкале и по шкале магнитуд.

В России с 1952 г. принята 12-бальная шкала для выражения интенсивности землетрясений (рис. 19.3). При определении балла землетрясения по этой шкале учитывается совокупность многих признаков: показания сейсмологических станций, характер, степень и количество повреждений зданий и сооружений, остаточные явления в грунтах, изменения режима подземных и наземных вод, субъективные ощущения толчков и колебаний. Упрощенная характеристика землетрясений по 12-бальной шкале следующая: 1...4 – слабые, не вызывают разрушений; 5...7 – сильные, разрушают некапитальные постройки; 9 – опустошительные, разрушается большинство зданий, появляются значительные трещины на поверхности Земли; 11...12 – катастрофы, разрушение всех сооружений, изменения рельефа местности.

Магнитуда землетрясения – условная величина, характеризующая количество энергии, выделившейся в очаге землетрясения. Определяется как логарифм отношения максимальных амплитуд волн данного землетрясения к амплитудам таких же волн некоторого стандартного землетрясения. Величина магнитуды связана с энергией землетрясения эмпирическим соотношением. Характеристика землетрясений по магнитуде: 0 – наименьший толчок, зарегистрированный чувствительным прибором вблизи эпицентра; 5 – землетрясение, сопровождающееся небольшими разрушениями; 7 – сильное землетрясение; 9 – самое сильное из зарегистрированных землетрясений.

Землетрясения, спровоцированные человеческой деятельностью, называют **техногенными**. Их причинами могут быть глубокие разработки земных недр и изъятие горных пород на поверхность, закачка в отработанные шахты балластного вещества, сильные взрывы, создание больших водных резервуаров и др. Районы Земли, где в силу указанных причин возможны землетрясения, называют районами с **наведенной сейсмичностью** [515].

По мере увеличения в мире числа больших водохранилищ начали накапливаться сведения, позволявшие предполагать, что создание некоторых из них интенсифицировало сейсмичность прилегающих районов. Исследователи констатировали концентрацию сейсмических толчков вблизи отдельных вновь созданных водохранилищ и данное явление стали рассматривать как неслучайное (табл. 19.1). Привлечению внимания к нему способствовали нередко катастрофические последствия землетрясений.

Самым сильным, связываемым с созданием водохранилища, называют землетрясение в районе плотины Шиваджисагар на р. Койна в Индии.

Таблица 19.1

Примеры землетрясений после заполнения водохранилищ [131]

Место и страна	Высота плотины, м	Объем водохранилища, км ³	Год наполнения	Год землетрясения	Магнитуда
Гувер (США)	221	38,3	1936	1939	5,0
Хсинфенгиан (Китай)	105	11,5	1959	1961	6,1
Кариба (Замбия)	128	160	1958	1963	5,8
Койна (Индия)	103	2,8	1962	1967	6,5
Бенморе (Н. Зеландия)	110	2,1	1965	1966	5,0
Нурек (Таджикистан)	300	10,5	1972	1972	4,5

В основании плотины лежат базальты. С началом наполнения водохранилища (глубина 100 м, объем 2,78 км³, наполнено в 1962 – 1964 гг.) в районе стали ощущаться толчки средней силы, сопровождаемые звуками, похожими на взрывы, интенсивность и частота которых, особенно вблизи плотины, постепенно усиливались. 10 октября 1967 г. произошло землетрясение с магнитудой 5,9 – 7,0. В результате 200 человек погибли, более 1,5 тысячи были ранены и несколько тысяч остались без крова. Пострадала плотина. В последующем толчки меньшей силы продолжались и их эпицентры концентрировались по-прежнему в районе водохранилища [122; 288].

Связь между режимом уровней воды в водохранилище и сейсмичностью района наблюдалась в зоне глубоководного (более 250 м) водохранилища Вайонт на р. Пьяве в Италии, построенного в 1960 г. Заполнение водохранилища сопровождалось повышением сейсмической активности, падение уровня воды – ее снижением. 9 октября 1963 г. в результате подземных толчков с левого борта каньона за 20 секунд обрушился в водохранилище горный массив объемом 238 млн м³. Возникла волна вытеснения высотой 270 м. Около 25 млн м³ воды перехлестнулось через гребень арочной плотины в нижний бьеф, создав волну высотой 70 м. Плотина выстояла, но в долине р. Пьяве волна затопила и разрушила 5 небольших городов, оказавшихся на ее пути, и привела к гибели 4 400 человек [122; 151; 424].

В нашей стране изменение сейсмичности отмечается в районе Чиркейского водохранилища на р. Сулак (площадь 43 км², объем 2,78 км³, годы заполнения 1974 – 1976, высота плотины 233 м), расположенного в переходной зоне от предгорий к горной части Дагестана. После начала наполнения очаги землетрясений стали стягиваться к чаше водохранилища, большинство из них располагается не далее 20 км от него [122], однако магнитуда наибольших землетрясений не увеличилась (6,9 – до заполнения, 4,9 – после заполнения водохранилища) [288]. Указывалось на некоторое повышение

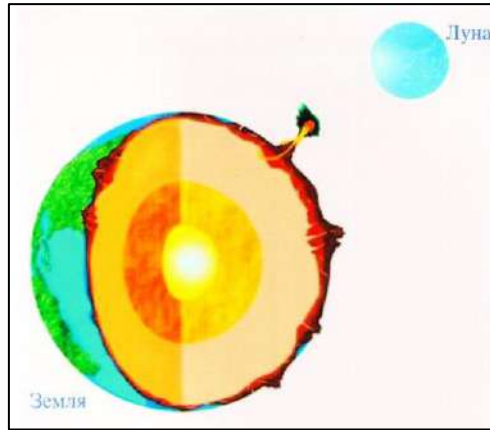


Рис. 19.1. Модель Земли. Радиус Земли 6371 км, толщина земной коры от 6 до 50 км [36]



Рис. 19.2. Строения Кольской сверхглубокой скважины (1990 г.) и ее устье (2019 г.) [<http://superdeep.pechenga.ru/index.htm>]

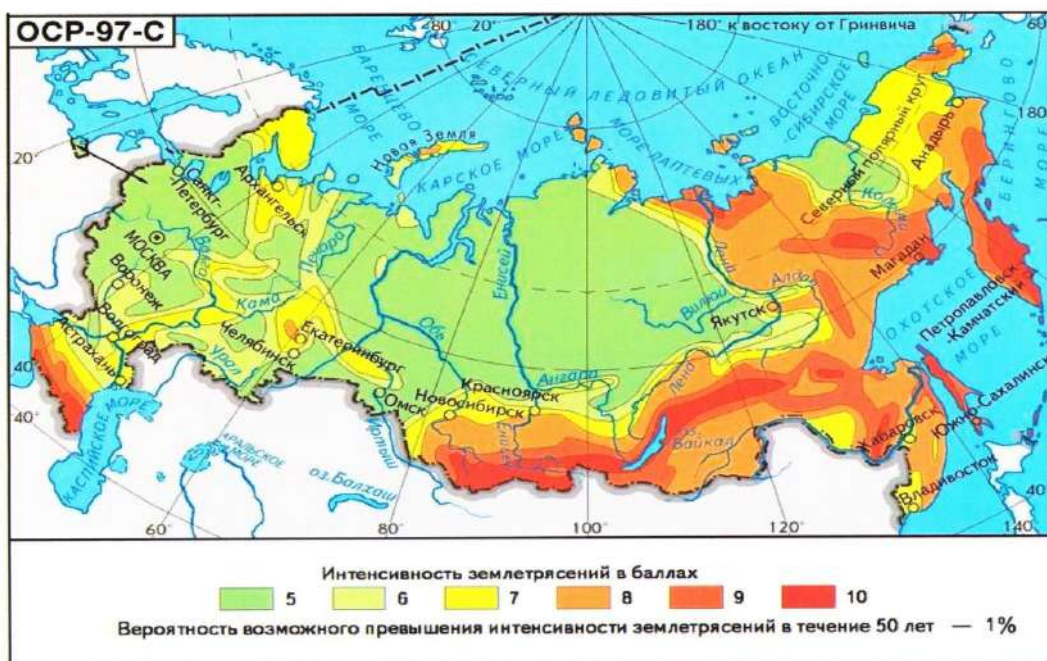


Рис. 19.3. Сейсмическое районирование территории Российской Федерации. Карта землетрясений вероятностью $p = 0,1\%$ в баллах по шкале MSK-64 [515]

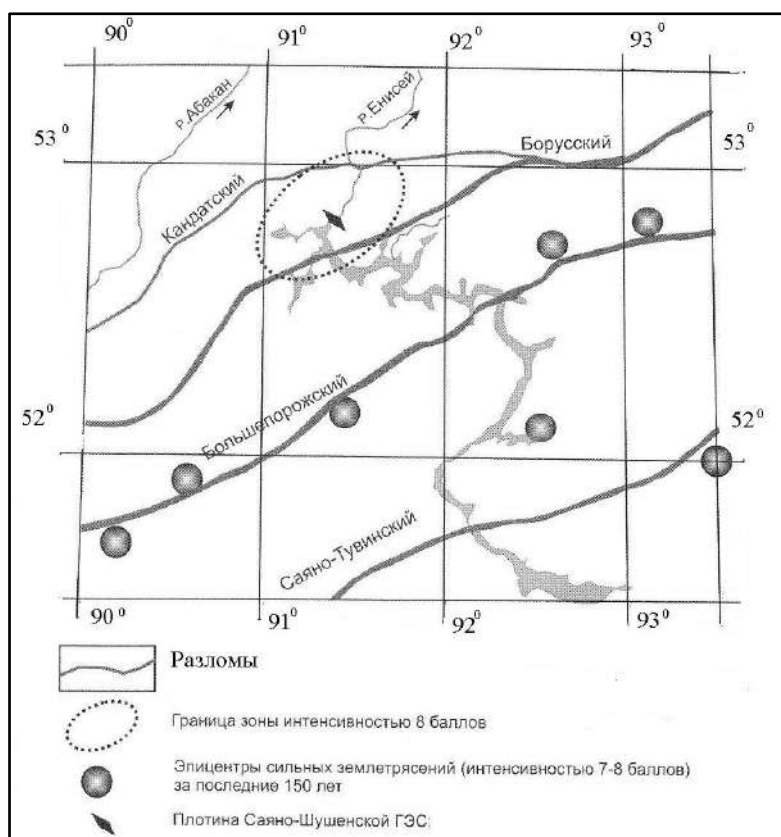


Рис. 19.4. Сеймотектоническая схема района водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС [133]

сейсмической активности в районе Саяно-Шушенской ГЭС на р. Енисее [636] и других крупных ГЭС [372]. Но точка зрения об активизации возбужденной сейсмичности после создания водохранилищ зачастую не подтверждается фактическим материалом. Так, в районе Саяно-Шушенского водохранилища фоновая сейсмичность 8 баллов по шкале MSK-64. В течение 150 лет крупные сейсмособытия связаны здесь с Саяно-Тувинским и Большепорожским разломами (рис. 19.4). За 50-летний период эксплуатации водохранилища максимальная интенсивность зарегистрированных землетрясений составила 3 балла (Шагонарское, 1994 г.) и 4 балла (Горно-Алтайское, 2003 г.). Признаков возбужденной сейсмичности, связанной с созданием водохранилища, не выявлено [131].

В настоящее время трудно однозначно объяснить природу наблюдавшейся активизации сейсмичности в районах создаваемых больших водохранилищ. Ее связывают с изменением напряженного состояния горных пород и концентрацией напряжений в зонах разрывных нарушений под влиянием нагрузки, обусловленной созданием водохранилища, возрастающего гидростатического давления подземных вод, изменения теплового режима горных пород и др. [122; 470; 636]. Считается, что для провоцирования повышения сейсмической активности необходимо сочетание целого ряда факторов: высота плотины более 90 м; объем водохранилища более 10 км³; наличие блочной структуры основания (блоковой тектоники); отсутствие водопора под водохранилищем; наличие крупных трещин, обеспечивающих гидравлическую связь вод водохранилища с более глубокими горизонтами (5 км и более); простираание субвертикальных тектонических зон вдоль водохранилища; значительные скорости наполнения или сработки водохранилища; продолжительный период, в течение которого сохраняется высокий уровень водохранилища (наибольшая нагрузка); наличие на глубинах 5–10 км ослабленных зон, по которым возможна потеря прочности; заранее накопленные избыточные тектонические напряжения [133]. По мнению специалистов ЮНЕСКО от возбужденных землетрясений не гарантирован ни один из крупных гидроузлов. Вместе с этим отмечается, что наполнение ряда больших водохранилищ, расположенных в сейсмических районах, не вызвало активизаций землетрясений. Таким образом, нельзя считать, что создание водохранилищ обязательно должно приводить к повышению сейсмичности [122; 133; 270; 288].

Сегодня нет достаточно надежной методики прогноза землетрясений на определенный период. Разработка проблемы наведенных землетрясений

находится на стадии гипотез и дискуссий, далеких от практического применения [471]. Для продвижения в этом направлении при всех гидроузлах I и II классов в районах с исходной сейсмичностью 7 баллов и выше и при наличии в составе гидроузла водохранилища объемом не менее $0,1 \text{ км}^3$ с максимальной глубиной свыше 50 м представляется целесообразным создание локальной сети для проведения сейсмологических наблюдений [544; 618; 624]. Изучение явления, его прогнозирование и разработка мероприятий, направленных если не на его предотвращение, то хотя бы на максимальное сокращение ущербов – важная и нужная задача науки [122; 270; 471].

ГЛАВА 20. ИЗМЕНЕНИЕ МЕСТНОГО КЛИМАТА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ

20.1. Климат и погода

Климат определяют как атмосферные условия в данной местности, преобладающие в течение длительного периода времени, которые в краткосрочном проявлении составляют **погоду**. Такими условиями являются солнечное излучение, температура, влажность воздуха, виды, частота и количество осадков, атмосферное давление, скорость и направление ветра. Эти основные характеристики называют метеорологическими элементами или элементами погоды. Кроме того, погоду принято характеризовать и атмосферными явлениями: гроза, туман, метель, гололед и др. Многолетние наблюдения за погодными условиями позволяют определить климат в данной местности.

Климатические условия всегда носят переменный (циклический) характер [285]. Изменения климата запечатлевались в памяти человеческого общества. Сведения о таких изменениях передавались из поколения в поколение, записывались в летописях, особенно это касалось опасных метеорологических и гидрологических явлений. Исторические свидетельства говорят, к примеру, о том, что период с 900 по 1100 гг. в северной Европе был теплее, а в 1-й половине XV в. и с 1600 по 1700 гг. – холоднее, чем настоящее время [109]. В последние два столетия погодные и климатические изменения регистрируются наблюдениями специальных служб. В 2019 г. отметила свое 185-летие Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России (Росгидромет) [440].

В докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) от 2007 г. определено, что на протяжении XX в. произошло повышение средней температуры поверхности Земли на 0,6 °С, и это глобальное потепление связывается с выбросом в атмосферу большого

количества газов (углекислого CO_2 , метана CH_4 , закиси азота N_2O и др.) в результате человеческой деятельности (теплоэнергетики, промышленности, транспорта), создающих парниковый эффект – поглощение инфракрасного излучения Земли. На долю России причисляют 17 % мирового выброса этих газов, 71 % из которых дает теплоэлектроэнергетика страны; вместе с этим Россия обладает 22 % мировых лесных территорий, играющих важную роль в поглощении двуокиси углерода [109]. Оказывается, содержание углекислого газа в атмосфере Земли достигло 400 ppm (частей на миллион) и это значительно выше, чем в течение истекших 500 тыс. лет [18]. Как бы в первый раз случилось то, что никогда не случалось. Научное сообщество взялось за обсуждение вопроса эмиссии парниковых газов с поверхности водохранилищ, особенно метана, с перспективой оценки вклада в глобальные климатические изменения. В России наибольшую суммарную эмиссию – 79251,4 т/год – определили из водохранилищ Республики Татарстан. Но вопрос пока мало изучили [183].

С помощью математических моделей, позволяющих анализировать изменения климата на основе физических законов, предсказываются характеристики климата на будущее, на предстоящие 50 – 100 лет, в частности по таким параметрам, как изменение температуры воздуха и количества осадков. Согласно докладу МГЭИК в случае реализации «максимального» сценария к концу XXI в. глобальная температура, по отношению к таковой в конце XX в., повысится на 4 °С. Последствия потепления климата – повышение уровня Мирового океана, увеличение частоты и интенсивности опасных погодных явлений, таяние ледников и вечной мерзлоты.

Климатологи из университетов Колорадо и Пенсильвании нашли, что повышение содержания углекислого газа в атмосфере грозит не только глобальным потеплением, но и влияет напрямую на людей: школьники и студенты начинают хуже учиться, еле-еле усваивают материал. Накопленная к 2100 г. углекислота приведет к тому, что интеллектуальный уровень человечества снизится аж на 50 %: каких-то 80 лет – и Земля станет планетой умственно посредственных людей [КП, 2020. 20 – 29.01].

Заключены международные Киотский протокол (1997 г.), затем Парижское соглашение (2016 г.), имеющие целью стабилизацию глобальной температуры за счет сокращения выбросов парниковых газов индустриально развитыми странами в пользу нетрадиционных возобновляемых источников электроэнергии вместо теплоэлектроэнергетики и т.п., создающие впечатление, что человечество способно регулировать температуру на

планете [494]. Ради спасения Земли от коварного CO_2 идут экологические акции. Шведская школьница Грета Тумберг в 8 лет впервые услышала о потеплении климата и впала в депрессию с диагнозом «селективный мутизм». В 16 лет (2019 г.) она – экологический активист, претендент на Нобелевскую премию мира. Мало кому удавалось добиться подобной драматургии [АН, 2019. – №41]. В конце концов случился скандал, получивший название «Климатгейт»: оказалось, что сотрудники МГЭИК манипулировали данными и, прикрываясь авторитетом ООН, представляли выгодные грантодателям сведения об ускорении глобального потепления [654].

У проблемы глобального изменения климата много разных граней и аспектов, потому что мир устроен сложно: климатическая система Земли включает в себя атмосферу, гидросферу (океаны), криосферу (весь лед на планете) и биосферу. Те выбросы парников газов, которые производит наша цивилизация, несравнимы с объемами, выделяемыми самой природой – океанами, вулканами, перегнивающей растительностью. Четко высказался доктор геолого-минералогических наук В.П. Полеванов: главный парниковый газ – водяной пар, а парникового эффекта просто нет [АН, 2019. – №47].

Геологическая история свидетельствует, что на Земле ледниковые периоды перемежались межледниковыми. Последние продолжались от 40 тысяч до нескольких сотен тысяч лет. Период, в котором мы живем, считается типичным межледниковьем. Оно ничем не отличается от более древних межледниковий, и, во всяком случае, не теплее, чем межледниковья прошлого. Напротив, нынешнее межледниковье более прохладное, чем некоторые более древние межледниковья, и есть основания предполагать, что оно также может оказаться короче: начавшись около 20 тыс. лет назад, продлится, вероятно, еще 5 – 10 тыс. лет, после чего на Земле наступит новый ледниковый период [204]. Анализ ледников Антарктиды, Гренландии, а также донных отложений океанов, показал циклическое изменение температур прошлого в хорошем соответствии со 100 – тысячелетней периодичностью (рис. 20.1) [18].

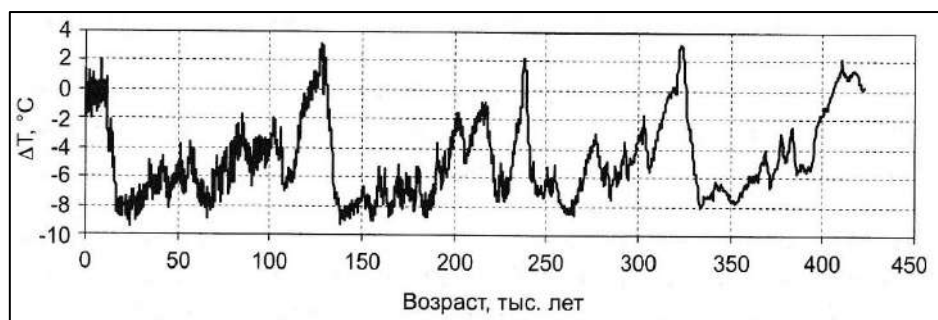


Рис. 20.1. Палеотемпературы, реконструированные по результатам бурения льда в районе антарктической станции Восток за 422 тысячи лет [18]

В Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) в 2000-х гг. анализировали данные многолетнего мониторинга, осуществлявшегося научными станциями «Северный полюс», метеостанциями, а также спутниковую информацию о межгодовой изменчивости площади ледяного покрова, средней температуре воздуха полярных районов и других гидрометеопоказателях и пришли к выводу, что климатические изменения в Арктике носят полициклический характер. Глобальный характер проявления в Арктике климатических колебаний, как считают специалисты ААНИИ, указывает на связь с внешними, в том числе космическими факторами. В текущем столетии колебательное изменение площади морских льдов в Арктике сохранится [328]. В Национальном центре по снегу и льду США, построив тенденцию изменения площади арктических льдов (в сентябре 1979 г. – 7,05 млн км², 2018 г. – 4,71 млн км², 2036 г. – 0,72 млн км², 2050 г. – 0,60 млн км²), пришли к такому же выводу [www.NAT -GEO.RU, сент. 2019]. С начала 1980 -х гг. сентябрьская (т.е. минимальная за текущий год) площадь льда сокращается на 13,3 % за десятилетие (рис. 20.2). Среднегодовая толщина полярного льда за 1975 – 2012 гг. уменьшилась с 3,59 м до 1,25 м (на 65 %). Как вероятный сценарий рассматривается полное исчезновение льда на летний период в центральной Арктике в течение XXI в., скорее всего уже в первой его половине [18]. По другому сценарию вероятность полного исчезновения льда в Арктике исключена [328].

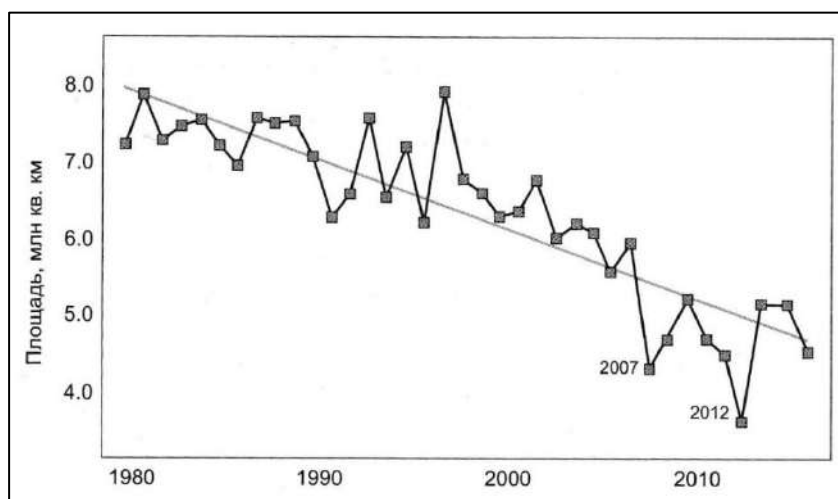


Рис. 20.2. Средняя сентябрьская площадь льда в Арктике (сентябрь – месяц минимального распространения льда) [18]

В последние 70 лет наблюдается аномальное число вспышек на Солнце; в прошлый раз такая активность была около 8000 лет назад [18].

Многие ученые считают, что наблюдаемое потепление связано с высоким уровнем интенсивности излучаемой Солнцем энергии, и за ним последует закономерное похолодание, что подтверждается фактом начала остывания верхних слоев Мирового океана [109].

Так сложилось, что наше время близко к самой теплой части межледниковья [204], никакого глобального потепления климата нет, а есть 40 – 60-летние циклы потепления-похолодания, и в одном из них мы пребываем. То, что мы наблюдаем сейчас, можно назвать скорее микропотеплением. В целом же Земля движется к похолоданию [285; 494].

А вот знаменитый британский физик С.У. Хокинг (1942 – 2018) в по-смертно изданной книге «Краткие ответы на большие вопросы» [690] пугает людей, обещая, что все пойдет не так и человечество исчезнет уже к 2600 г., потому что наша планета станет непригодной для жизни – «...у нас будет климат... при температуре плюс 460 градусов Цельсия».

К сожалению, сегодня никто не знает как будет выглядеть мир в 2050 г., не говоря уже о 2100, а угроза глобального потепления носит неопределенный и отдаленный характер [688]. Можно говорить лишь о том, что метеорологические условия в текущем столетии вряд ли будут такими же, как в прошлом веке [109]. Будущее туманно и точная картина станет ясна только тогда, когда все случится [285].

По данным наблюдений средняя годовая приземная температура воздуха в мире за 1880 – 2012 гг. увеличилась на 0,85 °С, а на территории России за тоже период ее увеличение достигло 2,4 °С, причем за период 1976 – 2012 гг. скорость роста в среднем составила 0,43 °С / 10 лет. Прогнозные модели Росгидромета предсказывают увеличение этой температуры в России за 2011 – 2030 гг. на 0,9 – 2 °С, за 2041 – 2060 гг. на 2 – 3,9 °С, за 2080 – 2099 гг. на 3,4 – 5,5 °С [136].

Табл. 20.1 отражает потепление современного климата в российской криолитозоне. Вопрос потенциального таяния вечной мерзлоты важен для страны своими последствиями. Он анализировался многовариантно. Например, рассчитывалась среднегодовая температура пород ϑ_z на глубине нулевых годовых амплитуд при повышении температуры воздуха на 2° и 4° от современной температуры. Оказалось, что сплошная вечная мерзлота с температурой $\vartheta_z = -3...-7^\circ\text{C}$ и ниже при этом не деградирует, повысится лишь ее температура, причем в весьма малой степени [699].

Мировое сообщество предчувствует, что глобальное потепление, по всей видимости, по-разному скажется на разных странах. Некоторые, и прежде всех Россия, скорее всего даже извлекут из него преимущества.

Сибирь в результате потепления превратится в мировую житницу. При таянии льдов в Северном Ледовитом океане арктические морские пути, которые контролирует Россия, станут крупнейшими артериями мировой торговли [688].

Таблица 20.1

Характеристики потепления современного климата на территории криолитозоны России [466; 699]

Регион	Изменение температуры воздуха, °С			
	1971 – 1980 гг.	1981 – 1990 гг.	1991 – 2000 гг.	По сравнению с нормой (среднее за 1951 – 1980 гг.)
Европейский Север	0,1	0,4	– 0,1	0,7
Западная Сибирь	– 0,2	1,3	0,2	1,4
Средняя Сибирь	0,2	1,5	0,2	1,6
Север Якутии	0,2	0,8	0,1	1,1
Юг Якутии (<65° с.ш.)	0,2	1,4	0,3	1,6
Юг Сибири	0,1	1,6	0,3	1,9
Северо-Восток	0,1	0,5	0,1	0,7
Дальний Восток	0,2	1,0	0,2	1,2
Среднее	0,2	1,1	0,2	1,3

Еще на Всемирной выставке в г. Париже в 1937 г. были «ярко показаны успехи советской научной мысли в борьбе с природой севера: ...ненец, держащий в руках турнепс, ...большие панорамы – типовая полярная станция и проводка ледоколом «Красин» каравана судов сквозь льды Арктики», как писалось в газете «Правда» от 16.05.1937 г. Не так давно арктическая тема вернулась на первые полосы газет. Причины интереса – скачки цен на углеводороды и потепление климата [18]. В стратегии развития арктической зоны России, которую разработало Минвостокразвития, намечено до 2035 г. запустить 5 проектов по добыче нефти на шельфе, 21 проект по разработке твердых полезных ископаемых, построить 3 газохимических завода, новый лесоперерабатывающий комплекс в Архангельской области, в Ненецком округе должен появиться порт Индига [АиФ, 2020. – №3].

Северный морской путь весь XX век функционировал как внутренняя транспортная магистраль. В 2011 г. вдоль берегов Сибири из Европы в Азию прошли за ледоколами 34 грузовых судна [18], а в 2017 г. российский танкер совершил первый проход по Севморпути без помощи ледокола [НВ, 2019. – №40], но это пока ничто в сравнении с 18 тысячами судов, прошедших через Суэцкий канал [18]. С уменьшением площади льдов в Арктике наступит новое будущее Северного морского пути. В перспективе он может стать полноценным конкурентом Суэцкого канала по сообщению между Европой и

Азией. Давно подсчитано: доставка груза из Мурманска в Японию через Суэцкий канал – это 12291 морская миля (37 дней), через Арктику – 6010 миль (18 дней), т.е. в 2 раза короче.

Поводов для оптимизма не так уж много только у экологов – интерес к Арктике в основном ограничивается ее природными ресурсами, что неизбежно ведет к деградации природной среды.

Для экономики государства и жизнедеятельности населения непреложное значение имеют прогнозы погоды. Математические (численные) модели все более детально и физически полно описывают процессы в атмосфере и на подстилающей поверхности земли, идет процесс повышения их детализации и точности. В Гидрометцентре России с 2009 г. создана и развивается система COSMO-Ru, с помощью которой 4 раза в сутки вычисляются прогнозы для регионов страны с шагами расчетных сеток от 6,6 км до 1,1 км. COSMO-Ru ежедневно выпускает более 8000 и свыше 50 видов прогнозных карт погоды на 3 – 4 суток [46; 524]. Долгосрочные же прогнозы – бесперспективное дело.

Но люди научились управлять погодными явлениями. Современные установки по управлению погодой используют электрический потенциал литосферы. Электроны из глубин Земли направленным потоком переносятся в атмосферу, вследствие чего образуется циклон. Сообщалось, что в 2000-х гг. на рынке услуг по созданию погоды соответствующие фирмы появились в России, Германии, Корее, странах арабского мира. В 2010 г. из Объединенных Арабских Эмиратов в летний сезон удалось вызвать более 50 дождей. Тогда осадки залили северное побережье Африки, Европу и Пакистан. В России же была засуха. В 2017 г. ситуация повторилась с точностью наоборот.

Нельзя представить, какими последствиями могут обернуться эксперименты над климатом планеты.

20.2. Изменение климата вблизи водохранилищ

Водохранилища, в особенности большие, представляют собой мощные аккумуляторы тепла, что, в основном, определяет их влияние на местный климат. Изменения в климате зависят от географического положения, морфометрических параметров, режима эксплуатации и других особенностей водохранилищ, освоенности окрестных территорий.

Вблизи больших водохранилищ происходит некоторое уменьшение

степени континентальности климата: над акваторией увеличивается радиационный баланс; в пределах береговой полосы шириной от 1 до 4 км снижаются на $1,5 - 2^{\circ}\text{C}$ максимальные и повышаются на $0,2 - 0,7^{\circ}\text{C}$ минимальные температуры воздуха, уменьшаются годовые и суточные амплитуды, происходит сдвиг дат перехода температуры воздуха через 0°C и другие градации; увеличивается абсолютная и относительная влажность воздуха на $2 - 7\%$, повышаются месячные суммы осадков в летний период на $10 - 12\%$, образуются специфические формы туманов – туманы охлаждения весной и туманы испарения осенью; над водной поверхностью на $30 - 40\%$, увеличиваются скорости ветров, меняются их направления.

Названные изменения фиксировались наблюдениями вблизи всех больших водохранилищ России с моментов их образования (рис. 20.3, 20.4).

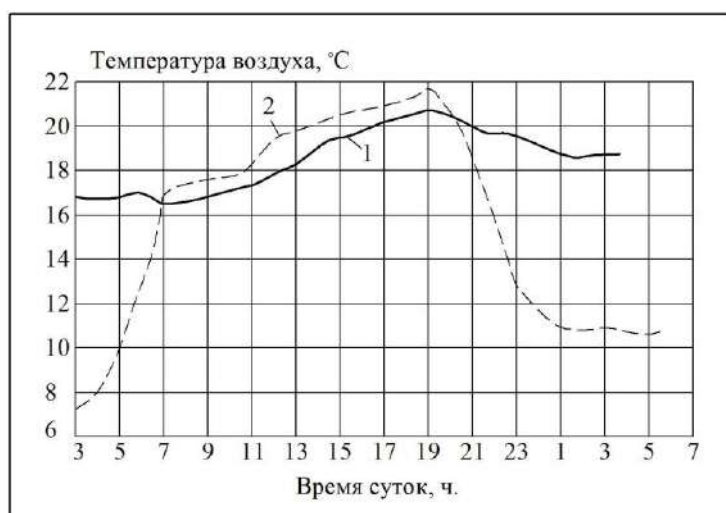


Рис.20.3. Ход суточной температуры воздуха 24 – 25 июня 1964 г. на Рыбинском водохранилище: 1 – в центре водохранилища; 2 – на метеостанции Брейтово со стороны левого берега [7; 120]

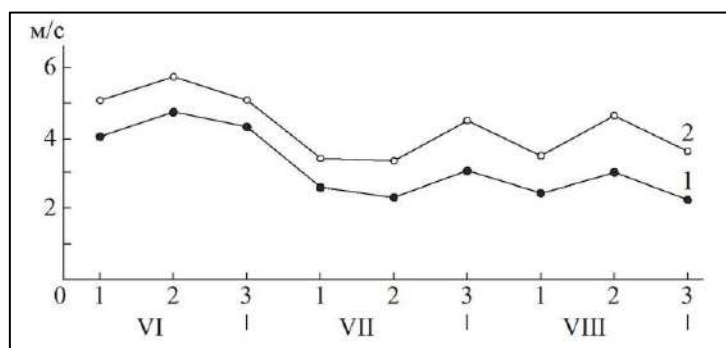


Рис. 20.4. Соотношение декадных скоростей ветра над сушей (1) и над водной поверхностью (2) в июне-августе на Куйбышевском водохранилище [120]

Отмечено, что за время после создания крупных ГЭС в европейской части страны не было ни одной засухи. Водохранилища ГЭС сняли проблему засух в России и в Украине [653]. Тот же эффект – в Сибири. Красноярское водохранилище убавило континентальность климата, оказывает охлаждающее и отепляющее влияние на атмосферу (до $-2,6$ °С в июне и до $+10$ °С в октябре), амплитуда годовых колебаний температуры воздуха уменьшилась на $4 - 5$ °С. Саяно-Шушенское водохранилище смягчило резко-континентальный климат побережья озеровидной части в Тувинской котловине и на участке нижнего бьефа в Минусинской котловине. Но испарение из полыней в нижних бьефах ГЭС и зимние туманы осложнили микроклимат в городах Красноярске, Иркутске, Братске [545]. Чаше появляется «слоть», это сибирское слово обозначает снег и дождь одновременно.

По результатам наблюдений на водохранилище Вилуйской ГЭС к 1987 г. было зафиксировано увеличение среднегодовой влажности на $0,9$ мбар и среднегодовой температуры воздуха на $0,7$ °С в районе наиболее крупного озеровидного расширения. В районе плотины, наоборот, при некотором увеличении влажности (на $0,15$ мбар), наблюдалось снижение среднегодовой температуры воздуха (на $0,3$ °С). Влияние водохранилища практически не отразилось на среднегодовой скорости ветра в прибрежных районах и годовом количестве атмосферных осадков. Зона активного климатического воздействия оказалась пропорциональной площади водохранилища, распространилась в сторону суши на $0,5 - 12$ км от береговой линии [450].

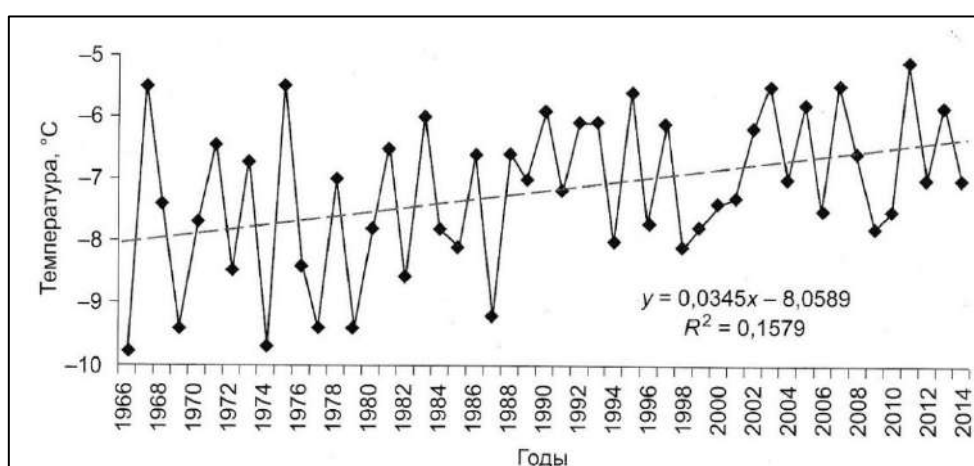


Рис. 20.5. Изменение среднегодовой температуры воздуха в пос. Чернышевский за период эксплуатации Вилуйской ГЭС с 1966 г. по 2014 г. [699]

В поселке гидростроителей Чернышевском среднегодовая температура воздуха до 1966 г. была – 7,9 °С, а за период эксплуатации ГЭС с 1966 г. по 2014 г. повысилась на 1,7 °С и составила – 6,2 °С (рис. 20.5), а количество осадков в среднем увеличилось на 43 мм/о от прежних 380 мм/год [699], отразив, по-видимому, общий тренд потепления климата.

Незначительным ожидается влияние на климат проектируемого Эвенкийского (Туруханского) водохранилища: изменение температуры воздуха в 5-километровой прибрежной зоне составит зимой 4,7 °С, летом 2,1 °С; влажность воздуха увеличится зимой ниже гидроузла в зоне открытого русла на 15 % [444].

Таким образом, водохранилища не являются источниками коренного преобразования климатических условий на прилегающих территориях. Они вносят заметные изменения только в местный метеорологический режим. Не большие, чем крупные города, над которыми меняется метеорологический режим и образуется свой особый местный климат.

ГЛАВА 21. ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА РАСТИТЕЛЬНЫЙ И ЖИВОТНЫЙ МИР

21.1. Воздействие водохранилищ на прибрежные леса

Растения – организмы, составляющие одно из царств органического мира, первичный источник всего органического вещества на Земле: без них была бы невозможна жизнь животных и человека. Растения изучает наука ботаника (рис. 21.1). **Флора** – исторически сложившаяся совокупность видов растений, населяющих какую-либо территорию. **Лес** – один из основных типов растительности, господствующий ярус которого образован деревьями одного или нескольких видов с сомкнутыми кронами. По обобщенной практической схеме леса подразделяются на хвойные, лиственные и смешанные [603].

Процессом с очень давней историей считают истребление лесов. По некоторым оценкам площадь лесных массивов на Земле за период человеческой деятельности уменьшилось более чем в 2 раза [78]. Ученые-лесоводы полагают, что на европейских просторах от первоначальных площадей лесов к XX в. сохранилось в Великобритании около 5 %, в Италии, Греции, Испании, Франции, Бельгии и Голландии 8 – 20 %, в Германии 28 %, в Финляндии и Швеции 50 – 65 % [151].

До времен активного наступления человека на природу леса занимали почти всю европейскую часть территории нашей страны (рис. 21.2). В настоящее время они сохранились примерно на 1/3 ее площади (рис. 21.3). По-прежнему обширные лесные массивы располагаются в Азии – на сибирских низменностях и горных склонах (рис. 21.4). Холода стали причиной безлесья на Крайнем Севере (рис. 21.5) и больших горных высотах (рис. 21.6), а жаркий климат – на юге страны (рис. 21.7). Если бы не влияние человека, лесов в России, как и на всей планете, было бы больше. Население существенно изменило облик Земли, уничтожив огромные лесные массивы

или переделав их по своему усмотрению.

Люди давно привыкли к ландшафтам с проспектами, пролегающими через леса, и безлесными пространствами вокруг поселений. Их вполне устраивает открытая местность, но с каким-нибудь лесочком неподалеку. Сегодня леса пересекаются автострадами и железными дорогами. Благодаря развитию путей сообщения стали доступными девственные лесные массивы. Теперь все зависит от поведения человека и сопротивляемости леса: если верх берет предпринимательский дух, то придорожные леса в виде бревен и другого материала путешествуют в места, где без них не обойтись (рис.21.8).

Характерной особенностью леса является высота древостоя над землей и глубина проникновения в почву корней деревьев. Леса имеют большие просторы для маневра, обладают поразительной способностью приспосабливаться к разным климатическим условиям и разным по качеству почвам, стремятся захватить каждый клочок земли [215].

По берегам водохранилищ на леса воздействует затопление и подпор грунтовых вод.

В зоне периодического затопления при наполнении-сработке водохранилища весь древостой погибает (рис. 21.9) и древесная растительность здесь не возобновляется.

В зоне подтопления влияние водохранилищ на древесную растительность дифференцировано по подзонам в связи с различной глубиной залегания уровня грунтовых вод.

Подзона сильного постоянного подтопления располагается обычно в пределах высот 0,4 – 1 м над НПУ. Поднятие уровня грунтовых вод до 0,6 – 0,4 м и ближе к поверхности вызывает переувлажнение почв, дефицит в них кислорода, что ведет к отмиранию части корней деревьев, засыханию крон, снижению текущего прироста по диаметру на 20 – 25 %, лес становится каким-то нездоровым, возможна даже гибель леса (рис. 21.10, см. также рис. 18.2). Наименее устойчивы к новым условиям ель и пихта, лучше приспосабливаются ольха, береза, сосна. Если деревья ранее испытывали недостаток влаги и переувлажнение затронуло лишь нижний ярус их корневых систем, прирост возрастает. В непосредственной близости от водохранилища изменение прироста наблюдается уже на второй – третий год после его заполнения. На протяжении последующих лет в подзоне сильного подтопления происходит изреживание и ветровал елей и сосен с замещением их березой, осинной, ивой, подступающих к урезу воды (рис. 21.11).



Рис. 21.1. Ботаник. Картина В.Г. Перова, 1874 г.



Рис. 21.2. Участок древнего елового леса на западе Тверской области в Центрально-Лесном государственном биосферном заповеднике [241]



Рис. 21.3. Участок после сплошной рубки соснового бора на левобережье р. Волги в Нижегородской области. 2011 г.



Рис. 21.4. Тайга в долине одного из притоков р. Нижней Тунгуски

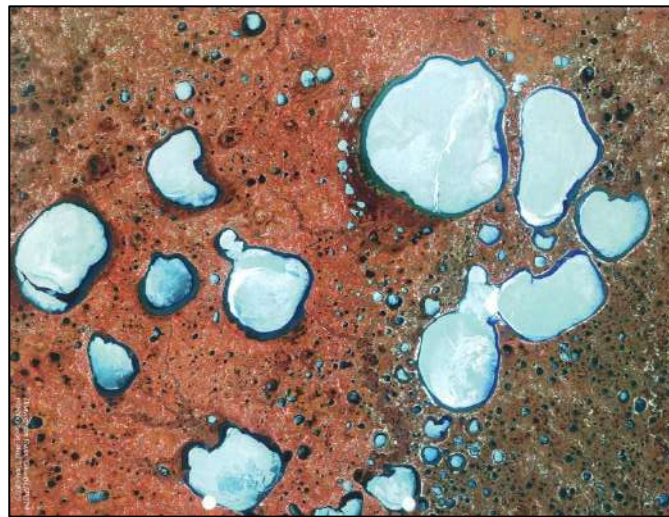


Рис. 21.5. Тундра на полуострове Ямал после схода снежного покрова.
Космический снимок ИТЦ «СКАНЭКС»



Рис. 21.6. Вид Восточного Саяна в Нижнеудинском районе
Иркутской области



Рис. 21.7. Пустынно-степной пейзаж в районе Волго-Донского судоходного канала



Рис. 21.8. Российский лесовоз



Рис. 21.9 Ущелье р. Енисея у хребта Борус в Западном Саяне с гибнущим древостоем в зоне наполнения-сработки Саяно-Шушенского водохранилища [241]



Рис. 21.10. Распад древостоя в подзоне сильного подтопления Камского водохранилища через 10 лет после его заполнения [262]



Рис. 21.11. Лиственные деревья, заменившие хвойные у уреза воды речного участка Верхне-Свирского водохранилища

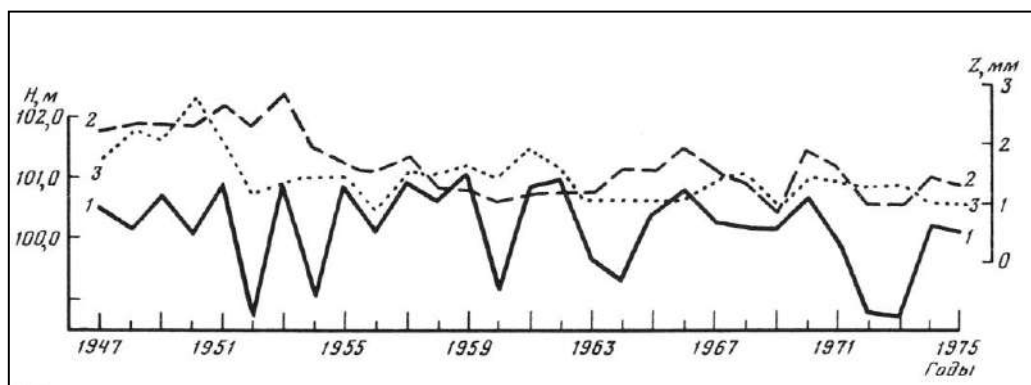


Рис. 21.12. Многолетний ход уровня Рыбинского водохранилища (H) с мая по август (1), прироста сосняка-зеленомошника (Z) в подзоне умеренного подтопления (2) и вне зоны подтопления (3) [122]

В подзоне умеренного подтопления с подъемом уровня грунтовых вод на 0,6 – 2 м от поверхности исходные типы леса в большинстве случаев сохраняются. Прирост по диаметру может падать на 30 – 40 % в долгомошниковых и влажнотравных лесах и в меньшей степени сосняках и ельниках зеленомошниках (рис. 21.12). Сосняки брусничники, мохово-лишайниковые, вересковые в зоне умеренного подтопления обычно повышают прирост на 10 – 75 %. Положительно на подъем уровня грунтовых вод до высоты 1 м от дневной поверхности реагируют ель, сосна, пихта, дуб, липа, лещина.

В подзоне слабого подтопления тип леса, как правило, не меняется [122; 262].

На берегах всех больших водохранилищ, построенных в России, лесное растительное сообщество давно стабилизировалось по примеру береговых зон естественных водоемов.

21.2. Влияние водохранилищ на животное население побережий

Животные – организмы, составляющие одно из царств органического мира. **Фауна** – совокупность видов животных, обитающих на определенной территории, складывавшаяся в процессе эволюции из животных разного происхождения: автохтонов (здесь возникших), аллохтонов (возникших в другом месте, но давно сюда вселившихся), иммигрантов (проникших сюда относительно недавно) [603].

В Министерстве природных ресурсов и экологии России впервые подсчитали и в начале 2019 г. обнародовали, что ресурсы всего дикого животного мира страны (охотничьи ресурсы) стоят 640,6 млн рублей [АН, 2019. – №2]. У россиян издавна популярны медвежьи охоты. Современник царя Ивана Грозного итальянец А. Гваньини сообщал соотечественникам: «московиты... настолько сильны, что осмеливаются схватываться безо всякого оружия с неукротимыми свирепыми медведями, полагаясь только на свои силы... схватив медведя за уши, они утомляют его до тех пор, пока, совершенно ослабевшего, не свалят на землю» [727]. Все бурые медведи в России по подсчетам Минприроды стоят 14,8 млн рублей. Согласно официальной статистике [178] в 2018 г. их насчитывалось 263,8 тыс. особей. Т.о. один медведь (рис. 21.13) стоит 56,1 рубля. Других животных оценили так: всех косуль – в 41,3 млн руб., лосей – в 85,6 млн руб. диких северных оленей – в 32 млн руб., соболей – в 22,6 млн руб., барсуков – в 4 млн руб. Барсуков в

стране не меньше 300 тысяч; получается, что один барсук (рис. 21.14) стоит 13 руб. Соболи баргузинский, тобольский, енисейский, саянский, якутский, витимский, камчатский, уссурийский и др. – «мягкое золото», гордость России, основа пушного богатства страны. Еще Иваном Грозным было издано высочайшее повеление: если кто осмелится продать в чужеземную державу живого соболя, «тому голову сечи» [241]. Сейчас за рубеж продается около 100 тыс. шкурок соболя в год. Этот мех более ценный товар, чем черная (осетровая) икра. В 2018 г. численность популяции составляла 1574,8 тыс. особей [178]. Т. о. согласно оценке Минприроды один соболь (рис. 21.15) стоит 14,35 руб. По выражению писателя В.Т. Шаламова: «не веришь – прими за сказку». Впрочем, оценкой охватили всего 21 вид животных, учитывая только так называемые лимитируемые виды. Волков лисиц, зайцев, бобров и птиц не трогали [АН, 2019. – №2].

Создание водохранилищ служит причиной изменений фауны прилегающих территорий.

Изменение животного населения начинается при проведении подготовительных работ в зоне затопления, когда из-за вырубки лесов временно обедняется состав зверей и уменьшается численность птиц.

Резкое воздействие на животный мир оказывает заполнение водохранилища. Часть населявших затопляемые уголья животных, особенно мелких, погибает. В результате падает численность мышей, кротов, ежей [262]. Вероятно, вы не настолько ненавидите муравьев, чтобы давить их при каждом удобном случае. Но если вы руководитель строительства экологически чистой гидроэлектростанции, а в зоне затопления оказался муравейник, – уввы, тем хуже для муравьев [690]. Гибнут и ядовитые твари, одно перечисление которых [142] может испортить любой сон. Численность крупных животных – медведей, лосей, кабанов, лисиц, реже зайцев на побережьях водохранилищ в период их заполнения не уменьшается, а увеличивается за счет особей, вытесненных из зоны затопления. В связи с возросшей концентрацией животных в околородной зоне побережья происходит последующая структурная перестройка, угнетение одних видов и увеличение численности других. В наибольшей степени обогащение животного мира происходит на берегах водохранилищ в засушливых ландшафтах.

Из-за малой пригодности территорий, окружающих затопленные поймы, для обитания большинства видов мелких птиц, населявших речные

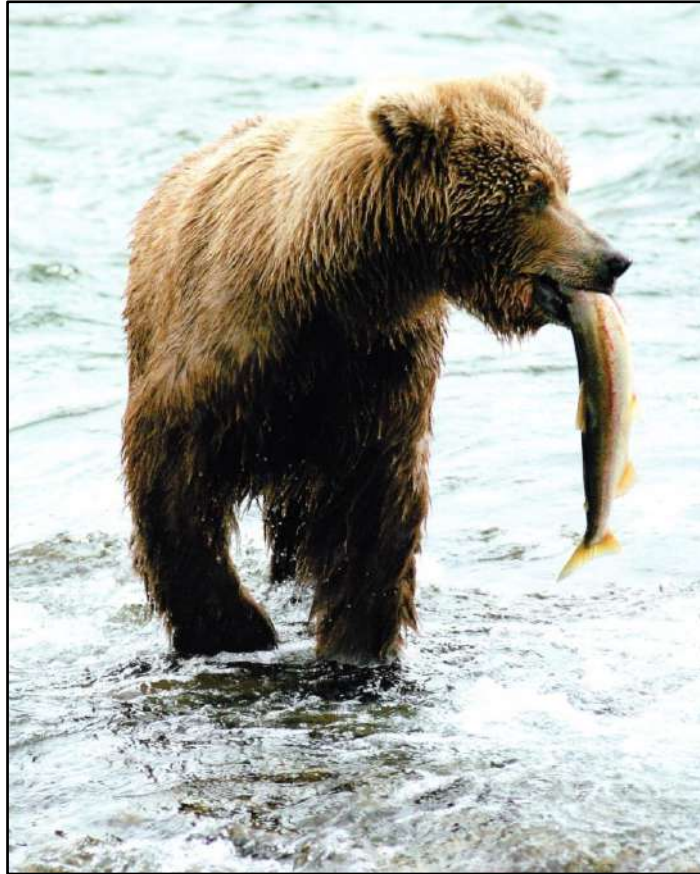


Рис. 21.13. Бурый медведь



Рис. 21.14. Барсук



Рис. 21.15. Соболь баргузинский [241]



Рис. 21.16. Дикий северный олень [487]



Рис. 21.17. Ягель – лишайники рода кладонии, пища северных оленей: олени обнаруживают ягель под снегом с помощью обоняния, в тундре они способны раскапывать снег глубиной до 80 см, в лесной зоне, где снег более рыхлый, – до 1,5 м [603]



Рис. 21.18. Преодоление водного рубежа семьей оленей в Якутии

долины, количество последних уменьшается, причем особенно резко в степной и пустынной зонах. Мало требовательные к условиям обитания виды птиц переселяются на побережья водохранилищ и острова. Вокруг водохранилищ лесной зоны увеличивается количество боровой дичи (глухарей, рябчиков и др.).

С появлением обширных водных пространств увеличивается численность и обогащается состав видов водоплавающих птиц. Это свойственно всем без исключения водохранилищам страны. Так сразу после заполнения Новосибирского водохранилища число водоплавающих птиц на нем увеличилось втрое (табл. 21.1).

Таблица 21.1

Изменение численности водоплавающих птиц при заполнении Новосибирского водохранилища [262]

Вид птиц	Число птиц на 10 км берега	
	до заполнения, начало июля 1956 г.	в период заполнения, конец июня 1958 г.
Серый гусь	–	2
Шилохвость	7	110
Чирок-свистунок	52	135
Чирок-трескунок	34	70
Кряква	72	78
Серая утка	4	18
Свиязь	–	6
Соксун	–	36
Хохлатая черныш	3	42
Красноголовый нырок	–	29

По наблюдениям и подсчетам на Манычских водохранилищах в бассейне Дона отдыхает осенью более 6,5 млн, весной – более 2,3 млн перелетных птиц, а также зимует более 80 тыс. особей, гнездится 180 видов орнитофауны, в том числе редких и исчезающих – 39 видов, из них занесенных в Красную Книгу России – 19 видов [360].

Между Шекснинским и Моложским плесами Рыбинского водохранилища образовался большой полуостров. Здесь раскинулся созданный в 1945 г. Дарвинский заповедник. Его площадь с охранными зонами составляет 1,8 тыс. км². Обширные мелководья, всплывшие торфяники, болота, беломошные боры заповедника – это пристанище пернатых, среди которых лебеди, цапли, скопы, журавли, орлы и огромные стаи перелетных птиц – гусей и уток [163; 267]. С созданием водохранилищ перелетные птицы изменяют даже свои пролетные маршруты. Например, вдоль р. Камы пути сезонных миграций птиц не проходили, но со следующего же года после заполнения

Камского водохранилища здесь стали садиться тысячные стаи гусей и уток, часть которых остается на все лето [262].

Водоохранилища иногда могут стать препятствием на путях мигрирующих животных [296]. Так Создание Зейского водохранилища нарушило магистральные миграционные пути косуль, что явилось одной из основных причин снижения их численности на севере Амурской области. В марте 1990 г. в нижнем бьефе Зейской ГЭС была отмечена массовая гибель косуль в рано вскрывшейся реке [536].

Оленина пригодна для выработки диетических, лечебных и детских продуктов питания. Коренное население Крайнего Севера использует субпродукты оленей в качестве пищевых добавок, благодаря чему удовлетворяются потребности в биологически активных веществах, витаминах, ферментах, макро- и микроэлементах. В свежем или свежемороженом виде употребляют печень, легкие, сердце, головной и костный мозг, глаза, сухожилия, хрящи, почки, кровь, вершушки пантов (опаленные на огне) и т.д. Оленеводством поддерживается здоровье коренных малочисленных народов севера [85]. Дикие северные олени (рис. 21.16), как и домашние, кормятся на природных пастбищах и преимущественно мхом-ягелем (рис. 21.17), проходя за год до 4 500 км в поисках пищи. Весной, когда снег покрывается настом и олени не могут достать ягель, они начинают кормиться мхом-бородачем, свисающим с ветвей елок. Домашние олени в поисках корма уходят на десятки километров от стоянки, и тогда трудно отыскать их и вернуть к чуму оленевода [124]. Стада оленей безбоязненно пересекают водные пространства в километр и более (рис. 21.18). Но именно в воде они наиболее незащитны, чем всегда пользовались люди.

Из-за сильных ветров над поверхностью водохранилищ на их замерзших зимой акваториях бывает очень мало снега (см. рис. 13.15). Из-за этого дикие копытные животные, попадая на гладкий и скользкий лед, оказываются беспомощными. В зоне Зейского, Колымского и других водохранилищ этим пользуются стаи волков, сделавшие выгон добычи на лед своим основным охотничьим приемом [536].

Период стабилизации биогеоценозов в зонах влияния водохранилищ наступает по истечении первого десятилетия их существования. Плотность животного населения на побережьях постепенно выравнивается и далее колеблется сообразно природным циклам [5; 262].

21.3. Водные растения и животные в водохранилищах

Водные растения в целом составляют 8 % общего числа видов растенной биосферы, а водные животные – 7 % общего числа видов животных. Соотношение их по группам показывают данные ревизии населения р. Волги (табл. 21.2).

Таблица 21.2

Видовой состав населения р. Волги [121]

Группы растений и животных	Число видов	Группы растений и животных	Число видов
Водоросли	1 018	Кольчатые черви	94
Высшие растения	342	Моллюски	126
Простейшие животные	334	Щупальцевые	12
Губки	6	Членистоногие	936
Кишечнополостные	5	Круглоротые	2
Плоские черви	243	Рыбы	83
Первичнополостные	482	Всего	3683

В водохранилищах каждый вид растений и животных занимает определенное местообитание, отвечающее потребностям развития, питания, роста и размножения организмов данного вида. К факторам среды, лимитирующим жизнедеятельность, относятся проточность, температура, прозрачность воды, концентрация в ней углекислоты и кислорода, побочных химических веществ, растительной и животной пищи, состояние донных грунтов и др.

Наибольшим видовым разнообразием в водохранилищах отличается литоральная зона – мелководные участки, в которых свет проникает до дна (рис. 21.19). В этой зоне в основном обитают все высшие растения, наиболее обилен перифитон (обрастатели) и больше всего придонных обитателей (бентос), многие из которых зарываются в грунт, питаясь корнями водных растений. В воде между растениями проходит жизнь мелких рачков, колероваток, различных одноклеточных. Встречаются моллюски на растениях: прудовики с заостренными раковинами и плоские катушки. На дне обитают пресноводные моллюски: беззубки и перловицы, дрейссены, маленькие шаровки и горошинки. Еще мельче ярко окрашенные водяные клещи. Вблизи берега кормятся и мечут икру большинство рыб, живущих в водохранилище. К сообществу литорали принадлежат разнообразные насекомые: водяные клопы, жуки-плавунцы, водяные жуки, личинки поденок, стрекоз,

ручейников и комаров (рис. 21.20). В прибрежной зоне встречаются тритоны, лягушки, а также многие птицы, кормящиеся у берегов или устраивающие тут гнезда.

В толще воды – пелагиали – выделяется зона освещенности, идущая до глубины, на которую проникает приблизительно 1% солнечного света. Это зона активной жизнедеятельности фито- и зоопланктона и питающихся ими животных, где видовое разнообразие достаточно велико.

Наименьшее видовое разнообразие отмечается в профундальной зоне – на дне и в толще воды над ним, куда почти не проникает солнечный свет [112].

Наиболее видимы на акваториях водохранилищ заросли макрофитов. К сообществу макрофитов относятся высшие (цветковые) и низшие (крупные водоросли) водные растения. В больших равнинных водохранилищах площади зарастания макрофитами сравнительно малы, но заметно повышение активности зарастания мелководий от лесной к лесостепной и степной зонам.

На Шекснинском водохранилище площадью зеркала 1670 км² зарастающие мелководья занимают 318 га [121]. Среди волжских водохранилищ наибольшие площади макрофитных зарослей находятся в Иваньковском (76,4 км²) и Рыбинском (58 км²). В заливах Иваньковского водохранилища (рис. 21.21) отмершие растения образуют на поверхности воды сплавины и накапливаются на дне. В результате происходит заболачивание, а затем превращение участков водохранилища в сушу, зарастающую сначала влаголюбивой ивой, затем березовым, а потом и еловым лесом. Через 20 лет после заполнения Рыбинского водохранилища заросли его акватории на 57 км² включали: настоящие водные растения (гидрофиты) – лютики, роголистники, кувшинки, кубышки, уруть, водокрас, телорез, рдесты, ряску; земноводные растения (гелофиты) – камыш, тростник, рогоз, ситняг, манник, ежеголовик, стрелолист, горец земноводный, хвощ приречный и др. [112]. На Горьковском водохранилище в 2010 г. водными зарослями было покрыто 27 км² акватории в заливах при устьях впадающих рек [231]. На юге России в бассейне р. Дона Манычские водохранилища постройки 1930-х гг. заросли камышом и тростником, которые заполняют заливы, 200-метровую приурезовую зону, растут островами, оставляя свободным лишь судовой ход [128].

Значительные в процентном отношении площади зарастания наблюдаются в малых водохранилищах со стабильными уровнями воды, благоприятными для вегетации макрофитов.



Рис. 21.19. Зарастающее мелководье на Горьковском водохранилище в подпертом устье р. Шомохты. 2009 г.

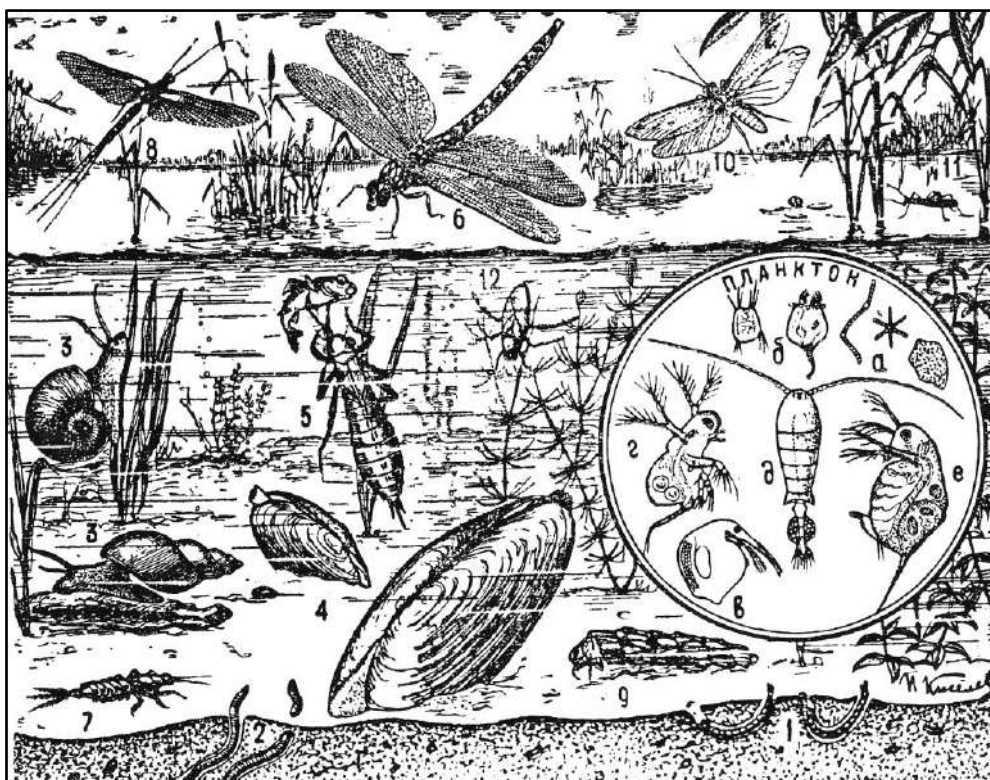


Рис. 21.20. Насекомые, бентос и планктон Иваньковского водохранилища: 1 – хирономиды; 2 – черви; 3 – моллюски; 4 – двустворчатые моллюски; 5 – личинка стрекозы; 6 – стрекоза; 7 – личинка поденки; 8 – поденка; 9 – личинка ручейника; 10 – ручейник-бабочка; 11 – водомерка; 12 – гладыш и планктон: а – микроскопические водоросли; б – коловратки; в – беосмина; г – полифемус; д – циклоп; е – дафния [65]



Рис.21.21. Мелководный Обуховский залив Иваньковского водохранилища, 1968 г.: площадь залива 213 га, площадь зарослей высшей водной растительности 130 га [92; 673]

В макрофитных прибрежных биоценозах происходит самоочищение воды водохранилищ. Макрофиты являются нерестовым субстратом для наиболее массовых видов рыб, убежищем и местом нагула рыбной молоди в водохранилищах.

ГЛАВА 22. ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩ

Все стороны деятельности человечества влекут те или иные формы загрязнения окружающей среды: увеличение содержания вредных веществ (химическое загрязнение), чрезмерное повышение температуры (тепловое), шума (шумовое), радиоактивности (радиоактивное загрязнение) и т.д. Причина загрязнения – неудержимый марш прогресса. Размеры загрязнения иногда столь велики, что естественные процессы метаболизма и разбавляющая способность атмосферы и гидросферы бывают не в состоянии нейтрализовать вредное влияние человеческой деятельности.

В России, к примеру, ежегодно образуется около 400 тыс. т опасных (I и II классов) отходов, из которых только 1,5 % обезвреживается на существующих объектах [РФ, 2019. – №7]. На 11 тыс. мусорных полигонов общей площадью 800 тыс. га ежегодно свозится более 60 млн т бытовых отходов, из которых перерабатывается 6 – 8 % и которых накопилось 82 млрд т [АиФ, 2014. 5 – 11.XI]. Сообщалось, что в прибрежной зоне Северного Ледовитого океана валяются до 4 млн т промышленных и строительных отходов и до 12 млн штук железных бочек, а неорганизованные свалки по всей стране в 2017 г. занимали 4,0 млн га территории. В 2020 г. Счетная палата насчитала 916 таких свалок на территории российских городов.

Но это не навсегда. Нацпроектом «Экология» в ближайшие 4 года решено ликвидировать 191 свалку. Запланировано, чтобы до 2024 г. заработали 250 объектов для переработки 36 % твердых бытовых отходов, а не 7 % как сейчас, и т.п. Проект ведут сетевые АО «Управление отходами» из г. Москвы. Процесс будет перманентным [АиФ, 2020. – №43, №44].

Ниже показано состояние водохранилищ России в современной окружающей среде в части загрязнения воды и донных отложений – в общих чертах, оставляя подробности за аналитиками узкой специализации.

22.1. Качество воды в водохранилищах

Загрязнители воды и показатели ее качества. Качество воды в реках и водохранилищах определяется как физические, химические и биологические характеристики воды, необходимые для обеспечения желаемого вида ее использования. Оно важно как для водопользователей, так и для водных экосистем [109].

В Российской Федерации качество воды, на которое влияют многочисленные факторы (рис. 22.1), оценивается в соответствии со стандартами [553; 554] в зависимости от использования водоема: хозяйственно-питьевое, рыбохозяйственное или культурно-бытовое. При стандартном анализе определяются прозрачность, мутность, минерализация, содержание растворенного кислорода O_2 в воде (чем выше O_2 , тем лучше биологическое состояние водоема). Нормативы по химическому загрязнению одинаковы для всей страны и представляются в виде предельно допустимых концентраций (ПДК) различных элементов. Многие ПДК являются более строгими, чем соответствующие показатели в странах ЕС. Для того, чтобы избежать необходимости учитывать большое количество параметров качества воды, оценка производится также с использованием интегрированного показателя – индекса загрязненности вод (ИЗВ). Определение ИЗВ (табл. 22.1) проводится статистическим методом на базе двух обязательных (биохимическое потребление кислорода – БПК; содержание растворенного кислорода O_2) и других критических показателей загрязненности (КПЗ), выбираемых в зависимости от ситуации, и применяется Росгидрометом [391].

Таблица 22.1

Классификация качества воды водотоков по индексу загрязненности воды (ИЗВ) [391]

Класс	Разряд	ИЗВ (без учета числа КПЗ)	Характеристика состояния загрязненности воды
1-й		1	Условно чистая
2-й		1; 2	Слабо загрязненная
3-й		2; 4	Загрязненная
	«а»	2; 3	загрязненная
	«б»	3; 4	очень загрязненная
4-й		4; 11	Грязная
	«а»	4; 6	грязная
	«б»	6; 8	грязная
	«в»	8; 10	очень грязная
	«г»	8; 11	очень грязная
5-й	5-й	11; ∞	Экстремально грязная

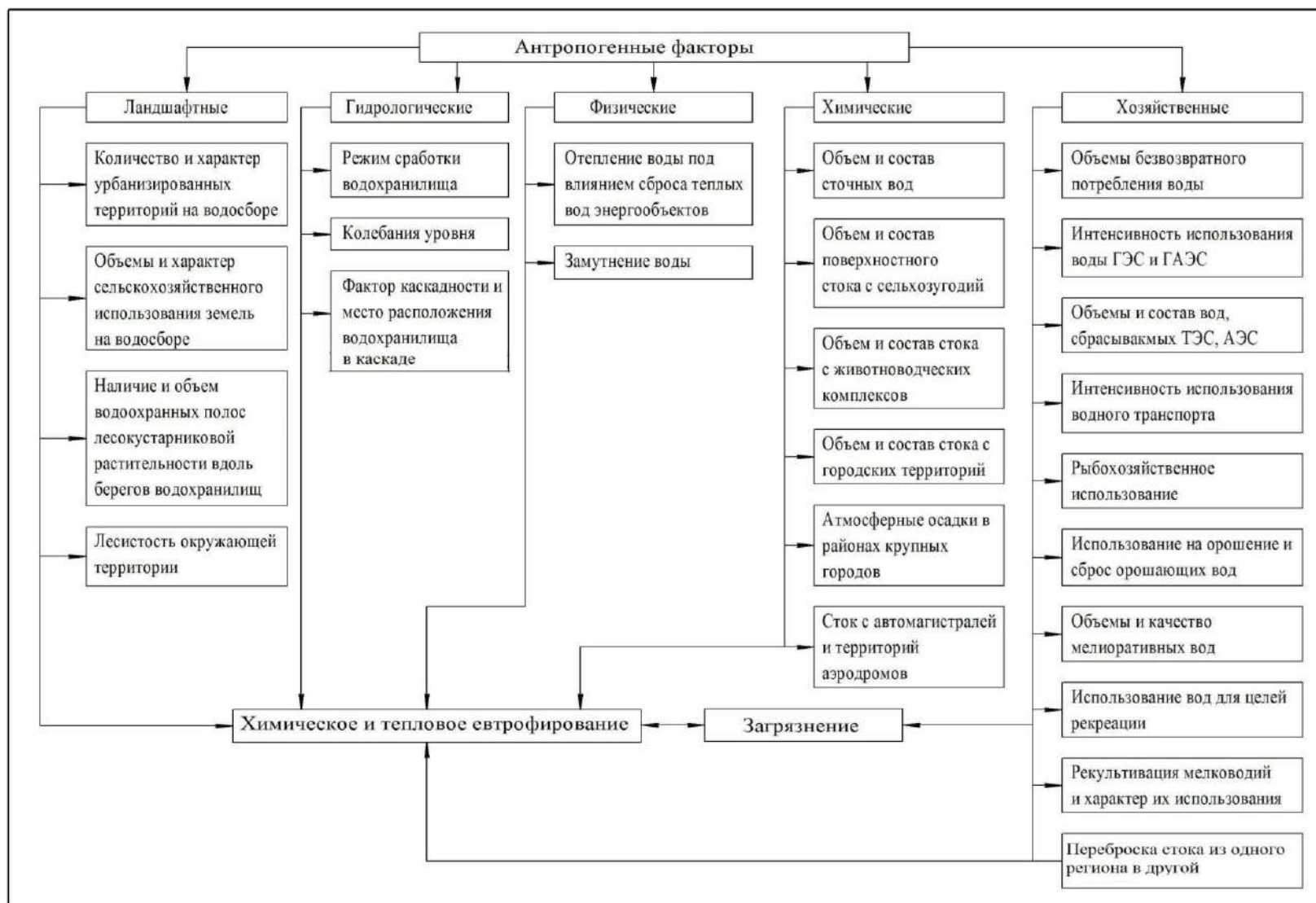


Рис. 22.1. Антропогенные факторы влияния на качество воды в водохранилищах [122]

Река или водохранилище, которые в России по индексу ИЗВ относят к загрязненным, в Западной Европе, возможно, считались бы весьма здоровыми [109].

Применяется еще эколого-санитарная классификация качества поверхностных вод по микробиологическим показателям. Классы качества воды по ней аналогичны классам, определяемым по физико-химическим показателям (ИЗВ) [420].

В воде водохранилищ как основные загрязнители выделяются органические соединения, нефтепродукты, фенолы, поверхностно-активные вещества, тяжелые металлы [109; 420].

Биохимическое потребление кислорода (БПК) является мерой содержания в воде легкоокисляемых органических веществ: чем выше БПК, тем больше содержание в воде органики. Если органическое вещество поступает со сточными водами, то БПК является мерой загрязнения. В целом, чем ниже БПК, тем лучше. Согласно российским нормативам для водоемов рыбохозяйственного назначения содержание органических веществ по БПК не должно превышать 2 мг/л. Для сравнения: в Европейском союзе нормативные значения БПК для природных водоемов и рек рыбохозяйственного назначения равняются 3 – 6 мг/л.

ХПК (химическая потребность в кислороде) является еще одной величиной, характеризующей суммарное содержание в воде органических веществ. Диапазон величин ХПК, наблюдаемых в водоемах мира, составляет от 20 мг O_2 /л или менее в незагрязненных водах до более 200 мг O_2 /л в водах, куда сбрасываются неочищенные стоки.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) содержания нефтепродуктов для водоемов хозяйственно-питьевого назначения в России равна 0,1 мг/л. В других странах используются другие нормативы: например, во Франции 0,01 – 0,3 мг/л в зависимости от реки и ситуации. Нефть в таких малых концентрациях не опасна для здоровья людей, но может придавать воде неприятный вкус и запах.

Не исключен техногенный риск негативного влияния на экосистемы водохранилищ аварийных разливов нефтепродуктов (табл. 22.2). Особенно опасен разлив нефтепродуктов для малых водохранилищ. Например, в марте 2007 г. в Нижегородской области произошел выброс дизельного топлива из продуктопровода Уренгой-Альметьевск, которое попало в р. Шавку и через водоподающие каналы во все пруды расположенного на ней рыбхоза «Борок». Пруды площадью более 200 га, выполнившие роль отстойников,

предотвратили дальнейшее растекание нефтепродукта по речной системе до Чебоксарского водохранилища, но функционирование рыбхоза было прервано на неопределенно долгий срок.

Таблица 22.2

Расчетные характеристики аварийных разливов нефтепродуктов на спокойной воде за 2-часовой интервал времени [198]

Нефтепродукт	Радиус пятна*, м	Скорость** растекания, м/с
Мазут	7 – 2155	0,001 – 0,3
Дизельное топливо	17 – 5154	0,002 – 0,7
Бензин	19 – 5894	0,003 – 0,8

* При объеме разлива от 0,1 до 10 000 м³.

** При температуре воды 0° и 20 °С.

Специфический вид загрязнения представляют синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), используемые в быту и промышленности как моющие средства и вызывающие образование пены на водохранилищах при ветровом волнении [112].

В перечень загрязняющих веществ, которые поступают в водохранилища со сточными водами, входят также фосфор общий, азот аммонийный, нитритный и нитратный, соединения меди, железа, цинка и др. [707].

Взять, к примеру, фосфор. В малых количествах это ценное питательное вещество, способствующее росту растений. Но в больших количествах это яд. В высокотоварном сельском хозяйстве поля удобряют большим количеством фосфора, а насыщенные этим веществом стоки с ферм отравляют реки, озера, водохранилища, уничтожая водную флору и фауну [688].

В СМИ промелькнула информация, что по рекомендации МВФ в Россию намереваются купить из Германии и применить для уничтожения вредного растения-переселенца борщевика, расплодившегося на 60 млн га, яд «Раундап», который в Европе и США запрещен, а ранее применялся для опрыскивания джунглей во время вьетнамской войны [АН, 2019. – №41]. Если так, то не прибавится ли ядов с полей в водохранилищах ЕТР?

Качество воды поверхностных водных объектов российской суши. В ГГИ по данным Росгидромета проводилось комплексная оценка качества воды поверхностных водных объектов на территории 7 федеральных округов и входящих в них субъектов Федерации за 2000 – 2005 гг. Качество воды распределили по 5 классам от «условно чистой» до «экстремально грязной» [391] и для наглядности отобразили на соответствующих картах. Общая картина получилась довольно пессимистичной: «условно чистая вода» 1 класса

качества имеется только в Иркутской области, где расположено оз. Байкал; общий фон составляют «слабо загрязненная» (2 класс), «загрязненная» (3 класс) и «грязная» (4 класс) воды. Отмечено, что улучшения качества воды не происходит десятилетиями [117].

В табл. 22.3 приведены значения некоторых характеристик качества воды российских водохранилищ, определенных стандартным анализом примерно в те же годы [112]. Тут больше поводов для оптимизма.

Таблица 22.3

Прозрачность, мутность, минерализация и содержание растворенного кислорода в основной водной массе водохранилищ России [112]

Водохранилище	Характеристики основной водной массы				
	Прозрачность, м	Мутность, мг/л	Минерализация, мг/л	Содержание кислорода	
				мг/л	% насыщения
Иваньковское	1,2	25	154 – 334	0,9 – 11,0	6 – 90
Угличское	2,2	60	119 – 515	–	64 – 100
Рыбинское	3,2	10	77 – 318	7,0 – 11,6	43 – 92
Горьковское	2,9	8	131 – 237	7,2 – 12,5	49 – 104
Куйбышевское	1,9	35	132 – 479	4,2 – 10,2	34 – 96
Саратовское	1,6	–	242 – 365	4,9 – 17,3	35 – 144
Волгоградское	1,7	–	182 – 421	5,5 – 17,4	58 – 123
Камское	4,0	14	105 – 465	3,7 – 10,2	25 – 95
Воткинское	2,2	6	105 – 625	0,5 – 13,0	3 – 125
Цимлянское	6,4	8	184 – 394	6,9 – 14,9	48 – 161
Новосибирское	2,3	10	133 – 210	5,1 – 12,4	36 – 120
Иркутское	7,5	–	93 – 98	8,9 – 14,0	76 – 119
Братское	8,0	20	104 – 144	6,4 – 14,0	55 – 110
Красноярское	6,0	18	132 – 210	7,4 – 13,1	68 – 100
Саяно-Шушенское	–	–	87 – 146	8,1 – 12,0	–
Вилуйское	–	–	60 – 84	3,5 – 9,9	26 – 90
Колымское	–	–	60 – 213	1,6 – 15,4	12 – 156

Замедленный водообмен в водохранилищах сопровождается улучшением таких характеристик воды, как прозрачность, цветность, содержание взвешенных веществ.

Недостижимым по чистоте и прозрачности воды является озеро Байкал (рис. 22.2). В сибирских водохранилищах (Братское, Красноярское) прозрачность воды по белому диску составляет летом 6 – 8 м, в водохранилищах Волжско-Камского каскада варьирует от 1,2 до 4,0 м.

Основные водные массы российских водохранилищ характеризуются малой мутностью, при которой большую часть года концентрация

взвешенных веществ не превышает 10 мг/л. В р. Волге до строительства водохранилищ среднее значение мутности воды составляло у г. Ярославля 35 – 40 мг/л, ниже впадения р. Камы 100 – 110 мг/л. Волжские водохранилища, выполняя роль отстойников механических примесей, уменьшили мутность воды в несколько раз [420].

Наименьшей минерализацией (< 100 мг/л) и мягкой водой отличаются водохранилища в области распространения вечномерзлых грунтов (Вилуйское, Колымское), а также Иркутское (речная часть), питающееся водой из оз. Байкал.

В большинстве водохранилищ кислородный режим гораздо более благоприятен для гидробионтов, чем во многих реках. Даже в самых глубоких водохранилищах (Братском, Красноярском) в продолжительный период ледостава минимальное насыщение кислородом придонных слоев основной водной массы составляет свыше 50 %. В водохранилищах европейской части страны, загрязненных сильнее, наименьшие концентрации кислорода редко опускаются ниже летнего ПДК (6 мг/л) и только на локальных участках Иваньковского и Воткинского водохранилищ наблюдался дефицит кислорода [112]. По оценкам лимнологов, если бы не водохранилища, зимой вода в современных Волге и Каме была бы лишена кислорода, что привело бы к заморам рыб, как происходило до создания каскада, например в 1939 / 1940 г., но более обширным [29].

Бассейн реки Волги. Из всех больших рек России бассейн р. Волги отличается наибольшим водозабором из поверхностных водных объектов и сбросом в них сточных вод как по абсолютным значениям, так и по отношению к водному стоку (см. табл. 2.5). Особенно заметно превосходство по сбросам загрязненных стоков, которые в результате забирает р. Волга (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Средние многолетние (1985 – 2015 гг.) показатели суммарных годовых сбросов загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты на водосборе р. Волги в сопоставлении с другими реками [707]

Бассейн реки	Средний многолетний годовой сток, км ³ / год	Сбросы загрязненных сточных вод, км ³ / год	Отношение сбросов загрязненных сточных вод к водному стоку, %
Волга	250	7,693	3,08
Северная Двина	104	0,410	0,39
Печора	114	0,030	0,03
Обь	412	2,551	0,62
Енисей	614	1,488	0,24
Лена	562	0,104	0,02

Отрадно, что в многолетней динамике объемов сбросов загрязняющих веществ со сточными водами в водные объекты бассейна р. Волги прослеживается тенденция сокращения по всем показателям (рис.22.3) [707].

Волжско-Камский каскад водохранилищ. В 1995 – 2000 гг. в водохранилищах Волжско-Камского каскада с качеством воды по данным Росгидромета наблюдалась следующая ситуация [109; 420].

Среднегодовые значения ХПК часто превышали ПДК для рыбохозяйственных водоемов (15 мг/л), поднимаясь до 40 мг/л (р. Кама в 6,6 км ниже г. Сарапула), но в целом не были слишком высоки. Значения БПК в воде были часто выше 2 мг / л, но не превышали 4,5 мг / л (рис. 22.4А). Концентрация нефтепродуктов водохранилищах была обычно ниже 0,2 мг/л, но в отдельных случаях наблюдалось более высокое содержание, например, среднегодовая концентрация нефтепродуктов в Чебоксарском водохранилище в 1996 г. составляла 0,99 мг/л (рис. 22.4 Б). Ситуация с концентрацией СПАВ находилась удовлетворительной, за исключением Чебоксарского, Нижнекамского и Куйбышевского водохранилищ в 1996 г. (рис. 22.4 В). В большинстве водохранилищ каскада вода имела повышенную по сравнению с ПДК концентрацию ионов металлов [109]. Сравнительные данные о концентрациях загрязняющих веществ в воде зарегулированных рек Волги и Рейна, выведенные немецкими учеными (табл. 22.5) показывали, что только содержание растворенного органического углерода (РОУ) в первой реке выше, чем во второй. РОУ является суммарным показателем содержания в воде органических веществ. В целом же качество воды в р. Волге было значительно лучше, чем в основной реке Западной Европы [109].

Таблица 22.5

Сравнительные данные о концентрациях загрязняющих веществ в воде рек Волги и Рейна [109]

Вещества	Концентрации, мг/л	
	р. Волга	р. Рейн
Растворенный органический углерод (РОУ)	8,5	2,3
Аммонийный азот (по N)	0,2	0,25
Общий фосфор	0,2	0,17
Нитраты (по N)	0,5	3,2
Кадмий (Cd)	0,03	0,07
Хром (Cr)	0,3	3,8
Медь (Cu)	27	5,3
Никель (Ni)	2,6	3,5
Свинец (Pb)	0,8	1,9
Цинк (Zn)	34	23



Рис. 22.2 Вода оз. Байкал, уникальная своей самоочисткой и просматривающаяся весной на 40 м вглубь [241]

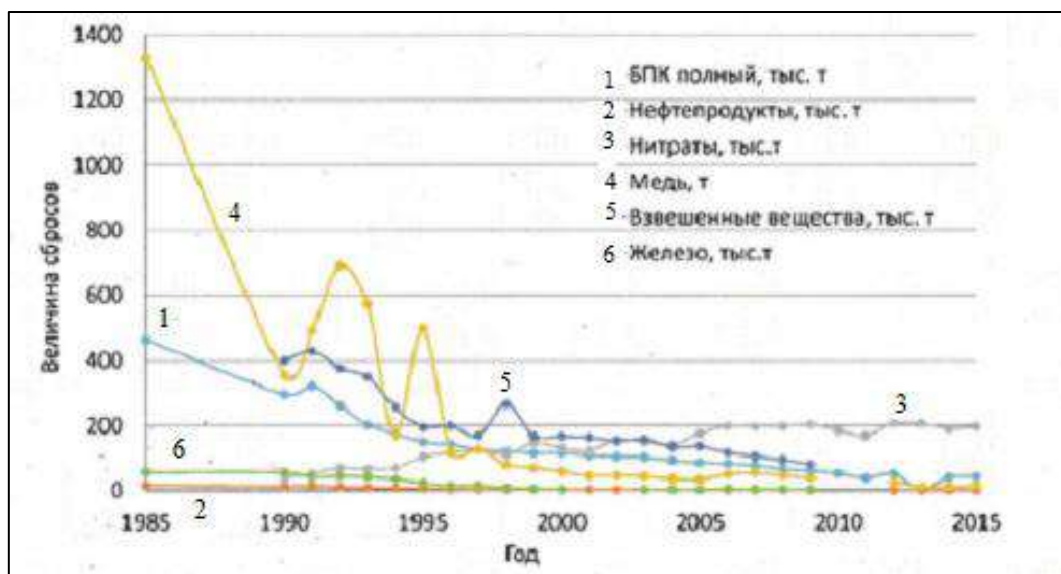


Рис. 22.3. Многолетняя изменчивость сбросов загрязняющих веществ со сточными водами на водосборе р. Волги [707]

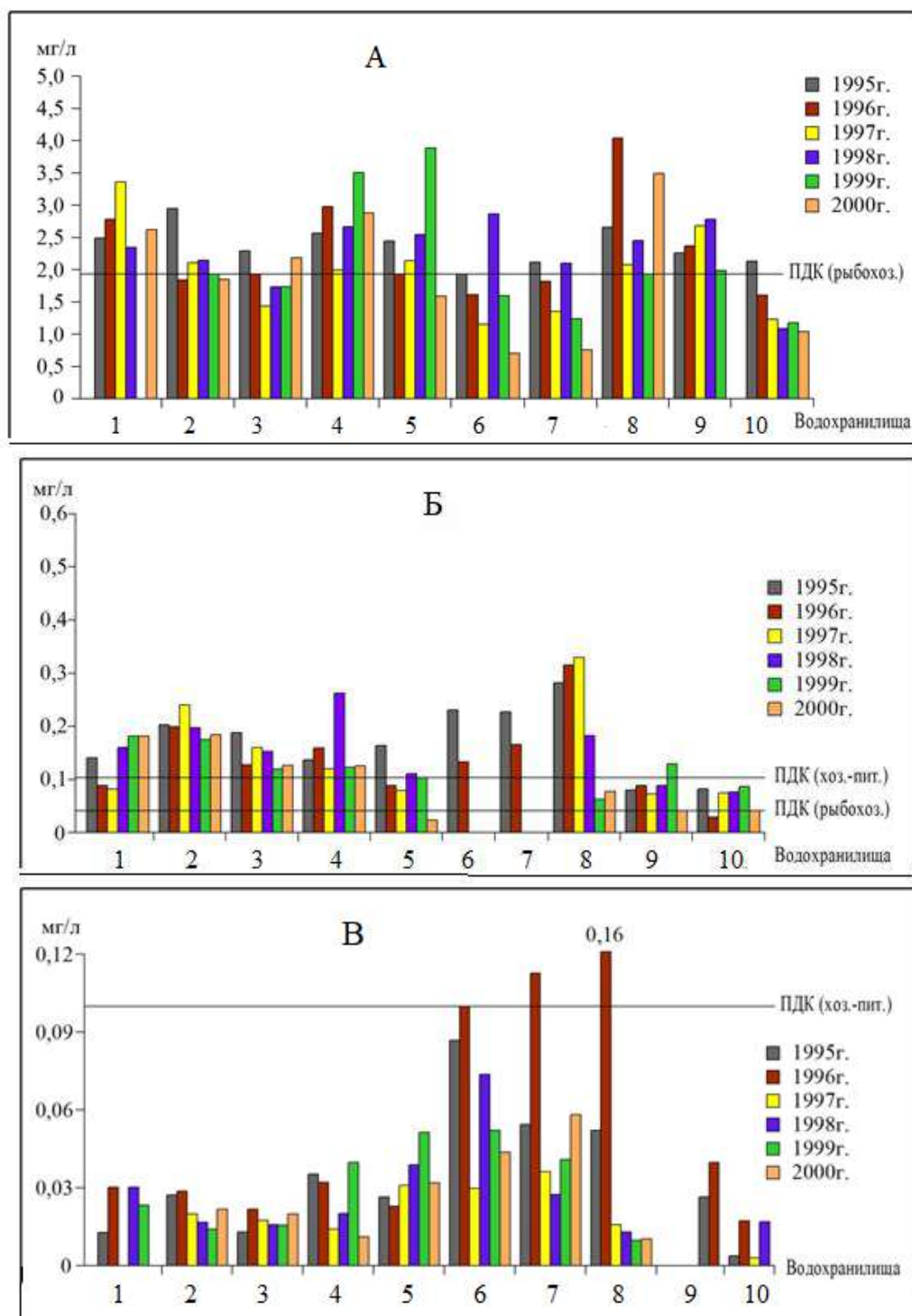


Рис. 22.4. Среднегодовое содержание органических веществ по БКП₅ (А), концентрация нефтепродуктов (Б) и концентрация СПАВ (В) в воде водохранилищ Волжско-Камского каскада (1995 – 2000 гг.):

- 1 – Ивановское, 0,3 км ниже г. Конакова;
- 2 – Угличское, 2 км ниже г. Углича;
- 3 – Рыбинское, около плотины Рыбинского гидроузла;
- 4 – Горьковское, 4 км выше г. Чкаловска;
- 5 – Чебоксарское, 4,2 км ниже г. Нижнего Новгорода;
- 6 – Чебоксарское, у г. Чебоксары 1,5 км выше ГЭС;
- 7 – Куйбышевское, 3 км ниже г. Новочебоксарска;
- 8 – Нижнекамское, 0,5 км выше с. Каракулино;
- 9 – Саратовское, в районе г. Балаково;
- 10 – Волгоградское, у с. Красный Яр [420]

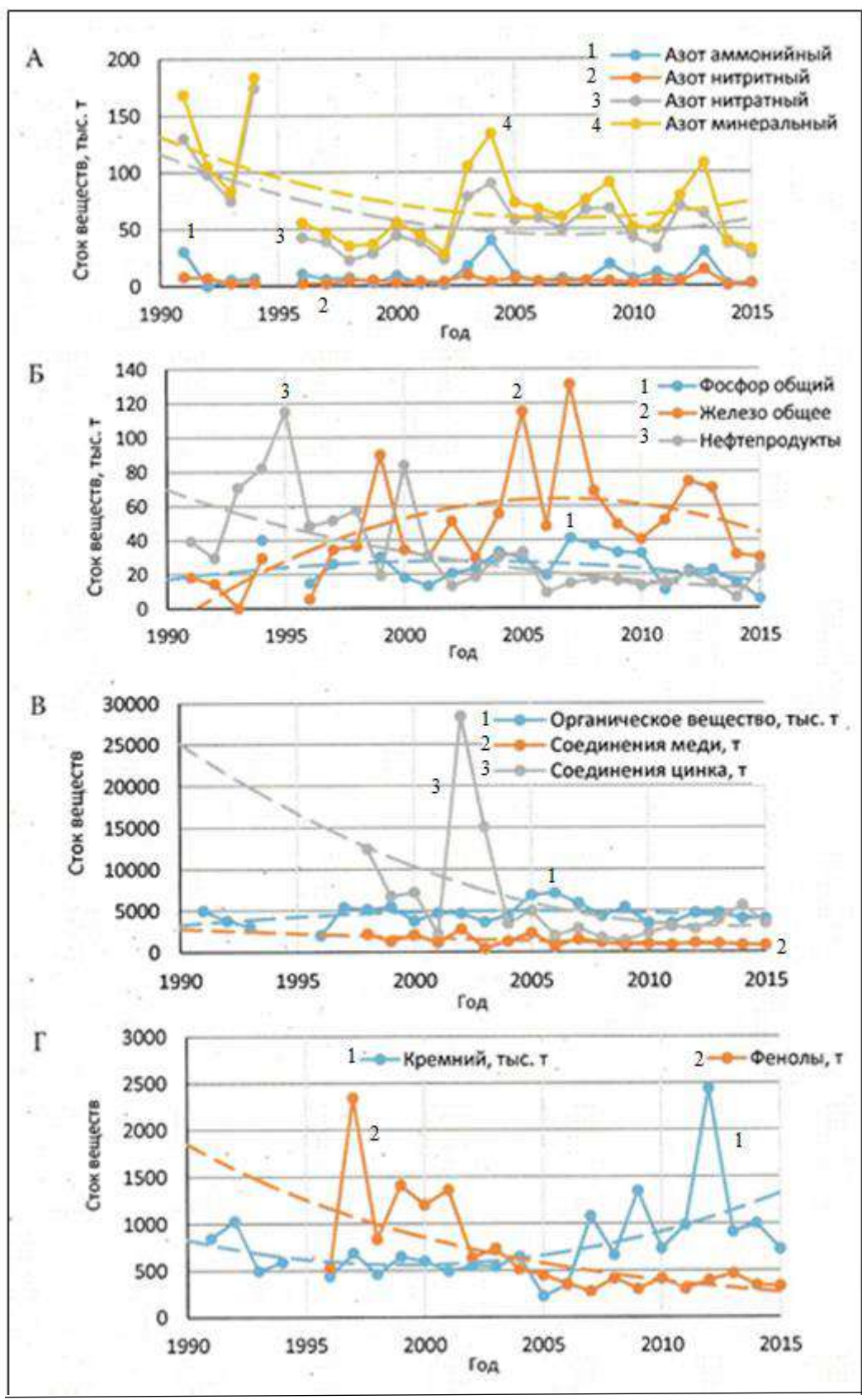


Рис. 22.5 Многолетняя изменчивость стока веществ в замыкающем створе Верхнее Лебяжье на р. Волге: штриховыми линиями на графиках обозначены выявленные тренды [707]

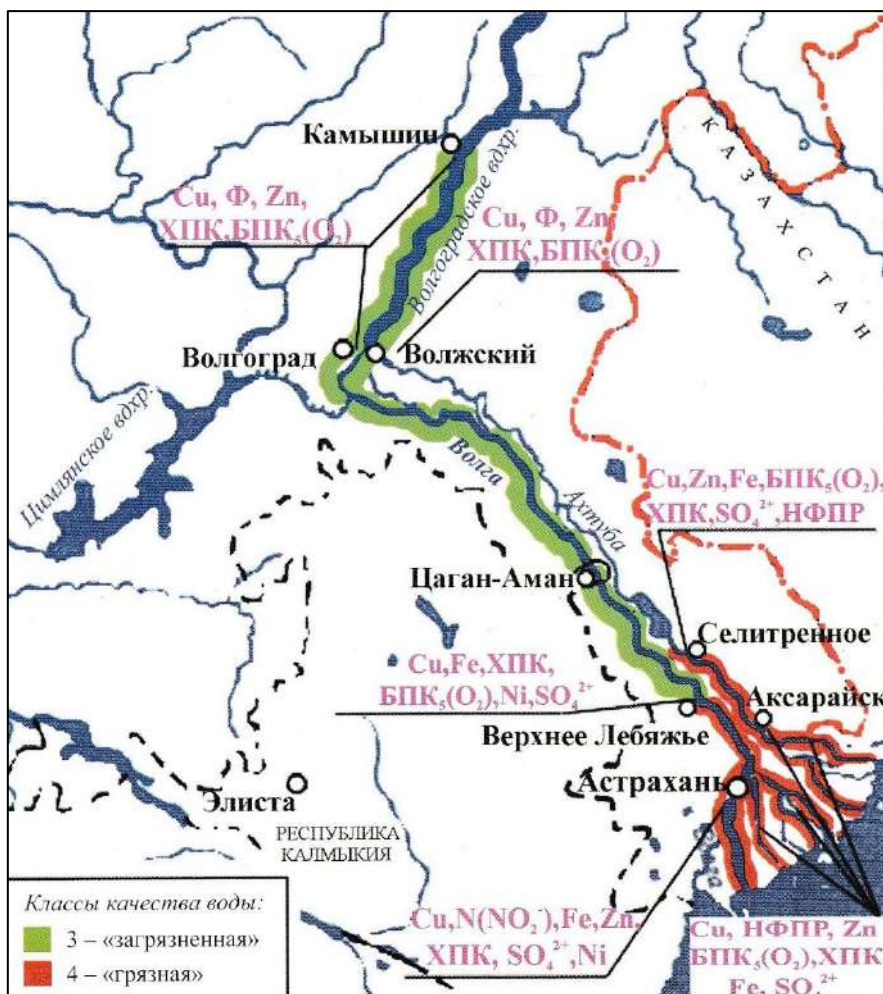


Рис. 22.6. Качество воды Волгоградского водохранилища и участка р. Волги ниже него в 2011 г. [434]



Рис. 22.7. Качество воды Цимлянского водохранилища в 2014 г. [358]

На основании сведений из официальных справочных изданий Росгидромета за 1985 – 2015 гг. в Институте географии РАН анализировались гидрохимические показатели воды р. Волги в замыкающем створе Верхнее Лебяжье, которые рассматривались в качестве характеристик, имеющих многолетнюю изменчивость, в неявном виде отражающую динамику сбросов загрязняющих веществ на водосборе (рис. 22.5). Выявлены определенные тенденции (тренды), обусловленные природными и антропогенными факторами: сток нефтепродуктов, фенолов, соединений меди и цинка сокращался в течение всего исследованного периода; по стоку фосфора и железа до 2005 – 2007 гг. отмечен рост, затем уменьшение; изменчивость стока кремния зеркально отражает ход годового водного стока. При этом снижение показателей водохозяйственной деятельности почти не отражается на гидрохимических характеристиках воды, качество которой в створе Верхнее Лебяжье стабильно держится в классе 3 «загрязненная» [707].

Волгоградское водохранилище – нижнее в Волжско-Камском каскаде (рис. 22.6). Его особенностью является однородность химического состава воды по глубине и акватории, объясняемая многократным годовым водообменом и динамичностью водных масс под воздействием ветровых течений. Водоохранилище относится к водным объектам средней минерализации в пределах 228 – 355 мг / л. Вода в большинстве режимных створов в 2011г. характеризовалось 3 классом как «загрязненная» [434; 707].

Напряженная экологическая обстановка сложилась на свободном участке р. Волги ниже г. Волгограда и, особенно, у г. Астрахани, где вода соответствует 4 классу как «грязная» (см. рис. 22.6) [434; 707].

Следуя приведенным данным официально р. Волга считается загрязненной рекой. Тем не менее, качество воды волжских водохранилищ заметно ухудшается лишь в пределах сравнительно небольших по площади ареалов, прилегающих к местам сосредоточенных выпусков сточных вод. На остальной акватории водохранилищ вследствие многократного разбавления сточных вод и активизации жизнедеятельности водных организмов, обусловленной эвтрофированием, загрязняющие вещества современными методами контроля качества воды не обнаруживаются [112]. Данные исследований показывают, что вода водохранилищ является бета-мезосапробной, т.е. не имеющей запаха, прозрачной, с богатой подводной растительностью, необходимой для жизни рыб. Качество воды не идеальное, но оно не может считаться плохим [109;721].

Цимлянское водохранилище. В такой же экологической ситуации, что водохранилища Волги, пребывает Цимлянское водохранилище на р. Дону, испытывающем большую антропогенную нагрузку, особенно в нижнем течении. По оценке 2011 г. Цимлянское водохранилище было наиболее загрязнено у ст. Ложки и хут. Красноярский, где вода характеризовалась 4 классом качества как «грязная» [434]. К 2014 г. ее качество у ст. Ложки улучшилось до 3 класса (рис. 22.7). На остальных исследованных участках водохранилища вода соответствует 3 классу – «загрязненная» [358; 434].

Выход из положения. Понятно, что качество воды водохранилищ, особенно на европейской территории страны, оставляет желать лучшего. О выходе из положения цитируем члена-корреспондента РАН А.М. Никанорова: «только системное переустройство водохозяйственного комплекса Российской Федерации в целом... с целью оптимизации использования водных объектов может привести к экологическому оздоровлению рек и водохранилищ... России... и будет способствовать улучшению качества поверхностных вод» [433; 434].

А пока (в 2019 г.) в соответствии с Федеральным законом «Об охране окружающей среды» [662] Правительство Российской Федерации утвердило «Правила отнесения водных объектов к категориям водных объектов для целей установления технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов» [498], согласно которым Федеральное агентство водных ресурсов разделит все водоемы страны на 4 категории от самых чистых (А) до наиболее загрязненных (Г) и начнет новое регулирование. За сложной формулировкой правил кроется важная экологическая и финансовая составляющая. Временных рамок для реализации нововведения нет. В 2019 г. принят также новый закон «Об экологической экспертизе» [663], под который подпадают все лица, «планирующие осуществлять хозяйственную или иную деятельность, оказывающую прямое или косвенное воздействие на окружающую среду» [АН, 2019. – №38]. С помощью этих законов и правил ситуацию с загрязнением рек и водохранилищ направят к улучшению.

22.2. Эвтрофирование водохранилищ и «цветение» воды

По условиям существования для растений и животных стоячие (слабо-

проточные) водоемы делят на три типа: олиготрофные – бедные кормовыми ресурсами; мезотрофные – со средними запасами кормов; эвтрофные (политрофные) – имеющие богатые кормовые ресурсы.

Эвтрофированием называется процесс обогащения водоема питательными веществами, главным образом биогенными элементами (азот, фосфор, калий, кремний и др.), которые повышают биопродуктивность, при этом меняется видовой состав биологических сообществ, нарушается устойчивость трофических связей. Избыточное эвтрофирование приводит к перегрузкам экосистемы, что ведет к ее упрощению, нарушению устойчивости, ухудшению качества воды и снижению выхода полезной биологической продукции [541].

Процесс эвтрофирования происходит и в естественных условиях, но во много раз быстрее в условиях антропогенных воздействий. Для наиболее чистых олиготрофных и мезотрофных водоемов (рис. 22.8) характерно отношение содержания азота к фосфору (30 – 40)/1, для эвтрофных оно снижается до (20 – 25)/1, для гиперэвтрофных – до (10 – 15)/1, что подчеркивает определяющую роль фосфора в эвтрофировании. Основное количество фосфора в поверхностные водные объекты поступает из канализационных систем городов. Поэтому часто эвтрофными становятся небольшие водохранилища, расположенные в пригородных зонах (рис. 22.9).

В воде внутренних водоемов присутствуют мельчайшие растения размером до 30 – 50 мкм – наннопланктон, состоящий преимущественно из диатомовых водорослей, а также более крупный так называемый сетной фитопланктон, состоящий из пиррофитовых, синезеленых и др. водорослей. В результате преимущественного развития сетного фитопланктона возникает «цветение воды», т.е. накопление большой массы этой группы фитопланктона, взвешенного в воде детрита (отмерших клеток сетного планктона) и избыточной массы окисляющих детрит бактерий. Такое изменение экологического состояния водных объектов проявляется в увеличении концентрации автохтонных взвешенных органических веществ в воде с появлением в ней неприятных запахов, привкуса, токсикантов, выделяемых скоплениями синезеленых водорослей, и, как следствие, в снижении видового разнообразия водных организмов, включая рыб.

О степени цветения водного объекта судят по величине биомассы фитопланктона B : при $B = 0,5 - 0,9 \text{ г/м}^3$ – слабое цветение, при $B = 1,0 - 9,9 \text{ г/м}^3$ – умеренное, при $B = 10 - 99 \text{ г/м}^3$ – интенсивное, при $B > 100 \text{ г/м}^3$ – гиперцветение.

Сводка данных, приведенная в табл. 22.6, позволяет получить предста-

вление о степени цветения водохранилищ. Согласно средним значениям B все водохранилища, включенные в табл. 22.6, являются водоемами с умеренным цветением. Интенсивное цветение ($B > 10 \text{ г/м}^3$) зафиксировано в некоторых из них как сугубо локальное или кратковременное. Оно чаще всего возникает в виде скоплений фитопланктона (рис. 22.10), переносимых дрейфовыми течениями к наветренным берегам. В наиболее проточных волжских водохранилищах (Угличском, Куйбышевском, Саратовском) и в глубоководных сибирских водохранилищах (Братском, Усть-Илимском, Красноярском) диатомовые водоросли наннопланктона по биомассе преобладают над синезелеными [112].

Таблица 22.6

Значения биомассы фитопланктона в водохранилищах [112]

Водохранилище (год)	Биомасса фитопланктона B , г/м ³		Доля групп, % B	
	средняя	максимальная	диатомовых	синезеленых
Иваньковское	5,47	20,8	35	45
Угличское (1996, 1997)	2,46	6,5	67	9
Рыбинское (1996)	3,30	12	62	34
Горьковское (1996, 1997)	5,86	63	23	75
Чебоксарское (1991, 1997)	6,3	–	51	47
Куйбышевское (1996, 1997)	5,10	80	65	18
Саратовское (1996, 1997)	5,74	8	84	15
Волгоградское (1996, 1997)	2,97	8	38	59
Камское (1984)	4,0	5,8	52	42
Новосибирское (1997)	–	60	–	>50
Братское (1991)	2,21	12,8	Преобладают	
Усть-Илимское (1987)	2,2	245	Преобладают	
Красноярское (1991)	0,8	46,7	Преобладают	

При оценке экологических последствий регулирования стока водохранилищами нередко утверждают, что причина присущего этим водоемам «цветения» воды кроется в замедлившемся водообмене. Однако такому утверждению противоречат два факта: умеренное «цветение» рек еще до создания на них водохранилищ; слабое развитие фитоценозов в водохранилищах разных природных зон при отсутствии антропогенной нагрузки на их водные экосистемы.

Так, до зарегулирования р. Волги на различных ее участках уже наблюдалось значительное содержание биомассы фитопланктона (г/м³):

от г. Твери до г. Кимры 3;

в Молого-Шекснинской котловине	4,7;
ниже г. Рыбинска	11,0;
от г. Кинешмы до г. Городца (1935 – 1938 гг.)	9,7 – 17,4;
ниже г. Балахны (1935 – 1937 гг.)	16,0 – 19,6;
ниже устья р. Оки (1926 – 1927 гг.)	1,0 – 3,2;
от устья р. Оки до г. Чебоксар (1957 г.)	4,8 – 18,6;
в среднем по этому же участку (1972 г.)	11,5;
у г. Самары (1951 – 1954 гг.)	7,9;
у г. Волгограда	до 7.

Не зря на открытках серии «Привет с Волги» начала XX в. волжскую воду красили в зеленый цвет [621]. Сравнение приведенных значений с данными табл. 22.6 позволяет видеть, что создание каскада водохранилищ на р. Волге послужило двукратному уменьшению концентрации фитопланктона в волжской воде (за исключением Иваньковского водохранилища с очень большой удельной биогенной нагрузкой). Снижение биомассы водорослей произошло несмотря на то, что гидротехническое преобразование Волги привело к росту населения на ее берегах в 7 раз с начала 1930-х гг., а следовательно, и увеличению биогенной нагрузки на всю волжскую экосистему.

Общепризнано, что главной причиной изменения видовой структуры и роста биомассы фитопланктона (степени цветения) является антропогенная нагрузка биогенными веществами. Она приводит к возрастающему эвтрофированию водохранилищ [112; 541].

В РосНИВХ имеется методика определения количества биогенных загрязнений, поступающих в водоемы с осадками, животноводческими стоками, при выносе удобрений с полей, с коммунально-бытовыми стоками канализированных поселений и неканализированных жителей (1000 г/год фосфора от одного человека) [492]. Подсчет для Павловского водохранилища (год заполнения 1959, объем 1,41 км³), являющегося основным питьевым запасом г. Уфы, за 2017 г. дал следующий результат: количество поступивших загрязнений – 8645 т/год, в т.ч. азота – 4582,9 т/год, фосфора – 1106,5 т/год, калия – 2955,6 т/год [689]. По отношению содержания азота к фосфору $4,14 < (10 - 15)$ Павловское водохранилище должно было бы быть гипертрофным [112], чего на самом деле нет. Теоретические подходы к количественной оценке диффузного загрязнения водных объектов бассейна р. Волги нащупали в Институте водных проблем РАН. Выделена группа приоритетных источников загрязнения: смыв с территорий городов, с промышленных площадок, с сельскохозяйственных территорий, свалки, захоронения отходов, шламохранилища. Разработан метод подсчета, который (как

методика РосНИИВХ) может снабдить аналитиков только грубой косвенной информацией [107].

Остается повторить (см. раздел 22.1), что защита водных объектов от чрезмерного эвтрофирования – это не просто контроль за количеством поступающих в них загрязнений, а внедрение эффективных технологий обезвреживания отходов жизнедеятельности людей.

22.3. Накопление загрязняющих веществ в донных отложениях

Донные отложения водохранилищ, состоящие из мелких фракций, обладают высокой сорбционной способностью и накапливают весь спектр химических элементов, присутствующих в водоеме. Международная практика показывает, что результаты исследований загрязненности донных отложений тяжелыми металлами, органическими веществами, биогенными компонентами позволяют оценить тенденции изменения техногенной нагрузки на водоемы и выявить их наиболее неблагоприятные в экологическом отношении участки.

Река Волга. В период с 1997 г. по 2002 г., отметившийся эйфорией по поводу появившихся возможностей международного сотрудничества (г. Нижний Новгород открыли для иностранцев), ННГАСУ в составе российско-германского проекта «Волга–Рейн» организовал и провел экспедиции по отбору проб донных отложений р. Волги на участке от Валдайской возвышенности до устья (рис. 22.11) [420; 721]. Анализ 343 проб, отобранных в ходе экспедиций (рис. 22.12), выполнялся в лаборатории профессора Г. Мюллера института геохимии Гейдельбергского университета [413; 414;], состояние донных отложений оценивалось в ННГАСУ [420; 721].

Анализировалась фракция донных отложений < 20 мкм. Предпочтение в изучении данной фракции определяется тем, что свежие тонкодисперсные отложения в основном состоят из частиц с размером, соответствующим диапазону «ил + глинистые частицы». Результаты анализов фракции сопоставлялись со доцивилизационным геохимическим композиционным составом осадочных пород и седиментов с размером частиц того же диапазона, используемым в качестве фонового при оценке антропогенных воздействий. Пробы отложений отбирались в виде кернов, хранились до начала аналитических измерений при температуре 4°C. Фракция < 20 мкм выделялась путем «мокрого» просеивания через нейлоновые сита и просушивалась при



Рис. 22.8. Мезотрофное малое водохранилище возрастом 45 лет в Городецком районе Нижегородской области



Рис. 22.9. Эвтрофное озеро – водохранилище Вадское в Нижегородской области



Рис. 22.10. «Цветение» воды в Саратовском водохранилище, август 2019 г.

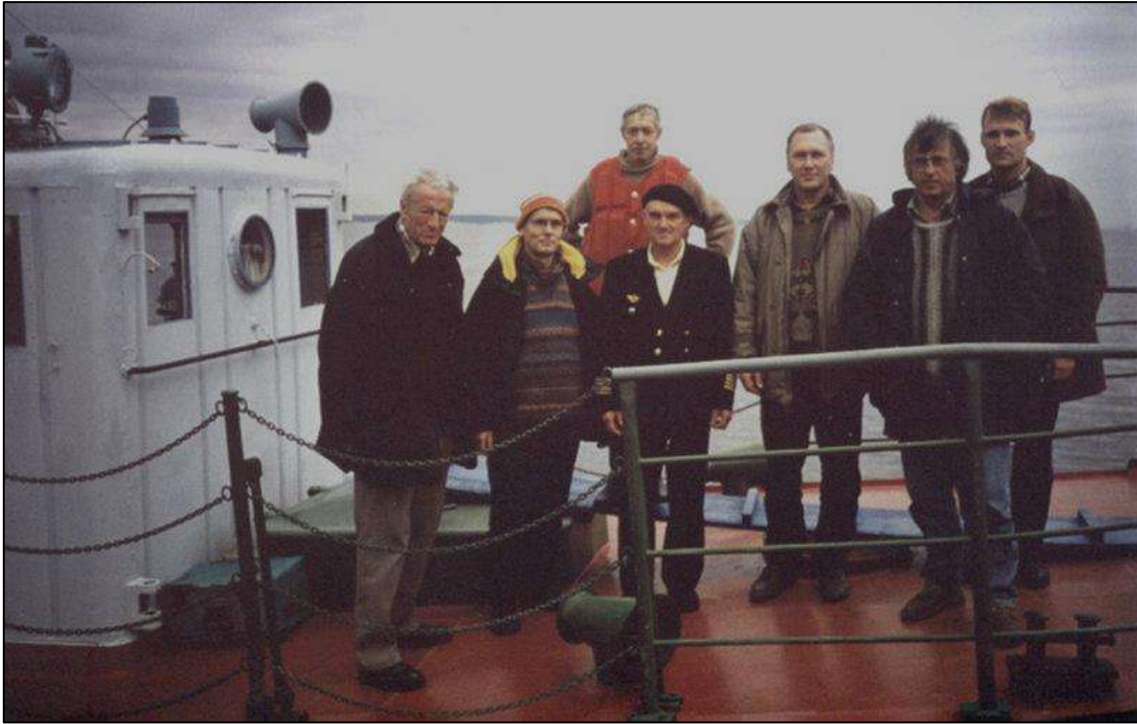


Рис. 22.11. Первая российско-германская экспедиция по отбору проб донных отложений в р. Волге. Слева направо: профессор Г. Мюллер, научный сотрудник М. Гастнер, матрос и шкипер экспедиционного судна, профессор С.В. Соболев, научные сотрудники Р. Оттенштайн и Ю.Г. Пархаев. Ноябрь 1997 г., Чебоксарское водохранилище [721]

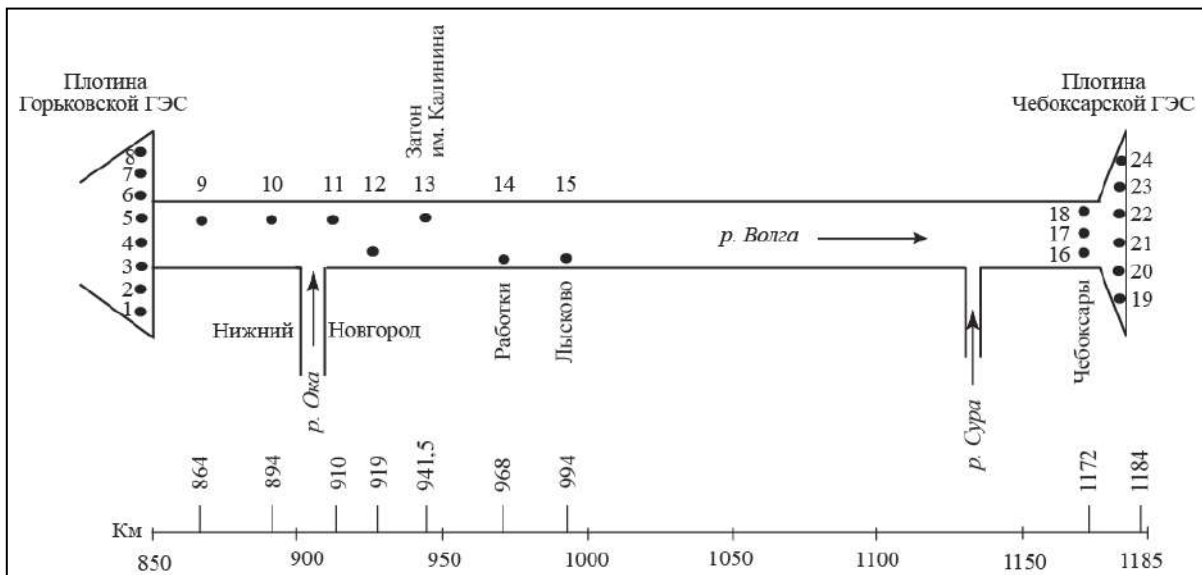


Рис. 22.12. Схема расположения точек отбора проб донных отложений р. Волги на участке Горьковское – Чебоксарское водохранилища [413]

температуре $< 30^{\circ}\text{C}$. Для определения содержания воды часть от каждой пробы взвешивалась и высушивалась при температуре 110°C . После последующего нагрева до 550°C измерялась потеря при прокаливании. Для проведения анализов материал проб растворялся в смеси азотной и соляной кислоты. Содержание тяжелых металлов оценивалось с использованием атомно-адсорбционной спектроскопии (F-AAS, ET-AAS, CV-AAS, FIAS). Содержание ртути (Hg) анализировалось с использованием метода «холодного пара» атомно-адсорбционной спектроскопии. Концентрации серы и органического углерода определялись при помощи анализатора Leco CS-125. Концентрации фосфора (P), выраженные как P_2O_5 , определялись стандартными методами.

Система нормирования содержания загрязняющих веществ в донных отложениях поверхностных водоемов не разработана ни в России, ни в других странах. Поэтому способом количественной оценки их загрязненности являлось сравнение с фоновыми концентрациями. Использовалась классификация на базе индексов геоаккумуляции (или I_{geo} классов), предложенная в университете г. Гейдельберга профессором Г. Мюллером и применяемая для оценки загрязнения окружающей среды. Расчет индексов геоаккумуляции производится как $I_{geo} = \log_2 (C_n/1,5B_n)$, где C_n – измеренная концентрация элемента n во фракции донных отложений $< 0,02$ мм; B_n – геохимическая фоновая концентрация элемента n в природных глинистых отложениях; 1,5 – коэффициент учета природной вариативности. Согласно данной классификации, каждое удвоение I_{geo} индекса определяет переход к следующему классу качества донных отложений от нулевого (незагрязненные) до шестого класса (чрезмерно загрязненные), верхний предел для которого не установлен (табл. 22.7).

В табл. 22.8 представлены обобщенные результаты исследования донных отложений р. Волги и ее притоков, а на рис. 22.13 диаграммы содержания в донных отложениях р. Волги наиболее важных с экологической точки зрения тяжелых металлов (Pb , Cd , Hg , Zn , Cu , Ni , Cr) в сравнении с фоновыми значениями. Для сравнения в табл. 22.8 вписаны данные о концентрациях тяжелых металлов в донных отложениях верхнего (г. Карлсруэ) и нижнего (г. Клеве-Биммен) течений р. Рейна [721]. И в табл. 22.8 и на рис. 22.13 помещены также сведения о концентрациях фосфора в донных отложениях в пересчете на P_2O_5 .

Результаты исследований показали, что в донных отложениях волжских водохранилищ содержание всех измерявшихся элементов, за

исключением органического углерода, выше, чем в почвенном слое, существовавшем до затопления территорий (рис. 22.14). Наибольшие их концентрации наблюдались в районах выпусков городских и промышленных сточных вод. Наивысшие концентрации наиболее значимых в экологическом отношении тяжелых металлов, за исключением хрома, присутствовали в отложениях Горьковского водохранилища. Вниз по течению р. Волги обнаружилась общая тенденция снижения содержания в донных отложениях всех металлов, за исключением *Cr* и *Ni*.

Таблица 22.7

Значения концентраций тяжелых металлов по классам геоаккумуляции [по Г. Мюллеру]

Элемент	Геохимические фоновые концентрации	Фоновые значения для фракции донных отложений <2-20 мкм	Классы геоаккумуляции (I_{geo} классы)						
			0	1	2	3	4	5	6
			незагрязненный	незагрязненный – умеренно загрязненный	умеренно загрязненный	умеренно загрязненный сильно загрязненный	сильно загрязненный	сильно загрязненный	чрезвычайно загрязненный
Fe	3,80	4,72	7,08	14,16	28,32	56,64	>56,64	–	–
Mn	1100	850	1275	2550	5100	10200	20400	40800	>40800
Cd	0,3	0,3	0,45	0,9	1,8	3,6	7,2	4,4	>14,4
Zn	20,0	95,0	142,5	285,0	570,0	1140,0	2280,0	4560,0	>4560,0
Pb	9,0	20,0	30,0	60,0	120,0	240,0	480,0	960,0	>960,0
Cu	4,0	45,0	67,5	135,0	270,0	540,0	1080,0	2160,0	>2160,0
Ni	20,0	68,0	102,0	204,0	408,0	816,0	1632,0	3264,0	>3264,0
Co	0,1	19,0	28,5	57,0	114,0	228,0	456,0	912,0	>912,0
Cr	11,0	90,0	135,0	270,0	540,0	1080,0	2160,0	4320,0	>4320,0
As	–	13,0	19,5	39,0	78,0	156,0	312,0	624,0	>624,0
Hg	0,04	0,4	0,6	1,2	2,4	4,8	9,6	19,2	>19,2

Размерности: Fe – %; остальные элементы – мг/кг.

Так, концентрация Pb, Cd и Hg в отложениях нижней части волгоградского водохранилища составляла половину, а Zn около двух третей от уровня содержания этих элементов в отложениях Горьковского водохранилища.

Концентрации всех измерявшихся элементов в устьевой части р. Волги соответствовали их фоновому уровню.

В России тяжелые металлы по степени токсичности разделяются на три класса опасности: I класс – Hg, Cd, Pb, As, Be, Se, Zn, F; II класс – Cr, Co, B, Mo, Ni, Cu, Sb; III класс – Ba, V, W, Mn, Sr. Токсичность тяжелых металлов в значительной степени обусловлена их консервативностью и способностью к биоаккумуляции. Ионы тяжелых металлов, как правило, хорошо растворимы в воде и способны образовывать высокотоксичные металлооргани-

ческие соединения. Загрязнение природных вод тяжелыми металлами и их соединениями оказывает негативное воздействие на состояние экосистем водоемов, в частности на фитопланктон, высшую водную растительность, моллюсков и рыб. Наиболее опасными для разных экосистем являются *Cd*, *Co*, *Cu*, *Cr*, *Hg*, *Pb*, *Zn*, *Ni*. Тяжелые металлы могут перемещаться по пищевым цепям и, в этом случае, представляют опасность для людей [721].

Таблица 22.8

**Содержание тяжелых металлов и биогенных компонентов
в донных отложениях реки Волги на участке
от Ивановского водохранилища до устья [414; 721]**

Река, водохранилище, пункт	Год	мг/кг								%		
		<i>Pb</i>	<i>Cd</i>	<i>Hg</i>	Z_n	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>As</i>	<i>P_2O_5</i>	<i>C</i>	<i>S</i>
Волга Ивановское	2001	24	0,86	0,21	516	93	37	67	10	0,44	4,81	0,18
Волга Угличское	2001	24	0,73	0,35	259	44	51	69	11	0,44	3,20	0,16
Волга Рыбинское	2001	27	0,31	0,28	136	47	42	60	13	0,41		
Волга Горьковское	1997	38	0,61	0,15	152	51	67	69	16	0,45	6,00	0,18
Ока Н.Новгород	1997	19	0,93	0,19	97	51	48	70	17	0,86	3,50	0,36
Сура	1999	15	0,39	0,12	100	26	46	67	12	0,41	3,01	0,14
Сура	2002	13	0,41	0,13	108	26	61	54	14	0,45	4,24	0,21
Волга Чебоксарское	1997	25	0,46	0,11	98	35	59	64	18	0,6	4,10	0,16
Кама	1999	12	0,45	0,15	89	42	79	75	10	0,26	2,1	0,06
Волга Куйбышевское	1999	27	0,65	0,13	141	51	72	85	9	0,3	2,9	0,28
Волга Саратовское	1998	17	0,41	0,07	124	43	60	63	15	0,28	2,2	0,31
Волга Камышин	1998	54	0,59	0,18	174	54	36	86	9	0,3	3,58	0,2
Волга Волгоградское	1998	17	0,34	0,08	106	48	54	73	11	0,29	1,75	0,08
Волга Астрахань	2000	14	0,34	0,09	88	37	65	77	6	0,23	1,68	0,1
Рейн Карлс-руэ	1995	41	0,53	0,41	171	56	45	67	16			
Рейн Клеве-Биммен	1995	75	1,14	0,49	389	63	48	69	16			
Геохимические фоновые концентрации		20	0,3	0,4	95	45	68	90	13			

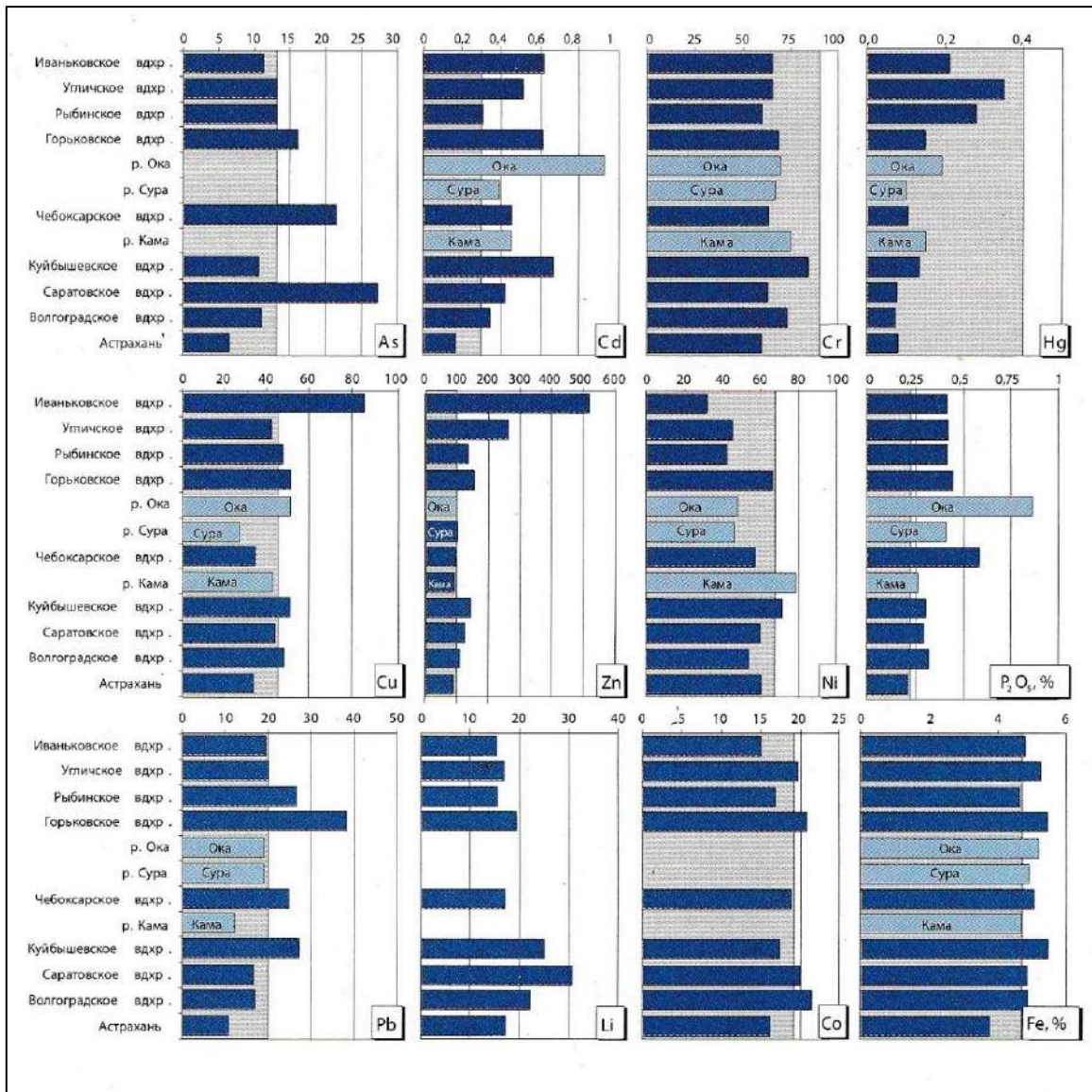


Рис. 22.13. Сравнение состава донных отложений р. Волги и притоков (средние концентрации в мг/кг; для Fe и P в %) со средними геохимическими фоновыми значениями (выделены светло-серым цветом) [721]

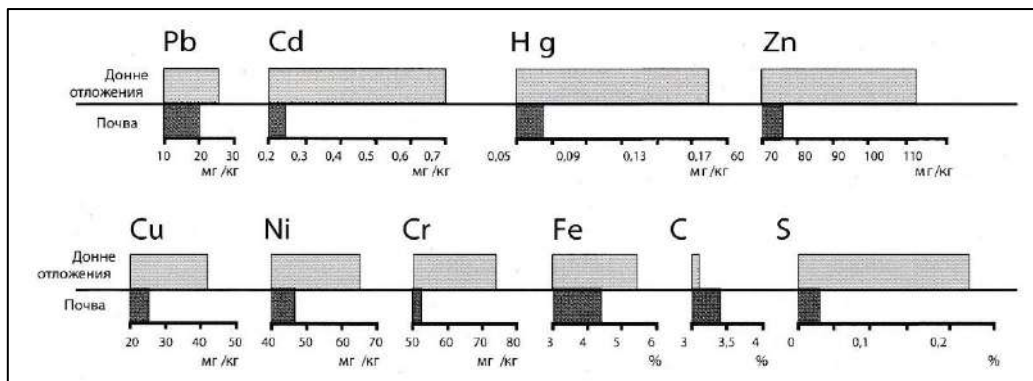


Рис. 22.14. Содержание ряда элементов в почвенном слое и покрывающих его илистых отложениях Чебоксарского водохранилища [413; 721]

Не будь на р. Волге водохранилищ, тысячи тонн ионов тяжелых металлов в биологически доступной форме частично осаждались бы в половодья на пойме и включались затем в наземный биохимический цикл микроэлементов с прогрессирующим их накоплением в луговых травах, молоке и мясе скота. Остальная часть стока этих вредных веществ в меженные периоды поступала бы в волжскую дельту с концентрацией до 6 – 9 раз превышающей рыбохозяйственные ПДК. При столь низком качестве воды, которое было бы в настоящее время в незарегулированной р. Волге, трудно представить самую возможность существования в ней осетровых рыб [112].

Результаты анализов проб донных отложений р. Волги в 1997 – 2002 гг. показывали, что по всему ее течению содержание фосфора в них превышало фоновую геохимическую концентрацию (0,16 % P_2O_5). В верхнем течении реки превышение составляло 4 – 5 раз, в среднем течении – 4 раза, в нижнем – 2 раза. Максимальная концентрация 0,66 % P_2O_5 была зафиксирована в Чебоксарском водохранилище на участке ниже впадения р. Оки (рис. 22.15). В предплотинных зонах водохранилищ содержание фосфора по P_2O_5 составляло от 0,30 % до 0,59 %. Избыток фосфора в донных отложениях оказывает ускоряющее влияние на процессы эвтрофикации водохранилищ.

Отдельные пробы донных отложений анализировались на содержание полихлорированных бифенилов (ПХБФ), инсектицидов (ДДТ, линдана, гексахлорбензола), полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и нефтепродуктов. Суммарное содержание ПХБФ составило в отложениях приплотинных зон Горьковского водохранилища 2,8 мкг/кг, в Чебоксарском – 3,3 мкг/кг. Для сравнения: в донных отложениях р. Рейн у г. Карлсруе концентрация ПХБФ равнялась 23 мкг/кг. Наиболее значительное загрязнение донных отложений нефтепродуктами было отмечено в Волгоградском водохранилище, в особенности у г. Саратова и в затоне у г. Камышина (рис. 22.16).

Исследовались также пробы поровых вод донных отложений Чебоксарского водохранилища, отобранные зимой 2000 г. результаты анализа зафиксировали интенсивное выделение из донных отложений фосфоросодержащих соединений железа и марганца. Это еще раз доказывало, что донные отложения являются накопителями биогенных компонентов и источником загрязнения, оказывающим значительное влияние на процессы эвтрофикации водоемов [721].

В общем реализация проекта «Волга-Рейн» в части исследования донных отложений [413; 414; 420; 721] показала, что зарегулированная р. Волга,

при всех необходимых мерах по улучшению экологической обстановки в ее бассейне, в начале 2000-х гг. являлась весьма здоровой рекой, достойной того, чтобы к ее будущему относились с оптимизмом [109].

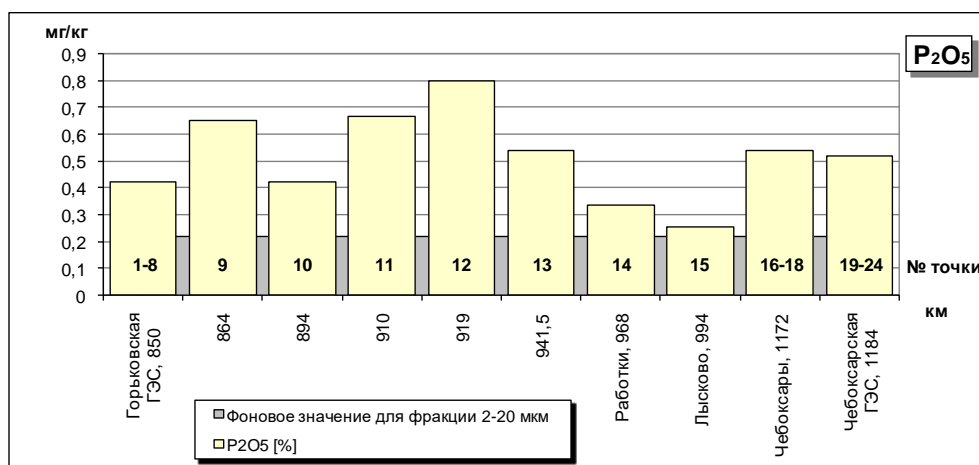


Рис. 22.15. Содержание фосфора на участке Горьковское–Чебоксарское водохранилища [413; 721]

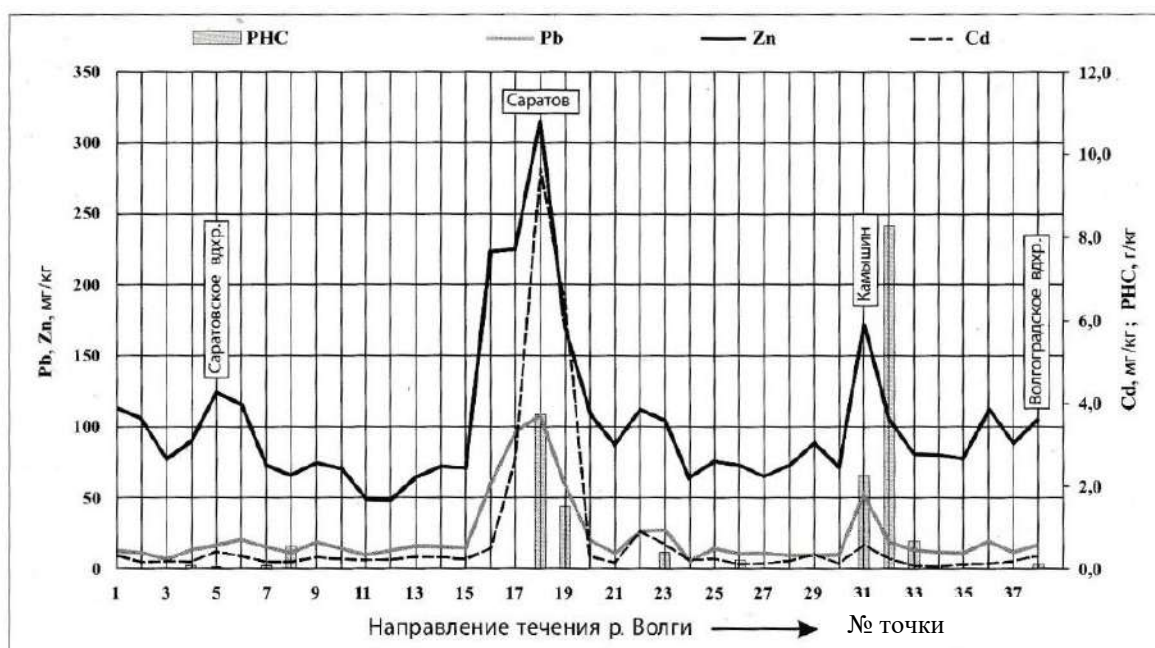


Рис. 22.17. Содержание Pb, Zn, Cd и нефтепродуктов в донных отложениях Волгоградского водохранилища [721]

Донные по отложениям малых водохранилищ хозяйственно-питьевого водоснабжения в бассейне р. Волги [592; 593]. Если в малые водохранилища грязь откуда бы то ни было не сливается, то свойства донных отложений в них остаются в пределах природного фона.

Ограничимся примером Пензенского водохранилища на р. Сура, о котором уже повествовали в разделах 14.7 и 15.3.

Отложения в Пензенском водохранилище представлены илами. По данным спектрального анализа 217 проб, отобранных в 2005 – 2006 гг., на отдельных участках в илах содержание цинка, никеля, хрома, меди, марганца, ванадия превышало допустимые пределы (табл. 22.9), причем превосходило содержание этих элементов в донных отложениях рек и ручьев, впадающих в водохранилище. Основным очагом техногенного загрязнения являлся квартал у оз. Круглого с вытекающим из него ручьем Круглым – притоком р. Жданки, впадающей в водохранилище с правого берега, где в прошлом находились площадки уничтожения химического оружия. Вблизи водозабора для снабжения г. Пензы содержание названных элементов оставалось в допустимых пределах и в среднем по водохранилищу экологическая ситуация с донными илами оставалась благополучной.

Таблица 22.9

Статистические данные валового содержания химических элементов в донных отложениях Пензенского водохранилища на р. Сура [592; 593]

Химические элементы	Класс опасности	ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого водоснабжения, мг/дм ³	Содержание в илах, мг/дм ³		
			минимальное	максимальное	среднее
Свинец	I	32	< 10	10	10
Цинк	I	91	< 10	100	41
Никель	II	45	8	500	27
Хром	II	90	< 10	100	30
Кобальт	II	50	< 2	10	5
Медь	II	52	10	60	30
Молибден	II	40	< 1	3	1,4
Марганец	III	1500	70	600	274
Ванадий	III	150	80	300	134
Олово	III	5	< 1	1	< 1
Барий	III	200	< 100	100	< 100

22.4 Опасность радиоактивного загрязнения

Опасными загрязнителями земли, воды, донных отложений водотоков и водоемов являются радиоактивные вещества.

В 1963 г. договором между СССР, Великобританией и США были запрещены ядерные испытания в атмосфере, космосе и под водой [18].

К концу испытаний в атмосфере радиоактивное загрязнение поверхности Земли на 2% превысило естественный фон [484]. До запрещения СССР осуществил 715 атомных взрывов, в том числе 215 в атмосфере: большинство на Семипалатинском полигоне, а также на о. Новая Земля. Радиоактивным цезием, стронцием, плутонием и др. была загрязнена тундра побережья Баренцева и Карского морей, крайний север Западной Сибири (рис. 22.17). Максимальная активность выпадений регистрировалась в пос. Амдерма, превышая естественный фон в 11 тыс. раз [484]. Одной из пострадавших групп населения оказались коренные народы Севера. Так, у оленеводов основой рациона является оленина (см. раздел 21.2). 90 % рациона оленей составляют лишайники (см. рис. 21.17), которые усваивают питательные вещества и микроэлементы из атмосферы, являясь идеальной системой для сбора радиоактивных выпадений. Олени объедали лишайники и накапливали в себе радионуклиды, которые потом переходили в организмы людей. В итоге содержание радионуклидов в телах оленеводов в сотни раз превышало значения, характерные для контрольных групп населения (рис. 22.18) [18].

С 1965г. по 1988 г. СССР произвел 124 подземных мирных атомных взрыва – в Архангельской и Мурманской областях, Якутии, Ханты-Мансийском и Ненецком АО, Коми – с целями сейсмозондирования, интенсификации добычи углеводородов, образования подземных полостей, дробления руды и др. По схеме переброски части стока северных рек на юг (см. раздел 9.3) для прокладки канала через водораздел рек Печоры и Камы в 1971 г. были взорваны 3 опытных атомных заряда общей мощностью 45 кт. Образовался котлован размерами в плане 700 x 350 м глубиной до 15 м, заполнившийся радиоактивной водой (рис. 22.20). На этом опыты остановили [18].

Авария на Чернобыльской АЭС, приостановившая развитие ядерной энергетики мира, произвела выброс в биосферу до 15 т радиоактивных веществ, что равно или даже превышает выброс за годы испытаний атомного оружия в атмосфере. Она привела к радиоактивному загрязнению более 40 $\text{Ки}^*/\text{км}^2$ площади в 7 000 км^2 (2 000 км^2 в России) и потребовала срочной эвакуации 130 тыс. человек. Общая площадь цезийстронцийплутониевой загрязненности более 1 $\text{Ки}/\text{км}^2$ в России составила 147 тыс. км^2 с 4 270

*Ки (Кюри) – внесистемная единица измерения радиоактивности; Бк (Беккерель) = 1 распад/с – единица измерения радиоактивности в системе СИ; 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

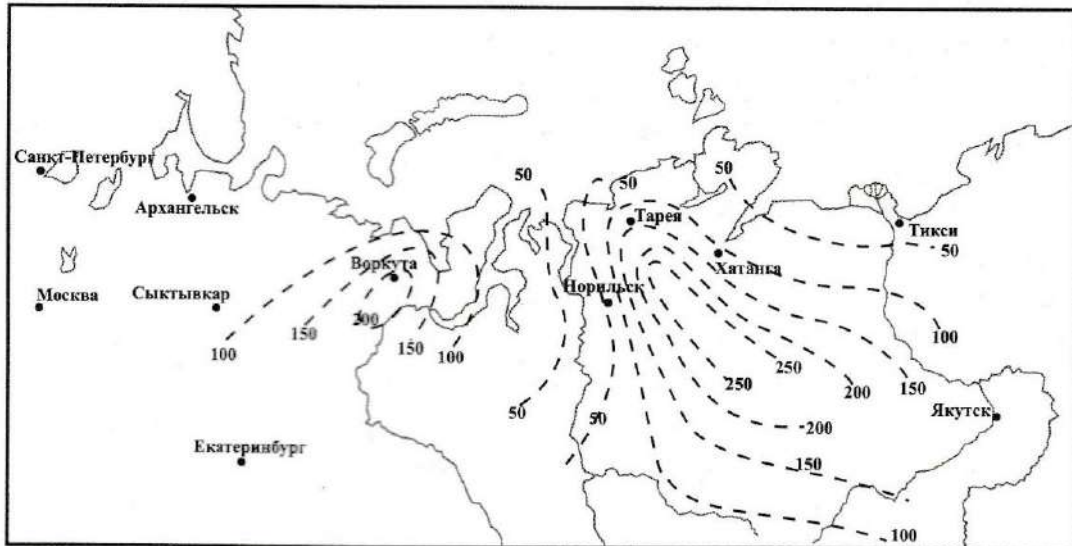


Рис. 22.17. Загрязнение природной среды Российского Севера после ядерных взрывов радиоактивными продуктами – цирконием и ниобием-95. Значения в мКи / км² [18]

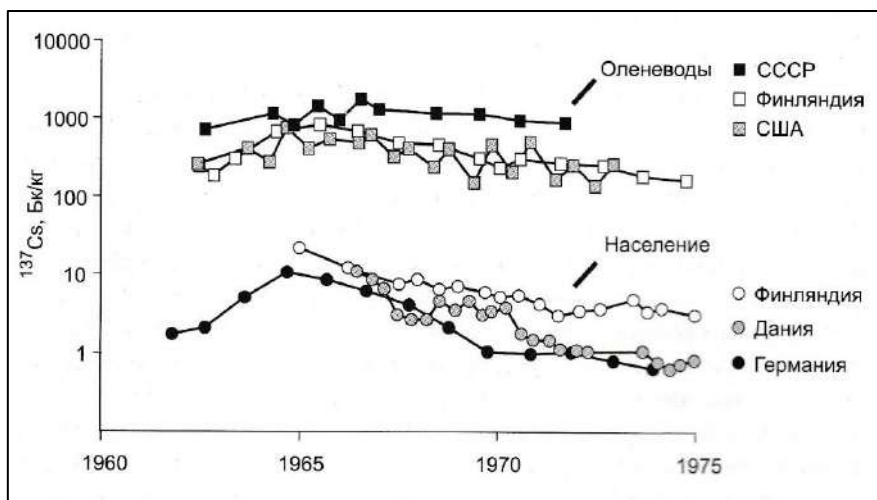


Рис. 22.18. Содержание ¹³⁷Cs в организмах оленеводов и жителей, не связанных с этой деятельностью [18]



Рис. 22.20. Озеро Ядерное в Пермском крае [zen.yandex.com]



Рис. 22.21. Карта радиоактивного загрязнения изотопами цезия-137 после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. [191]



Рис. 22.22. Контрольно-пропускной пункт радиационно-экологического заповедника [СГ, 2019. – №11]

населенными пунктами и численностью жителей около 3 млн человек [484] (рис. 22.21). Радиоактивные осадки, выпавшие на дно Киевского водохранилища на р. Днепре и Азовского моря, остались лежать там [191]. 70 % всех радиоактивных веществ, попавших на территорию СССР, выпало в Белоруссии, где зараженными оказались 23 % территории республики. В 1988 г. в Белоруссии создан Полесский государственный радиационно-экологический заповедник для охраны и изучения облученной территории в 30-километровой зоне отчуждения, примыкающей к Чернобыльской АЭС, с научно-исследовательской станцией Масаны, расположенной поблизости от границы с Украиной в 10 км от атомной электростанции. Предприимчивые белорусы организуют сюда платные экскурсии на транспорте заповедника [zapovednik.by] (рис. 22.22). Пожары в этих местах чреваты способностью вместе с дымом переносить радионуклиды на другие территории, в том числе в Россию, поэтому в заповеднике тщательно следят за пожарной обстановкой [СГ, 2019. – №11].

В Челябинской области в г. Озерске находится ядерное предприятие оборонного и гражданского значения «Маяк». В 1949 г., когда заработал этот первенец советской атомной промышленности, жидкие слаборадиоактивные отходы попадали в р. Течу (приток р. Исети бассейна о. Оби). В ходе строительства предприятия (1946 – 1950 гг.) и в последующий период до 1964 г. в долине р. Течи был построен каскад производственных водоемов (рис. 22.23) и отходы производства стали накапливаться в них. Одним из радиоактивных веществ в отходах предприятия является тритий. Его среднее содержание в воде производственных водоемов за 2007 – 2009 гг. отражено на рис. 22.24. Оно в сотни и тысячи раз превышает уровень глобального (1 Бк/л) и техногенного (5 Бк/л) фона. Водоемы выведены из хозяйственного и культурно-бытового использования [697]. Остается небезопасной долина р. Течи. Радиоактивность почв по цезию-137 в верховьях реки лежит в пределах от 17 000 Ки/км² (исток) до 10 – 20 Ки/км² – при фоновом значении для равнинных территорий 0,05 Ки/км². Деревни в 100-километровой зоне вниз по р. Тече давно расселены [114; 191]. В результате аварии на комбинате «Маяк» в 1957 г. радиоактивный выброс охватил значительную часть Челябинской области и прилегающие районы Тюменской, Курганской, Свердловской областей. С территорий, радиоактивная загрязненность которых превысила 2 Ки/км² (принятый предел), были переселены 10,2 тыс. человек [484].

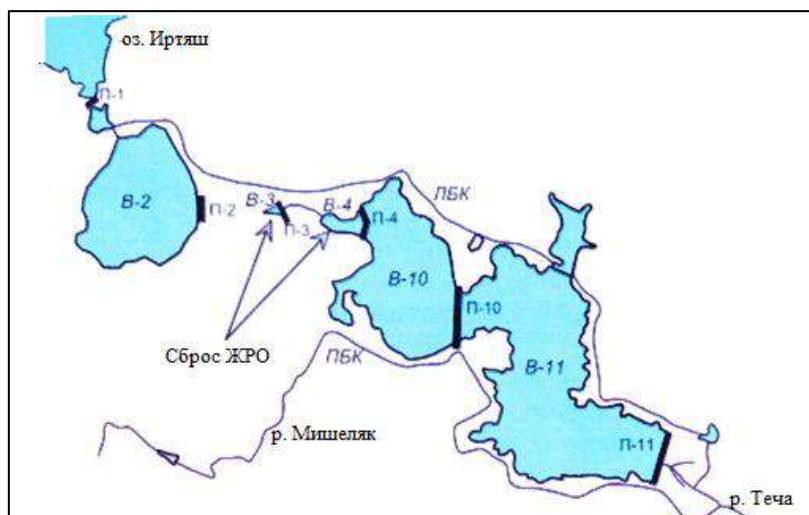


Рис. 22.23. Схема производственных водоемов предприятия «Маяк» в долине р. Течи: В-2 – водоем-охладитель (оз. Кызылташ, 84,4млн м³); В-3 (0,78 млн м³), В-4 (4 млн м³), В-10 (73,5 млн м³), В-11 (230 млн м³) – искусственные водоемы (теченский каскад) в долине старого русла р. Течи; ЛБК,ПБК – левобережный и правобережный обводные каналы; ЖРО – жидкие радиоактивные отходы [697]

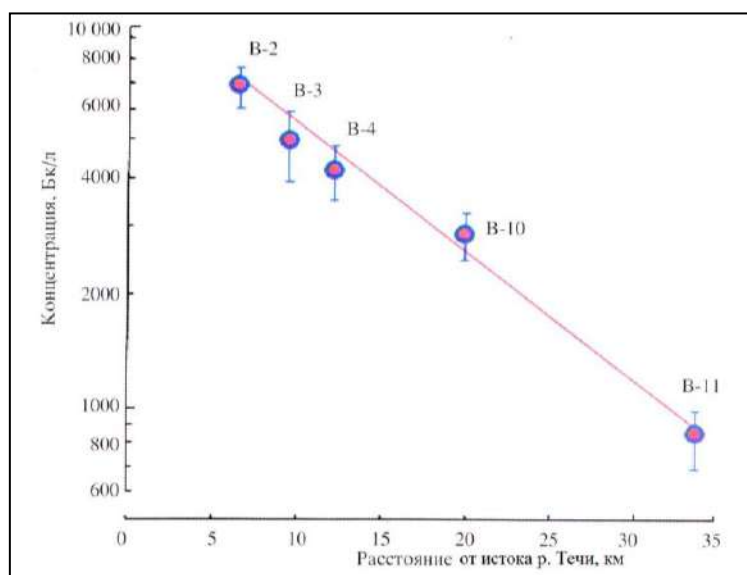


Рис. 22.24. Усредненные концентрации трития в воде производственных водоемов предприятия «Маяк» за 2007 – 2009 гг. [697]

Водоохранилища, используемые в качестве водоемов-охладителей при АЭС, в той или иной степени подвергаются радиационному воздействию стоков этих предприятий. Одним из радиоактивных загрязняющих веществ водоемов-охладителей АЭС является тритий. Основным депо нахождения трития в природе служит вода, с которой он легко перемещается на большие расстояния. Концентрация трития в природных водах на несколько

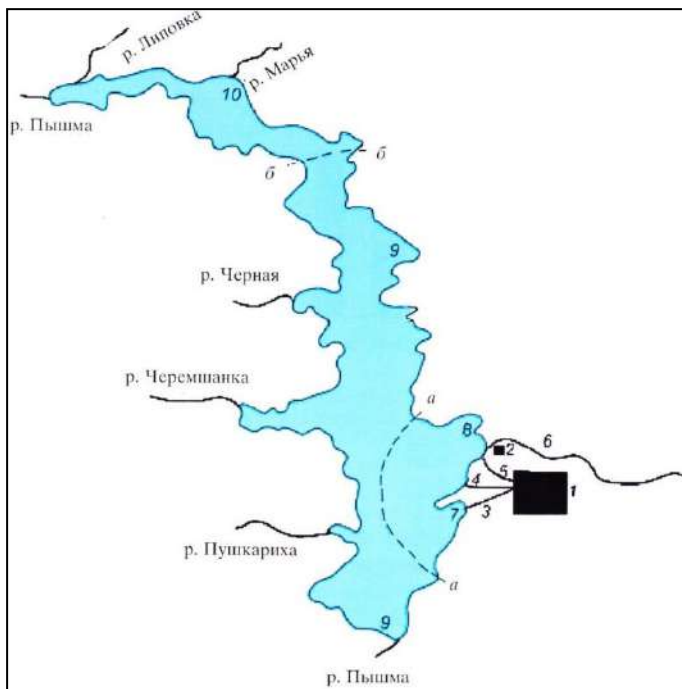


Рис. 22.25. Схема Белоярского водохранилища на р. Пышме:
 1 – АЭС; 2 – Биофизическая станция; каналы: 3 – водосбросной, 4 – водозаборный, 5 – промливневой, 6 – обводной; заливы: 7 – Теплый, 8 – Голубой; 9 – район плотины; 10 – верховье водохранилища; границы зон: а – санитарно-защитной, 3 км, б – наблюдаемой, 10 км [698]

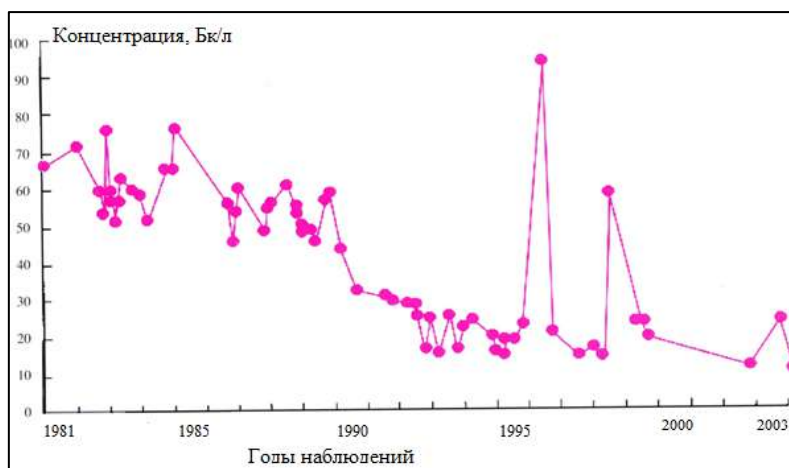


Рис. 22.26. Динамика концентраций трития в воде Белоярского водохранилища в районе плотины [698]



Рис. 22.27. Белоярское водохранилище [723]

порядков выше по сравнению с концентрацией стронция и цезия. В настоящее время не существует эффективных мер улавливания трития. Сброс этого радионуклида в открытые водоемы приводит к их загрязнению тритием [698].

Институтом экологии растений и животных Уральского отделения РАН в период с 1980 г. по 2003 г. проводился мониторинг содержания трития в воде Белоярского водохранилища, служащего водоемом-охладителем одноименной АЭС, пущенной в эксплуатацию в 1964 г. в 45 км от г. Екатеринбурга (см. рис. 3.7). Первая очередь АЭС с уранграфитовыми реакторами АМБ-100 и АМБ-200 состояла из двух энергоблоков, выведенных из эксплуатации в 1981 и 1989 гг. В 1980 г. был введен третий энергоблок на быстрых нейтронах БН-600. Точки наблюдения располагались по периметру водохранилища, а также в каналах, по которым стоки от АЭС поступают в водоем (рис. 22.25). За период наблюдений концентрация радионуклида трития в воде Белоярского водохранилища во всех случаях превышала уровень техногенного фона, установленного для Уральского региона. Она варьировала в верховье водохранилища от 5 Бк/л до 60 – 70 Бк/л, в районе плотины – до 93 Бк/л (рис. 22.26), в районе Биофизической станции – до 1 000 Бк/л. Проявилась тенденция снижения концентрации трития в воде, особенно четко – после вывода из эксплуатации второго энергоблока, но не исключены отдельные случаи залпового поступления радионуклида в период работы третьего энергоблока. Белоярское водохранилище используется комплексно, в т.ч. для рекреации и рыбозабоев (рис. 22.27), поэтому необходим надежный контроль за сбросами трития в водоем [698].

Техногенное загрязнение воды и донных отложений водохранилищ радиоактивными веществами опасно для здоровья людей.

22.5. Самоочищение воды водохранилищ

Водохранилища в условиях урбанизации оказывают более положительное, чем отрицательное влияние на качество речной воды. Они обладают удивительной жизненной силой, выраженной в самоочищающей способности, противостоящей антропогенной нагрузке.

Факторы самоочищения водоемов условно делят на три группы: физические, химические, биологические.

Среди физических факторов первостепенное значение имеют разбавление, растворение, оседание на дно нерастворимых осадков и отстаивание.

Под влиянием ультрафиолетового солнечного излучения разрушается часть белковых коллоидных соединений, вода обеззараживается.

К химическим факторам самоочищения относят процессы окисления органических и неорганических веществ, интенсивность которых зависит от количества растворенного в воде кислорода. Кислород в воду поступает из атмосферы, чему способствует волновое перемешивание водной массы, а также в ходе жизнедеятельности фотосинтезирующих растений. Максимальная (насыщающая) концентрация кислорода в холодной воде составляет примерно 9 мг/л. В глубоких малопроточных водохранилищах концентрация кислорода в придонных слоях воды может понизиться до 3 – 5 % максимального насыщения. Если же в водоеме велико содержание органических веществ, то для их окисления бактериями и простейшими может израсходоваться почти весь запас кислорода и наступят анаэробные условия. В таких условиях существуют лишь анаэробные бактерии, в процессе жизнедеятельности вырабатывающие сероводород и метан.

К биологическим факторам самоочищения воды относят механизмы, выработанные самой природой. Водные сообщества растений, животных, ихтиофауна, бактерии, донный бентос, являющиеся звеньями пищевых цепей, обеспечивают круговорот веществ в экосистеме и очищение воды [67].

В самоочищении воды водохранилищ, загрязняемых промышленными, сельскохозяйственными и бытовыми стоками, важна роль бактерио- и фитопланктона. Биохимическое окисление органических веществ, вплоть до их полной минерализации, выполняемое этими микроскопическими водными организмами, является главным из многообразных явлений, образующих процесс самоочищения воды. Наиболее интенсивно самоочищение воды происходит в макрофитных прибрежных биоценозах. Они перехватывают и почти полностью утилизируют аллохтонные (поступающие извне) органические и биогенные вещества в воде, проходящей через заросли полупогруженной и погруженной растительности.

Степень проявления процесса самоочищения воды определяется соотношением величин первичной продукции и деструкции (разрушения) органического вещества в водохранилищах. В табл. 22.10 приведены результаты расчетной оценки продукции и деструкции органического вещества в волжских водохранилищах на уровне 1980-х гг. При оценке учитывалась роль макрофитов, фито-, бактерио- и зоопланктона.

В зарегулированных водохранилищами речных системах происходит значительное снижение содержания органических веществ, т.е. самоочищение от них воды, благодаря замедленному водообмену и жизнедеятельности

богатой флоры и фауны. В водохранилищах Волжско-Камского каскада биотой ежегодно минерализуется примерно 3 млн т аллохтонных органических веществ. По сравнению с остальными водохранилищами каскада в наиболее эвтрофированных Ивановском и Чебоксарском водохранилищах среднегодовая скорость продуцирования органического вещества ($400 - 450 \text{ г/м}^2$) примерно в 2 раза выше, что ведет к ухудшению самоочищения воды. Очевидно, биогенная нагрузка на эти неглубокие водоемы столь велика, что способность экосистем окислить всю массу аллохтонных и автохтонных органических веществ достигает своего предела [112].

Таблица 22.10

Результаты оценки средней ежегодной первичной продукции и деструкции органического вещества в волжских водохранилищах [112]

Водохранилище	Продукция органического вещества P		Деструкция органического вещества D		Деструкция аллохтонного органического вещества $D_{\text{ЛОВ}} = D - P$, тыс. т
	тыс. т	г/м^2	тыс. т	г/м^2	
Иваньковское	148	452	104	320	–
Угличское	68	270	72	288	4
Рыбинское	728	160	1 174	258	446
Горьковское	366	230	588	370	222
Чебоксарское	428	396	518	480	90
Куйбышевское	1 100	200	2 360	440	1 260
Саратовское	376	202	750	402	374
Волгоградское	754	242	1 254	402	500

Чтобы отразить влияние водохранилищ на качество воды, из специальной литературы [720] извлечены сведения о результатах гидролого-гидрохимических расчетов применительно к Волжскому каскаду, дающие предположительное представление о том, какой бы в настоящее время была вода в р. Волге при отсутствии водохранилищ. Химические характеристики речной воды определялись двумя расчетами:

- по статистическим данным о сбросе загрязняющих веществ в составе сточных вод в Оку, Каму, Волгу и их притоки за 1988, 1989 и 1990 гг.;
- по количеству фосфора в сточной воде канализационных систем волжских городов с учетом роста населения за годы, прошедшие с начала сооружения каскада водохранилищ.

В первом расчете за исходные принимались межение расходы

р. Волги в бытовом состоянии (1920 – 1939 гг.), вычислялись наиболее вероятные минимальные концентрации загрязняющих веществ в речной воде и определялась кратность превышения рыбохозяйственных ПДК, затем давалась оценка качества волжской воды по индексу загрязненности вод. Получалось, что при действовавшей химической нагрузке, не будь на Волге и Каме каскада водохранилищ, вода в обеих реках, за исключением их верховьев, в зимние межени была бы почти полностью лишена кислорода ($O_2 = 7,2$ мг/л). Из-за обилия антропогенных органических веществ, трансформирующихся бактериями в анаэробных условиях, она имела бы неприятный запах и солоноватый вкус (минерализация 1,2 – 1,8 г/л). Зимой вода оценивалась бы 4 – 5 классом качества как «очень грязная» и «экстремально грязная». Кроме того, самоочищение воды было бы минимальным вследствие угнетения, а местами отравления водной фауны, включая и рыбное население. В летние межени увеличился бы суточный размах колебания в воде содержания растворенного кислорода вследствие возросшего «цветения» воды. Летом вода в Волге и Каме принадлежала бы к 4 классу качества («грязная»), а благодаря снижению в 1990-х гг. объемов промышленных стоков, степень загрязнения воды уменьшилась бы до 3 класса («загрязненная») в р. Каме и до 3 класса («очень загрязненная») в р. Волге.

Второй расчет был ориентирован на оценку самоочищающей способности волжской экосистемы. Наряду с количеством растворенного в воде кислорода O_2 , показателем способности водной экосистемы к самоочищению служит изменение структуры фосфорного баланса. Расчет фосфорного баланса был выполнен для периода естественного стока и начала строительства Волжского каскада (1935 – 1955 гг.), периода завершения каскада (1959 – 1980 гг.) и для 1995 г. Результаты отражены в табл. 22.11, 22.12.

Таблица 22.11

Расчетная нагрузка на волжскую экосистему общим фосфором городских сточных вод [112; 720]

Часть водной системы	Фосфорная нагрузка, тыс. т/год		Кратность роста фосфорной нагрузки за 53 года
	1939 г.	1992 г.	
Верхняя Волга	1,5	4,5	3,0
Ока	6,7	15,2	2,3
Средняя Волга	10,1	33,9	3,3
Кама	1,3	4,7	3,6
Нижняя Волга	13,7	42,3	3,1

Таблица 22.12

**Многолетнее изменение структуры баланса общего фосфора
в волжской речной системе, тыс. т/год [112; 720]**

Составляющие баланса		1935 – 1955 гг.	1959 – 1980 гг.	1995 г.
Приход	Городские сточные воды	7,7	36,8	18,0
	Рассредоточенные источники	22,0	22,0	22,0
Расход	Сток в волжскую дельту	29,7	31,1	33,5
	Накопление в донных отложениях	–	27,7	6,5
Всего приход = расход		29,7	58,8	40,0

При отсутствии каскада водохранилищ минимальные концентрации общего фосфора в речной воде в летнюю межень составляли бы 0,490 мг/л, а при среднегодовом расходе – 0,176 мг/л. Эти значения в 3,5 и 1,3 раза больше наблюдавшейся среднегодовой концентрации фосфора в воде р. Волги у г. Астрахани (0,138 мг/л). В таком случае цветение воды на средней и нижней Волге достигало бы максимально возможной интенсивности. Вспышек летнего цветения волжской воды могло бы не происходить лишь оттого, что развитие фитопланктона оказалось бы подавленным другими загрязняющими веществами, что возможно в чрезвычайно грязных речных водах, утрачивающих способность восстановления нормального кислородного режима и окисления вредных веществ. Возникшее вследствие превращения р. Волги в каскад водохранилищ громадное количество водных и донных организмов поглощает, перерабатывает и осаждаёт приблизительно 75 % фосфора, сбрасываемого канализационными хозяйствами городов. Именно в этом явлении состоит главная причина эвтрофирования водохранилищ волжского каскада, отмечаемого по изменению видового состава и нарастанию биомассы гидробионтов. Следствием процесса эвтрофирования становится повышение самоочищающей способности воды в экосистемах большинства водохранилищ, находящихся еще в стадии мезотрофно-эвтрофного состояния, что и служит защитой от антропогенной химической нагрузки [112; 720].

Читателям, интересующимся теорией самоочищения воды в водохранилищах можно порекомендовать, например, монографию доктора биологических наук С.А. Остроумова «Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов» [465].

ЧАСТЬ 3. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В ЗОНАХ ВОДОХРАНИЛИЩ



Село Илимск с сохранившейся Спасской башней Илимского острога постройки 1655 г. Рисунок 1927 г.
В 1960 г. из зоны Усть-Илимского водохранилища башня была перенесена в г. Иркутск [295]

Воздействие создаваемых больших водохранилищ на сложившуюся социальную обстановку в долинах рек прежде всего связывают с необходимостью переселения людей из зон затопления. Между тем, работы, предшествующие наполнению водохранилищ разнообразны и охватывают буквально все отрасли экономики. Наиболее значимые элементы системы подготовки зон затоплений сложились до 1950-х гг. при создании верхневолжских водохранилищ, затем были успешно применены и развиты в процессе организации строительства остальных водохранилищ Волжско-Камского каскада и водохранилищ Сибири. Эксплуатация водохранилищ является частью общей проблемы осуществления организационных, экономических, правовых, научно-технических, социальных аспектов регулирования территориального водопользования. В 3-й части книги описаны элементы опыта подготовки территорий к затоплению водохранилищами с соблюдением мер по минимизации воздействий на окружающую среду, освещены отдельные, преимущественно технические, вопросы эксплуатации водохранилищ.

ГЛАВА 23. РАБОТЫ И ЗАТРАТЫ, СВЯЗАННЫЕ С СОЗДАНИЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ

Во время проектирования водохранилища возникает основной вопрос, следует ли затоплять территорию, на которой нередко находятся населенные пункты, ценные строения и сооружения, сельскохозяйственные земли, месторождения полезных ископаемых и др. Правильный ответ может быть получен лишь после проведения кропотливых изыскательских и проектных работ, экономических расчетов, социологических и экологических исследований. Их результаты могут привести к отказу от создания водохранилища или к применению защиты от затопления и подтопления части территории за счет уменьшения его зеркала и объема воды. Вопрос о строительстве каждого большого водохранилища решается в плане развития экономики страны [515].

23.1. Перенесение на местность контуров водохранилищ

Подготовка территории под затопление водохранилищем обычно начинается с топографических работ, которые получили название «перенесение контура водохранилища на местность». Целью этих работ является фактическое, а также и юридическое закрепление знаками на местности границы зоны постоянного затопления, предусмотренной в проекте (как правило уреза НПУ). Точность закрепления границы назначается в зависимости от того, насколько в ней заинтересованы землепользователи на берегах будущего водохранилища. Если земли используются интенсивно и для ведения хозяйства необходимо знать точную границу затопления, то она проводится наиболее точным способом. Если же земли, подлежащие затоплению, мало освоены, а окружающие прибрежные земли используются экстенсивно, то способ закрепления границы упрощается, или ее иногда на

местность даже не переносят (так было, например, в районах крайнего севера).

Следует всегда иметь в виду, что даже точный способ отбивки границы будет давать существенные отклонения от истинного положения, т.к. топографические работы допускают отступления по высоте нередко до 0,5 м, а по горизонтали на местности это отступление может достигнуть нескольких десятков и сотен метров. Поэтому отбитая в натуре граница зоны затопления является до некоторой степени условной, так как на местности устанавливается ориентировочно. Но несмотря на ориентировочность границы затопления, перенесение ее на местность все же необходимо, прежде всего для проведения работ по подготовке к затоплению территории будущего водохранилища [65].

Приведем примеры.

Границы Братского водохранилища на р. Ангаре определены по крупномасштабным картам. В тайге они обозначались на местности посредством маркировки пней через каждые 100 – 200 м и зарубки деревьев через каждые 10 м. В незалесенной части по границе будущего водохранилища устанавливались геодезические знаки в виде деревянных столбов и железобетонных реперов. Работы были проведены в 1956 г. [382].

При установлении на местности границ водохранилища Зейской ГЭС учитывалось постоянное и временное затопление, подтопление и берегообрушение. За границу затопления для сельскохозяйственных угодий, населенных пунктов, автодорог, линий связи и других сооружений принимался уровень водохранилища при аккумуляции в нем паводка с вероятностью повторения 5 %. К выносу предназначались все объекты, расположенные как в зоне долговременного, так и возможного кратковременного затопления. Верхней границей для производства работ по лесосводке и лесочистке был принят нормальный подпорный уровень с тем, что лесные участки, теряющие свое качество от временных затоплений, могут быть очищены от леса в порядке санитарных рубок после заполнения водохранилища. В 1969 – 1971 гг. изыскательской экспедицией института Ленгидропроект выполнена работа по выносу границы водохранилища в натуру. Из общего протяжения в 1 720 км границу водохранилища вынесли в натуру на участках общей длиной 1 380 км в местах расположения новых населенных пунктов, в поселке Бомнак, также на участках, где планировались работы по сводке товарного леса и лесочистке. Граница была обозначена деревянными столбами из пней высотой в 1 м над поверхностью земли, а на незалесенных территориях

– кольями и вехами через 150 – 200 м. Столбы имели надпись, определяющую их назначение, порядковый номер и год установки. Надписью они были обращены в сторону водохранилища. На лесных площадях граница, кроме того, обозначалась просеками с затеской деревьев через 20 – 30 м и надписями на них. Установленные знаки являлись государственными и были сданы под охрану местным органам власти [311].

23.2. Состав работ и затрат по созданию водохранилищ

Работы по созданию водохранилищ разнообразны, так как охватывают буквально все отрасли хозяйства и касаются многих специальностей. При этом можно выделить основные группы работ по признакам, объединяющим их с точки зрения устройства водохранилища как гидротехнического объекта, удовлетворяющего комплексным запросам экономики:

- 1) переселение населения из зоны водохранилища;
- 2) предотвращение или компенсация нарушений, вносимых водохранилищем в хозяйственную жизнь и природные условия района;
- 3) подготовка водохранилища к комплексному использованию.

В состав мероприятий 1-й и 2-й групп в общих чертах входят:

- переселение жителей и их социально-экономическое устройство на новых местах;
- восстановление населенных мест и их основных фондов путем переноса, нового строительства, благоустройства;
- восстановление фонда сельскохозяйственных угодий путем освоения неиспользуемых земель; компенсация теряемой сельскохозяйственной продукции путем интенсификации использования имеющихся сельскохозяйственных угодий; переустройство сельскохозяйственных предприятий в новых условиях;
- переустройство промышленных предприятий;
- восстановление и переустройство инфраструктуры: объектов транспорта, электропередачи, связи, рекреационных объектов и др.;
- инженерная защита территорий и отдельных объектов от затопления и подтопления; укрепление берегов будущего водохранилища на ответственных участках;
- исследование археологических памятников; защита от затопления или перенос ценных памятников истории и культуры.

Мероприятия 3-й группы должны обеспечить рациональное использование водохранилища в производственном, социальном, природоохранном, культурном, рекреационном и эстетическом отношениях. К ним относятся:

- изъятие из затопляемой зоны запасов товарной древесины, торфа, плодородного почвенного слоя, полезных ископаемых (или обеспечение условий их последующего использования);

- лесочистка, санитарная подготовка чаши, создание водоохранных зон и другие мероприятия для предотвращения ухудшения качества воды в водохранилище;

- подготовка рыбопромысловых участков и рыбодобывающей базы;

- подготовка водохранилища к транспортному использованию;

- строительство водозаборов для водоснабжения, ирригации и т.п.;

- обустройство акватории и берегов для рекреационного использования.

В зоне будущего водохранилища особое внимание уделяется установлению плано-предупредительных мер организационного характера: запрещается строительство новых сооружений и капитальный ремонт старых, посадка лесов, садов и тому подобная деятельность с расчетом на более длительный срок по сравнению со сроком, остающимся до наполнения водохранилища.

При проектировании водохранилищ возникает много юридических вопросов в связи с тем, что затрагиваются в целом интересы государства и, в частности, населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, общественных организаций, отдельных владельцев собственности [112; 357; 515].

Структура работ и затрат на создание водохранилища зависит от освоенности затопляемой территории, ее заселенности, наличия природных объектов, поставленных природоохранных задач (табл. 23.1).

Затраты по созданию построенных водохранилищ ГЭС составляли от стоимости строительно-монтажных работ по основным сооружениям гидроузлов (глава 2 сметы) следующие доли, в %:

Чебоксарское.....	44,0;
Братское.....	85,34;
Усть-Илимское.....	46,34;
Богучанское.....	132,01;
Саяно-Шушенское.....	36,52;
Красноярское.....	44,2;

Т а б л и ц а 23.1

Структура затрат, связанных с созданием водохранилищ ГЭС, % от общей суммы [112]

Водохранилища	Горьковское	Куйбышевское	Саратовское	Волгоградское	Камское	Воткинское	Павловское	Новосибирское	Красноярское	Братское	Ондское	Княжгубское	Иовское	Нарвское
Инженерная защита	44,1	18,3	22,7	20,8	11,9	15,6	-	4,3	18,3	-	-	-	-	-
Перенос строений и переселение в селах	17,6	16,2	9,5	15,7	16,6	26,9	70	47,9	25,9	14,5	33,5	12,7	10,5	12,7
Компенсация сельскохозяйственных угодий	1	-	13,2	-	4,4	8,4	-	0,8	15,2	14,2	3,5	7,9	37,3	7,9
Перенос строений и переселение в городах	6,9	7,4	3,8	1,3	-	-	-	-	9,3	6,8	-	-	-	-
Переустройство и перенос промпредприятий	4,4	4,2	2,2	5,2	4,7	10,5	23,4	3,8	7	6,2	-	13,8	-	13,8
Переустройство железных дорог	0,3	10,5	17,8	14,7	20,5	2	-	-	-	16	-	-	-	-
Переустройство автодорог	7,4	2,5	5,4	3,7	2,6	3,7	1	17,3	13,5	7	40,1	18,1	-	18,1
Переустройство линий электропередачи и связи	0,7	0,2	1,4	1,1	1	0,9	0,8	0,8	1,3	0,5	0,9	1	29,1	1
Лесосводка и лесочистка	7,6	20,9	3	21,2	27,7	17,2	3,8	18,2	3,2	23,1	20,7	36,3	18,7	36,3
Транспортное освоение водохранилищ	6,1	16,4	15,7	14	9,5	11,7	-	4,5	5,5	3,8	1,3	3,8	-	3,8
Рыбохозяйственное освоение водохранилищ	0,5	2	2,6	1,4	0,9	0,1	-	1,9	0,2	0,7	-	4,1	-	4,1
Прочие затраты	3,4	1,4	2,7	0,9	0,2	3	3	0,5	0,6	7,2	-	2,3	4,4	2,3

Усть-Хантайское.....	1,65;
Курейское.....	3,22;
Вилуйское.....	6,45;
Светлинское.....	10,07;
Зейское.....	16,81;
Бурейское.....	32,88;
Колымское.....	7,08;

Видно, что затраты на водохранилище иногда даже превышали затраты на строительство гидроузла, но резко уменьшались в неосвоенных районах. В условиях же частной собственности на землю и средства производства эти затраты значительно увеличиваются. Из сметы гидроузла затраты на водохранилище распределяются по участникам ВХК в зависимости от вида водопользования и стоимости воды [296; 335].

Основное число водохранилищ в России было запроектировано и построено в XX столетии. При оценке ущерба, связанного с затоплением рассматривался состав лесов, сельскохозяйственных угодий, занимаемые ими площади, селитебные территории, подлежащие затоплению и пр. Все оценивалось в рублевом эквиваленте по вариантам переноса, компенсации, на основании чего определялся экономически выгодный вариант подготовки чаши будущего водохранилища. Свои коррективы вносило обоснование НПУ водохранилища, определяющего основные технико-экономические показатели гидроузла.

С 1980-х гг. в России, как и в других странах, сформировалось экологическое движение, которое стало все больше вмешиваться в рассмотрение проектов создания водохранилищ для энергетики и других нужд [296]. Отношение к использованию водных ресурсов претерпело изменения. Водные ресурсы понимаются теперь важнейшими в структуре хозяйствования страны, а управление ими – как управление развитием экономики. В экологическом плане водные ресурсы определяют качество жизни и даже возможность выживания в кризисных ситуациях.

Поэтому проекты вновь создаваемых в России больших водохранилищ подвергаются всесторонней экспертизе, даже на международном уровне [112; 296; 437].

При создании малых водохранилищ работы и затраты по подготовке территории к затоплению обычно сводятся к минимуму, а иногда и вовсе не требуются.

ГЛАВА 24. ВЫНОС НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И ПЕРЕСЕЛЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ ИЗ ЗОН ВОДОХРАНИЛИЩ

24.1. Перенос поселений и переселение людей

Воздействие водохранилищ на сложившуюся в долинах рек социальную обстановку прежде всего связывают с необходимостью переселения людей из зон затопления, подтопления и переработки берегов.

Строительство водохранилищ в XX в. вызвало переселение до 80 млн человек по всему миру. Две наиболее густонаселенные страны – Китай и Индия, построили 57 % всех крупных плотин мира, при этом переселению из зон водохранилищ подверглись в Китае 10,2 млн человек, в Индии – около 16 млн человек [486]. В 2010 г. в мире одновременно строилась 271 ГЭС с плотинами выше 60 м и большими водохранилищами, из них 91 гидроэлектростанция в Китае [474] (см. раздел 3.3). Только заполнение водохранилища ГЭС «Три ущелья» на р. Янцзы с плотиной высотой около 100 м привело к затоплению более 600 км² земель с городами и деревнями, тысячами археологических объектов, уникальными ландшафтами. Было выселено более 1 млн человек. Судя по всему, гидроузел стал непосредственным виновником вымирания китайского речного дельфина. Очевидно, что сооружение ГЭС было не чисто технической, но и этической проблемой [687].

В России за весь период гидроэнергетического строительства из зон водохранилищ переселено 880 тыс. человек [108], из них при создании Волжско-Камского каскада ГЭС 643,3 тыс. человек, Ангаро-Енисейского каскада – 164 тыс. человек [628], всех остальных энергетических гидроузлов – около 70 тыс. человек.

При сооружении Волжско-Камского каскада ГЭС было затоплено и перенесено более 2 500 деревень и сел, в которых насчитывалось 126 тыс. дворов, и 96 городов, промысловых посадок, слобод, поселков с почти 30-ю тысячами строений (табл. 24.1).

Таблица 24.1

**Перенос поселений и переселение людей из зон затоплений
водохранилищами Волжско-Камского каскада [29; 123; 420]**

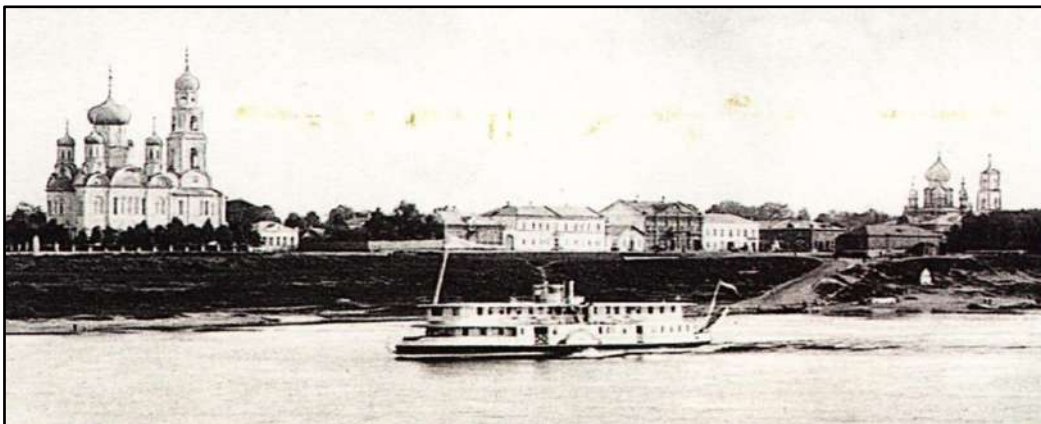
Водохранилище	Перенесено		Переселено, тыс. человек
	населенных пунктов	дворов и домовладений	
Иваньковское	100	4 670	19,5
Угличское	213	5 270	24,6
Рыбинское	745	26 560	116,7
Горьковское	273	11 836	47,7
Чебоксарское	108	8 100	42,6
Куйбышевское	290	43 380	150
Саратовское	86	7 900	25,3
Волгоградское	125	17 860	50
Камское	246	12 900	47,8
Воткинское	178	8 794	61
Нижнекамское	147	8 310	58
Итого	2 513	155 580	643,3

В 1930-х гг. вал индустриализации, захлестнувший берега Верхней Волги строительством канала Москва – Волга и первых трех ГЭС Волжского каскада, привел в Тверской, Московской, Ярославской и Вологодской областях к полному или частичному затоплению 6 городов, более 1 000 сел и деревень, 6 монастырских ансамблей, около 100 сельских и городских храмов, десятков бывших дворянских усадеб [163]. Переносились деревянные строения. Кирпичные, каменные, глинобитные считались непереносимыми. Практиковался перенос строений с разборкой и сборкой. Опробовались передвижка на платформах, санях, катках, сплав на плотках, баржах [357].

Иваньковским водохранилищем было затоплено около 100 сел и деревень. Исчез с Волжского берега г. Корчева (рис. 24.1). В нем проживало около 4 тыс. человек, было 600 домов, из которых 30 каменных, а также 3 храма. Жителей переселили, храмы и каменные дома взорвали. Но случился просчет: в воду ушла только прибрежная, северо-восточная часть города. Сейчас на его месте поросший лесом полуостров.

Угличский гидроузел сооружен в черте г. Углича, у границ старого посада. При строительстве гидроузла снесен и перемещен от р. Волги весь левобережный район города – Малая сторона. По ее главной Кашинской улице прошла ось подходного канала к шлюзу (рис. 24.2). Под водой Угличского водохранилища осталось около 200 деревень и сел, 30 городских и

а



б

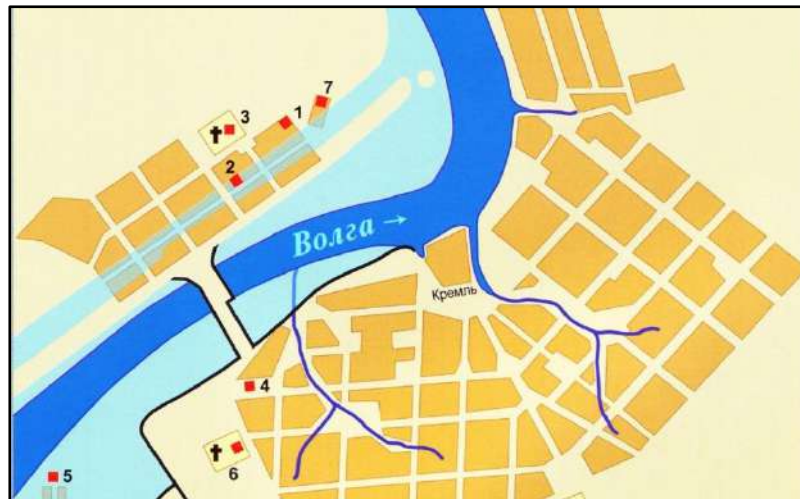


в



Рис. 24.1. Город Корчева: а – вид в начале XX в.; б – план с зоной затопления Иваньковским водохранилищем (1 – Воскресенский собор; 2 – Спасо -Преображенский собор; 3 – церковь Казанской иконы Божьей Матери; 4 – городская больница); в – створный знак на месте Спасо-Преображенского собора [163]

а



б



в



Рис. 24.2. Город Углич: а – зона затопления Угличским и Рыбинским водохранилищами (1– Введенская церковь; 2 – церковь Святого Леонтия Ростовского; 3 – церковь Всех Святых; 4 – церковь Николая Чудотворца «на песках»; 5 – слобода и церковь Входа Господня в Иерусалим; 6 – церковь Воскресения «на убогом дому»; 7 – Супониевский дворец); б – Кашинская улица в начале XX в. в – Подходной канал к Угличскому шлюзу на месте Кашинской улицы [163]

сельских храмов, 2 древних монастырских ансамбля. Ушла под воду приречная часть г. Калязина. Накануне затопления в городе проживало 9 тыс. человек, стояло 1 300 домов, из них 200 каменных и каменно-деревянных. В зону затопления попало более 530 домов. Деревянные строения перенесли на дальние от реки улицы, около 120 каменных зданий разрушили, также и Николаевский собор на набережной. Только уцелевшая колокольня Николаевского собора осталась возвышаться среди воды. Вокруг нее в 1980-х гг. насыпали островок, с 2007 г. идут богослужения, в 2016 г. установили 5 новых колоколов, прихожане приплывают сюда на лодках [СГ, 2019. – №11] (рис. 24.3). Современный г. Калязин насчитывает 14 тыс. жителей.

При заполнении в 1941 – 1947 гг. **Рыбинского водохранилища** в Молого-Шекснинском междуречье затопление охватило 434 га земель, г. Мологу, фабричный поселок Абакумово, г. Борисоглеб, коснулось городов Мышкин, Брейтово, Весьегонск, Пошехонье. Из зоны затопления были перенесены по разным оценкам от 663 до 745 населенных пунктов, от 17 до 26,5 тыс. хозяйств, 26,4 тыс. строений, переустроено 150 км железных дорог, переселено от 116,7 до 130 тыс. человек [29; 108]. Поручены 40 храмов, 3 монастыря [163].

Город Молога (рис. 24.4) располагался при впадении р. Мологи в р. Волгу. Сейчас это место находится в южной части Рыбинского водохранилища. Перед затоплением город насчитывал более 900 домов, из них около 100 каменных. Население составляло 7 тыс. человек. Летом население увеличивалось в несколько раз за счет грузчиков, матросов, водоливов. В иные времена в городе существовало до 70 кабаков. Переселенцы из г. Мологи образовали пос. Новолосьевское под г. Рыбинском. Сейчас в периоды понижений уровня водохранилища бывшая городская территория осушается, привлекая кладоискателей.

Отголоски перенесенного переселения при создании водохранилищ Верхней Волги сохраняются в наследственной памяти уже нескольких поколений [88; 89; 163]. Тем не менее в это время сложились наиболее значимые элементы системы подготовки зон затоплений, которые были успешно применены и развиты в организации строительства следующих водохранилищ Волжско-Камского каскада [89].

При создании **Куйбышевского водохранилища** на Средней Волге было переселено 150 тыс. человек из 18 рабочих поселков, 275 сел и деревень, перенесено на новые места 31 418 частных домовладений и 12 246 строений государственной принадлежности [89]. Плотина Жигулевской ГЭС

расположилась у бывшего волжского города Ставрополя (рис. 24.5), основанного в 1738 г. как укрепленный пункт [603]. К середине XX в. здесь насчитывалось 12 тыс. жителей, на 10 предприятиях районного масштаба работали 750 человек. Не всегда прошедшее время позволяет ясно представить то, что видели своими глазами современники ушедших лет. По описанию начальника Куйбышевгидростроя И.В. Комзина: «Это скорее село, чем город, правда, большое село. Несколько белых каменных зданий в центре, луковки двух церквей. Остальные строения – деревянные, приземистые, почерневшие от времени. В Ставрополе не было ни одной мощеной улицы, и при малейшем ветре в воздух поднимались тучи пыли». Перенос города начался весной 1953 г., осенью 1955 г. был завершен. Каменные здания разбирали или взорвали, был уничтожен старейший ставропольский Троицкий собор. Город перевезли за 8 км к сосновому бору. На новое место переехало 2 540 городских строений [108].

Затопление коснулось г. Казани. Город расположился вдали от волжских пристаней на левом берегу р. Казанки недалеко от впадения ее в р. Волгу. Разливы р. Волги и р. Казанки затопляли пристани и низменные окраинные территории (рис. 24.6), которые затем были покрыты водой Куйбышевского водохранилища, а жители переселены в город [621].

Выше г. Казани на холме Круглая гора при впадении р. Свяги в р. Волгу в 1552 г. возникла деревянная крепость, а затем город Свяжск, в котором к началу XX в. насчитывалось около 3 тыс. жителей. В советские времена закрыли монастыри и храмы. В 1956 г. после заполнения Куйбышевского водохранилища 200 посадских домов ушли под воду, но расположенный на вершине горы центр города, оказавшийся на острове, уцелел вместе с жителями, отказавшимися покинуть свои дома. К концу XX в. жизнь в Свяжске постепенно наладилась. Он сообщается с Казанью речным транспортом, к острову проложена дамба с автодорогой и трубы газоснабжения, возрождаются святыни [603; 621]. Сегодня это один из туристических центров Татарстана (рис. 24.7).

Камское водохранилище коснулось старой уральской промышленности. Многие из заводов в первой половине XX в. оказались заброшенными. Некоторые были затоплены Камским водохранилищем. Среди них: горный завод 1797 г. в пос. Полазна, заводской пруд которого слился с водохранилищем; строгановский завод 1754 г. в д. Хохловке; частично завод в пос. Пожва; Дедюхинский горный завод и сам Дедюхин – город солеваров. Напротив г. Березники через р. Каму стоит старинный городок Усолье,

а



б

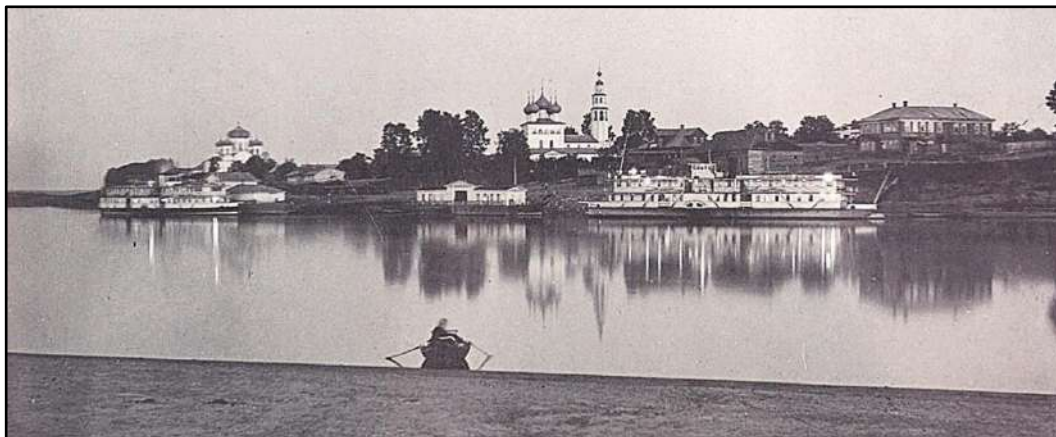


в



Рис. 24.3. Набережная р. Волги в г. Калязине в межень (а) и затопленная половодьем (б), начало XX в. Вид на колокольню Николаевского собора от современной набережной города (в) [163]

а



б



в



Рис. 24.4. Город Молога: а – вид от р. Волги на город, начало XX в.; б – колонна грузовиков с имуществом переселенцев из города, 1937 – 1939 гг.; в – обнаженное дно Рыбинского водохранилища на месте города Мологи при пониженном уровне воды, 1990-е гг. [88; 163]



Рис. 24.5. Город Ставрополь на Волге, Троицкий собор. 1870-е гг. [108]



Рис. 24.6. Подлужная улица г. Казани в разлив р. Казанки, 1900-е гг. Это место впоследствии затоплено Куйбышевским водохранилищем [621]



Рис. 24.7. Город Свяжск на острове в Куйбышевском водохранилище. 2019 г. (Е.А. Шелковников)

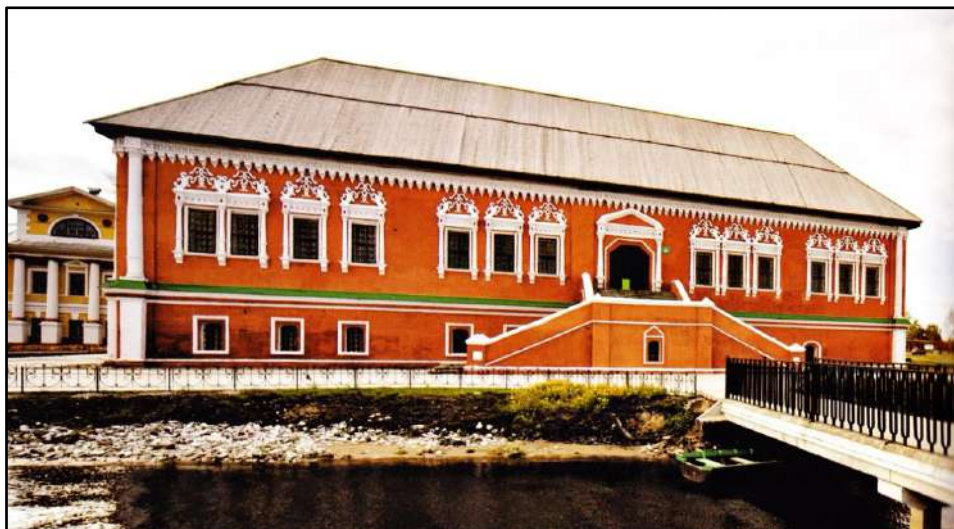


Рис. 24.8. Город Усолье, к которому подступило Камское водохранилище: брошенные дома и восстановленный дом купцов Строгановых. 2000-е гг. [251]



Рис. 24.9. Чебоксарский залив Чебоксарского водохранилища в устье р. Чебоксарки в г. Чебоксары [213]

основанный купцами Строгановыми при соляных приисках в 1606 г. и очутившийся вплотную к воде Камского водохранилища. На длинном плоском острове остался ансамбль вельможных построек – особняки и храмы. Природа не успела до конца растворить в себе то, от чего когда-то отреклись люди, и уцелевшие строения восстанавливаются (рис. 24.8) [251].

Проект **водохранилища Волжской (Сталинградской) ГЭС** на Нижней Волге охарактеризовал начальник Гидропроекта МВД СССР С.Я. Жук в докладной записке И.В. Сталину от 6 октября 1950 г.: «В результате строительства Сталинградской гидроэлектростанции уровень воды в Волге поднимется на 25 м и образуется водохранилище полезным объемом 6,5 куб. километров... Сталинградское водохранилище затопит сравнительно небольшое количество населенных пунктов, промышленных предприятий и ценных земель. Всего будет затоплено 244 тыс. га земель, в том числе садов, огородов, усадебных и пахотных земель около 50 тыс. га. Затоплением будет затронуто 22 небольших промышленных предприятия. Должно быть переселено в новые места 14 060 дворов в сельской местности и 460 домовладений в городах... Железные дороги водохранилищем почти не будут затронуты» [230]. Доклад С.Я. Жука был точным. Исторические документы свидетельствуют: водохранилищем затоплено 269,3 тыс. га земель, из 6 городов и рабочих поселков и из 119 сельских поселений в новые места перемещено 13 180 частных и 5 315 государственных, колхозных и прочих строений [89].

Последними в Волжско-Камском каскаде заполнены Чебоксарское (1981 г.) и Нижнекамское (1979 г.) водохранилища – оба до промежуточных отметок ВПУ = 63,0 м БС.

Подготовка ложа **Чебоксарского водохранилища** велась под НПУ = 68,0 м. В зоне влияния водохранилища оказались 6 городов, 119 сел и поселков. Все города и 28 других населенных пунктов получили инженерную защиту. Из зон затопления и подтопления было вынесено 8 625 домов, переселено 42 тыс. жителей. Водохранилище коснулось столицы Чувашской Республики г. Чебоксары, который от 100 тыс. в 1958 г. к 1984 г. перешагнул 400-тысячный рубеж населения. В нижней части г. Чебоксар при устье р. Чебоксарки образовался красивый залив, обустроенный за счет сметы ГЭС (рис. 24.9), на месте которого снесли несколько извилистых улиц старого города. Сегодня здесь центр отдыха и культурного досуга горожан и туристов [213]. В 2011 г. ОАО «ВолгаНИИгипрозем» обследовало зону затопления между ВПУ = 63,0 м и НПУ = 68,0 м Чебоксарского водохранилища

из которой до 1981 г. было вынесено 1750 домовладений, и обнаружило в ней 526 вновь построенных домов и коттеджей. Так, из с. Макарьево Нижегородской области 43 дома вынести не успели, а после 1981 г. к ним прибавилось 200 новых, и т.п. Местные власти не находят объяснений появлению новостроек в отчужденной для затопления зоне.

По современным официальным данным при подъеме уровня **Нижнекамского водохранилища** от отметки ВПУ = 63,0 м до отметки НПУ = 68,0 м БС предстоит переселить жителей 4 149 дворов, в том числе в Татарстане – 2 672 дворов, Удмуртии – 1 068, Башкортостане – 399, Пермском крае – жителей 10 дворов.

В бассейне р. Дона **Цимлянским водохранилищем** затоплено 264 тыс. га земель. Из зоны затопления было вынесено 177 населенных пунктов, более 13 тыс. дворов, 1,6 тыс. строений (рис. 24.10), несколько участков железных и автомобильных дорог, линий связи [294; 395].

Приречный характер заселения Восточной Сибири определил сравнительно высокую плотность населения в зоне **Братского водохранилища**. На конец 1950-х гг. она составляла 12 чел/км² при общей заселенности смежных с водохранилищем районов в 0,7 чел/км² [382]. Деревни по берегам р. Ангары исстари располагались привольно, всегда в тех местах, где горы отходят от берегов, на нижних террасах или пологих береговых склонах, ориентированных на юг, юго-восток и юго-запад. Вдоль Ангары не было сухопутного тракта, транспортной артерией зимой и летом служила река [295]. Из зоны затопления Братского водохранилища было переселено около 70 тысяч человек. Перенесено 238 населенных пунктов, районных центров, из них полностью: Тангуй, Усть-Уда, Балаганск, Братск, Заярск, частично – Нукуты, Олонки и строения в городах Усолье-Сибирском, Свирске и поселке Тельма. Всего из сельских населенных пунктов, районных центров и городов перенесено свыше 16 тыс. дворов колхозников, рабочих и служащих и около 7 тыс. строений колхозов, государственных учреждений и кооперативных организаций на расстояния от 1 до 80 км. Например, село Братск, начавшееся в 1654 г. с постройки Братского острога на левом берегу р. Оки при впадении ее в р. Ангару, просуществовало 307 лет до создания в 1961 г. Братского водохранилища (рис. 24.11), затем дало свое имя новому городу гидростроителей Братску, было затоплено, а его жители (2 845 человек в 1939 г.) влились в состав горожан. Расходы по восстановлению переносимых из зоны водохранилища строений личного и общественного пользования принимались за счет сметы гидростроительства.



Рис. 24.10. Переселение. Картина неизвестного художника [294]



Рис. 24.11. Улица в с. Братске до затопления [295]



Рис. 24.12. Треножник из жердей, оставляемый на месте стояночного чума кочующим тундровым населением [209]

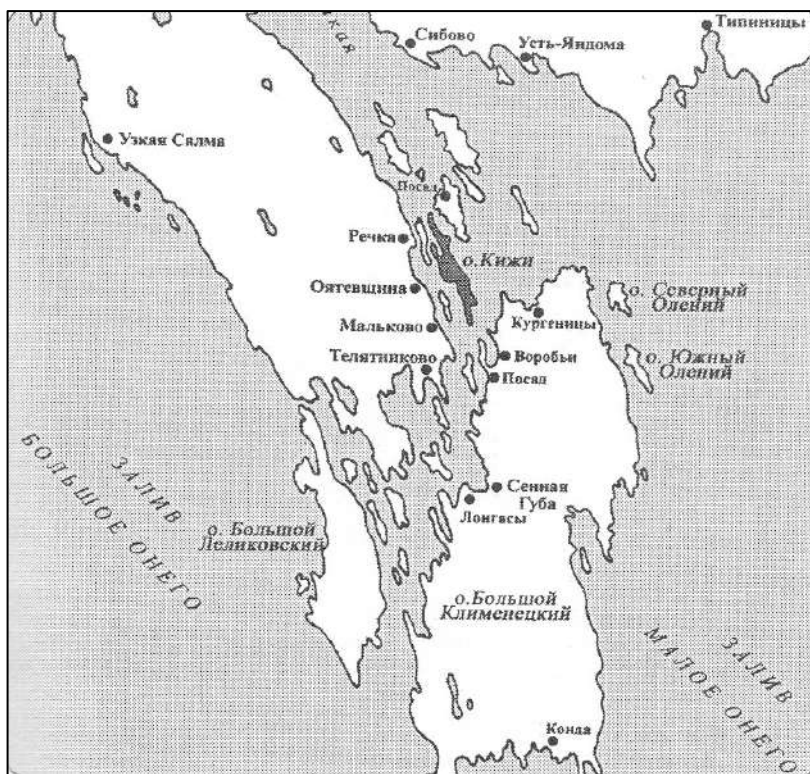


Рис. 24.13. Карта Кижских шхер на Онежском озере [423] и Государственный историко-архитектурный музей-заповедник «Кизи» на одноименном острове



Рис. 24.14. Умирающая деревня Короткая в Ковернинском районе Нижегородской области: из нескольких десятков домов жилых осталось три. 2010 г.

Схема переселения населения разрабатывалась проектными институтами с участием областных и районных организаций и представителей колхозов [382; 630].

Переселение населения из зон водохранилищ, в том числе Братского, находилось в тесной связи с географическим размещением восстанавливаемых сельскохозяйственных угодий, а также предприятий, дорог и других коммуникаций.

В зонах произведенных в 1940 – 1970-х гг. затоплений не было крупных по современным меркам промышленных предприятий, но были в значительном количестве предприятия местного уровня: маслозаводы, сепараторные пункты, скотобойни, райпромбыткомбинаты, рыбозаводы, мельницы, промысловые артели, леспромхозы, лесопилки, мебельные цехи, кирпичные заводы, МТС и т.п. Так, в зоне затопления Братского водохранилища находились 54 подобных предприятия. Некоторые из них ликвидировались, другие восстанавливались с реконструкцией на новых местах. Вот один из примеров. В зону водохранилища попал остров Варничный на р. Ангаре у г. Усолья-Сибирского, на котором располагался Усольский выпарной сользавод с подсобными и обслуживающими цехами. Примитивная добыча соли здесь существовала с 1703 г. При советской власти, с 1923 г., перешли на получение концентрированных рассолов выщелачиванием путем нагнетания в семисотметровые скважины пресной воды, в 1939 г. ввели в эксплуатацию механизированный сользавод. Усольский сользавод с затопляемого острова Варничного был снесен после сдачи в эксплуатацию построенного в г. Усолье-Сибирском более совершенного вакуумного сользавода [382]. Последний в 2010-х обанкротился и был закрыт.

Среди путей сообщения, существенно значимых для экономики страны и попавших под затопление в 1940 – 1970-е гг., имеется немного примеров. Один из них касается также Братского водохранилища. Бассейн р. Ангары пересекается Ленской железной дорогой Тайшет – Братск – Лена, построенной в 1950 г. Эта дорога на протяжении 910 км оказалась прерванной Братским водохранилищем, причем с затоплением моста через р. Ангару. Факт затопления участка новой железной дороги показал, что в ряде случаев выбор районов размещения транспортных объектов делался без увязки с другими отраслями хозяйства при общей плановой системе в стране. Дорогу пришлось восстанавливать посредством сооружения обходной линии с переходом через р. Ангару по плотине Братского гидроузла. При установлении обходной трассы были уже учтены затопления от следу-

ющего за Братским Усть-Илимского водохранилища [382].

В зону затопления **Красноярского водохранилища** попали 134 поселения, в которых проживало около 52 тыс. человек. Основное переселение было проведено в 40 новых и старых населенных пунктов, которые создавались на побережье или реконструировались. Было снесено 9096 частных дворов и 6371 государственное строение, в г. Абакане сооружена система инженерной защиты с дамбами и насосными станциями [676].

Плотность населения в зоне **Курейского водохранилища**, согласно проекту, составляла 0,21 чел/км², т.е. при его площади 558 км² здесь проживало немногим более 100 человек – рыбаков, охотников, кочующих оленеводов.

Территория, затопленная **водохранилищем Усть-Среднеканской ГЭС** на р. Колыме, постоянно проживающего населения не имела [296] (рис. 24.12).

В зоне затопления **Зейского водохранилища** оказалось 14 небольших населенных пунктов с 1080 строениями различного назначения, из которых 600 принадлежали государственным и кооперативным организациям и 480 – индивидуальным владельцам, было расположено 64 км автодорог и около 300 км линий связи, построенных в 1928 – 1930 гг. на деревянных столбовых опорах. Из промышленных объектов в затапливаемой зоне находилось оборудование Дамбукинского прииска. Оно было демонтировано и перенесено на новые золотоносные участки. Основные сырьевые запасы золота в зоне водохранилища ко времени его наполнения были выработаны. Из зоны водохранилища подлежало переселению 4 460 человек, из них занятых на приисках – 2 500 и на лесозаготовках – 1 300 человек. Наиболее крупный поселок Дамбуки включал 540 одноэтажных бревенчатых строений и 2 100 человек жителей. Перенос из зоны затопления поселка Дамбуки и других поселков прииска осуществлен на 12 км, на берегу водохранилища построен пос. Новые Дамбуки. Он был запроектирован на 2 050 человек из новых домов общей площадью 8 100 м² и 250 переносимых домов с жилой площадью 10 300 м². Остальному населению было предоставлено 8 новых поселков [311].

В случае, если будет построено **Эвенкийское (Туруханское) водохранилище** на р. Нижней Тунгуске площадью зеркала 9 400 км² для обеспечения работы ГЭС мощностью 12 000 МВт, будут подлежать переустройству г. Тура (5 700 чел. в 2008 г.), частично г. Надым, поселки Тутачаны и Учами – с переселением 10 тыс. человек [444; 731].

Переселения людей, в большинстве сельских жителей, из зон водохранилищ при гидроэнергетическом строительстве в России были относительно велики, особенно в первой половине XX в. Но в 1974 г. вышло Постановление Совета Министров СССР о ликвидации малых и бесперспективных деревень: 114 тыс. из них было приговорено к уничтожению. Это была политика советского государства. Страна из деревенской превращалась в городскую [251]. Для примера на рис. 24.13 приведен план Кижских шхер (островов) в Онежском озере. Три десятка деревень были уже в 1563 г. внесены в Писцовую книгу Московского государства; в 1892 г. по Формулярным ведомостям Спасо-Кижского церковного прихода здесь проживало 3123 человека – мужчин 1444, женщин 1579; в 1950 г. на территории Кижского сельского совета, который соответствовал Кижскому приходу, было населения 885 человек – мужчин 350, женщин 535; на 2010 г. в этих деревнях зарегистрированы 26 жителей [423]. Между переписями населения 2002 и 2011 гг. с карты России исчезли 8,5 тыс. сел и деревень (рис. 24.14). При отсутствии гидроэнергетического строительства. Причиной процесса называют урбанизацию и ничего плохого в нем как бы и нет.

24.2. Сбережение памятников археологии, истории и культуры

Так как территории в зонах водохранилищ на сотни лет покрываются водой, актуализируется вопрос о наиболее полном их археологическом исследовании, изучении, защите от затопления или вывозе особо ценных исторических памятников архитектуры и материальной культуры.

В период индустриализации 1930 – 1940-х гг. данный вопрос вызывал мало интереса. Символом рукотворного потопа на Верхней Волге стали развалины древних русских храмов, выступавшие над поверхностью водохранилищ (рис. 24.15). Но этот факт не огорчал большевиков. Неисчислимо большее количество храмов по всей стране за годы советской власти было взорвано, повалено, разобрано на щебень и кирпичи, обезглавлено, вместе с домами причта и монастырскими кельями приспособлено под клубы, спортзалы, театры и кинотеатры, планетарии, музеи, отделения сберегательного банка, молокозаводы, пункты по переработке рыбы, коптильни, зернохранилища, пекарни, столовые, чайные, магазины, конторы, склады, гаражи, мастерские, машинно-тракторные станции (МТС), гармонные фабрики,

цехи елочных игрушек, кочегарки, крематории (для «врагов народа»), дизельные электростанции, фельдшерские пункты, дома отдыха, санатории, дома престарелых, учебные заведения, общежития, исправительные колонии, тюрьмы, казармы, заброшено и разрушено временем (рис. 24.16). Красноречив документ: «Председателю ВЧК тов. Дзержинскому Ф. Э. Указание. В соответствии с решением ВЦИК и Сов. Нар. Комиссаров необходимо как можно быстрее покончить с попами и религией. Попов надлежит арестовывать как контрреволюционеров и саботажников, расстреливать беспощадно и повсеместно. И как можно больше. Церкви подлежат закрытию. Помещения храмов опечатывать и превращать в склады. Председатель ВЦИК Калинин. Председатель Сов. Нар. Комиссаров Ульянов (Ленин). 1 мая 1919 г.» [кр.гу / 1425]. По этому поводу замечено, что атеизм является тоже своего рода религией, потому что отрицание Бога – тоже вера. Люди верят, что они произошли от обезьяны [197]. Не знают, а верят [558].

В последующие десятилетия церкви также ломали (рис. 24.17) и затапливали. Но ряд памятников истории и культуры был сохранен.

В 1938 – 1941 гг. была построена, а в 1947 – 1955 гг. восстановлена после войны Верхне-Свирская ГЭС на р. Свири, подпор от которой распространился до Онежского озера, сделав его озером-водохранилищем в составе Беломорканала, а затем и Волго-Балтийского водного пути (см. рис. 4.24). На обезлюдившем острове Кижы с сохранившимся деревянным ансамблем Спасо-Кижского погоста XVIII – XIX веков в 1966 г. был основан Государственный историко-архитектурный музей-заповедник (см. рис. 24.13). По отчету заповедника, за навигацию 2019 г. к острову 592 раза швартовались теплоходы с туристами общим числом 190 тыс. человек, из которых половина – зарубежные гости.

На р. Волге от затопления Горьковским водохранилищем огражден дамбой Ипатьевский монастырь с ансамблем каменных строений 1690-х гг. в г. Костроме (рис. 24.18). В г. Чкаловске (бывшее с. Василево) из зоны переработки берега перенесен дом (рис. 24.19), в котором родился и жил В. П. Чкалов (1904 – 1938) – летчик, Герой Советского Союза, в 1937 г. совершивший беспосадочный перелет Москва – Северный полюс – Ванкувер, США [603].

В зоне Чебоксарского водохранилища, начиная с 1969 г. до его частичного наполнения в 1981 г., Институтом археологии АН СССР выполнено обследование стоянок древнего человека у г. Володарска, с. Черная Маза, поселений эпохи бронзы и неолита у населенных пунктов Юрино, Майдан и др.

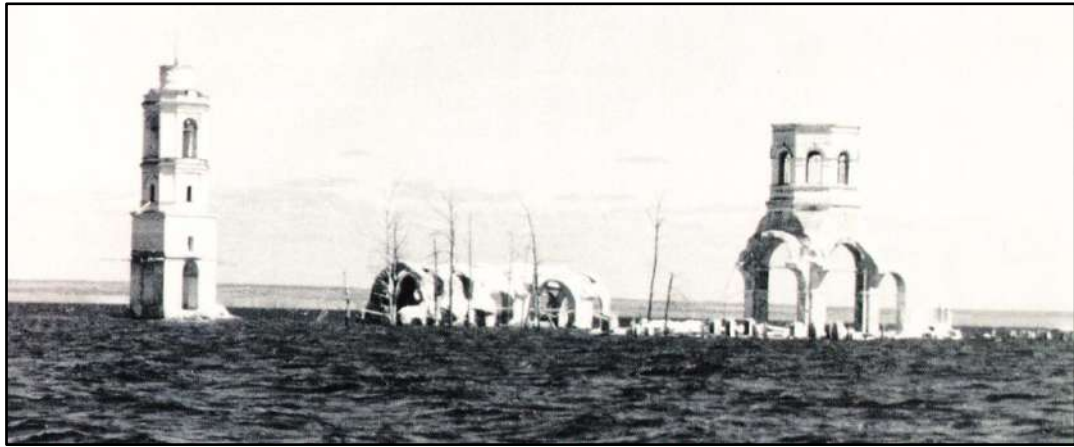


Рис. 24.15. Развалины Леушинского Иоанно-Предтеченского женского монастыря постройки 1875 г. в верховьях Шекснинского плеса Рыбинского водохранилища. 1951 г. [163]



Рис. 24.16. Далматовский монастырь над рекой Исеть на Урале, в котором размещался молокозавод, 2007 г. [251], и Богоявленский собор в г. Тотье, превращенный в городской центр культуры, 2011 г.

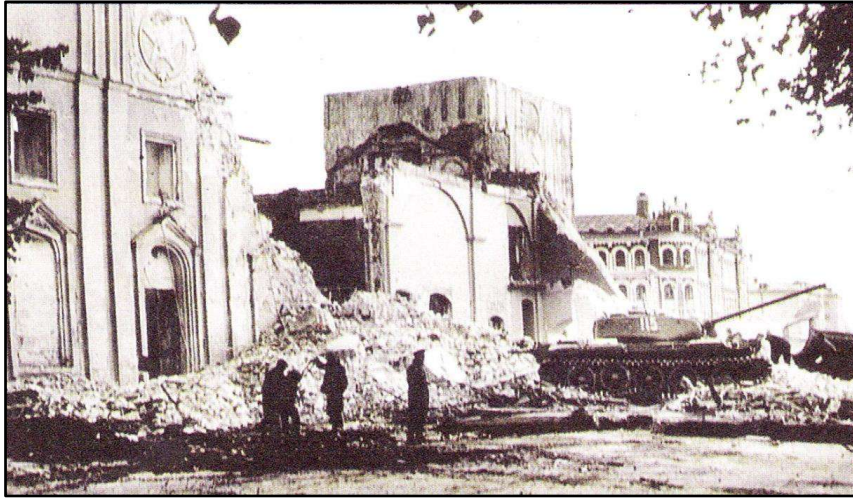


Рис. 24.17. Разрушение Спасо-Всеградского собора постройки 1698 г. в г. Вологде. 1972 г.



Рис. 24.18. Свято-Троицкий Ипатьевский монастырь в г. Костроме за защитной дамбой от затопления Горьковским водохранилищем



Рис. 24.19. Дом-музей В.П. Чкалова в г. Чкаловске на берегу Горьковского водохранилища



Рис. 24.20. Свято-Троицкий Макарьево-Желтоводский монастырь на берегу р. Волги, 1890-е гг. [269], и окруженный дамбой инженерной защиты от затопления Чебоксарским водохранилищем, 2000-е гг.



Рис. 24.21. Село Юрино на берегу Чебоксарского водохранилища под защитой оградительной дамбы, 2011 г.: Шереметевский замок и улица Советская



Рис. 24.22. Свято-Вознесенский Макарьевский монастырь на берегу р. Волги, 1910-е гг. [621], и Куйбышевского водохранилища, 2008 г.

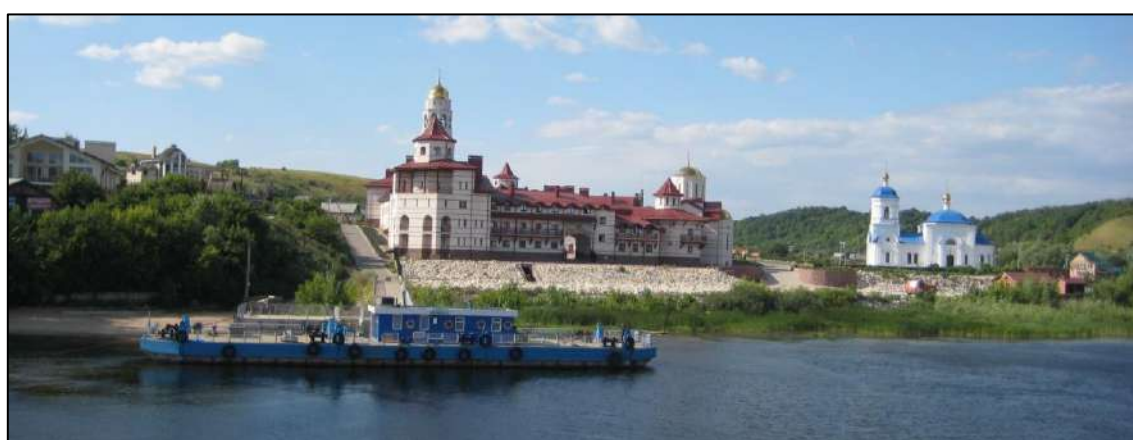


Рис. 24.23. Новый монастырь у с. Винновки на берегу Саратовского водохранилища в Самарской Луке, 2014 г.

Из зоны затопления в г. Чебоксарах вынесены в безопасные места некоторые строения и фрагменты старых жилых и административных зданий, защищены от воздействия водохранилища ансамбль Троицкого монастыря, комплекс храма Воскресения, Успенская церковь XVIII в. На левом берегу против г. Лыскова защитной дамбой окружен Макарьево-Желтоводский монастырь, основанный в 1435 г. (рис. 24.20). Каждую весну с. Макарьево заливало водой. Наводнение 1926 г. было самым высоким за историю памятника: три недели лодки плавали через ворота на территорию обители. После ликвидации монастыря в 1925 г. в жилых помещениях разместили детскую колонию, в годы войны – эвакогоспиталь, с 1943 г. по 1988 г. – Лысковский ветеринарный техникум со студенческим общежитием, в трапезной был спортивный зал, кочегарка. С 1990 г. древнюю обитель вернули в лоно православной церкви, к настоящему времени монастырь восстановлен. Близ впадения р. Ветлуги в р. Волгу защищено дамбой с. Юрино, в котором сохранился Шереметевский замок и Михайло-Архангельская церковь. История такова: в 1812 г. владельцем села и окрестных деревень стал помещик В.С. Шереметев. Роду Шереметевых в Нижегородской губернии принадлежало 7 115 душ крестьян до отмены крепостного права в России в 1861 г. (на 4 года раньше отмены рабства в США). Строительство усадьбы с парком, прудами и дворцом осуществлено за 1835 – 1914 гг. В 1869 – 1889 гг. построен храм. По переписи 1897 г. население с. Юрино составляло 2 159 человек – в основном кожемяки и портные: здесь в большом количестве шили рукавицы из овчинных кож для продажи по всей России. Революционным населением после 1917 г. замок был разграблен, усадьба пришла в запустение [269; 621]. Сейчас в замке 15 гостиничных номеров, он вяло реставрируется, Михайло-Архангельская церковь действует, а ближняя к р. Волге Советская (Передняя) улица райцентра зияет выбитыми окнами приватизированных и брошенных квартир в старых домах (рис. 24.21).

По прошествии богоборческих лет бывшие активисты КПСС в одночасье оказались в уцелевших церквях со свечками. Народ, прошедший через годы атеизма, понял, что без Бога ничего хорошо не получается. Повелось восстановление выживших (рис. 24.22) и строительство новых храмов и монастырей, в том числе на берегах водохранилищ (рис. 24.23).

Недалеко от г. Свияжска, близ впадения р. Свияги в р. Волгу на горном склоне расположился Свято-Вознесенский Макарьевский монастырь, основанный в XV в. Его каменные здания построены в 1880-х гг. В 1920 г. обитель упразднили. В советские времена в монастырских кельях размещался

туберкулезный санаторий. В начале 1990-х гг. объект был возвращен Казанской епархии. Началось второе служение монастыря [621]. Сравнивая старую и современную фотографии монастыря (см. рис. 24.22), можно ощутить высоту подпора уровня р. Волги Куйбышевским водохранилищем.

По данным синодального отдела взаимоотношений церкви с обществом и СМИ за время, прошедшее после распада СССР, количество православных храмов в России выросло примерно с 2 тысяч до 21849 в 2019 г. Как правило, ремонт и строительство церквей финансируют частные спонсоры из крупного бизнеса и государственные корпорации. Примерно четверть населения России – мусульмане, есть еще иудеи, буддисты и др., у них свои храмы. Историческая религия – фундамент, на котором держится любое традиционное общество. Этот фундамент в России восстанавливается.

Плавно переместимся на р. Ангару. Прибрежье р. Ангары – давно обжитая местными народами, а затем русскими, территория, богатая памятниками археологии и традиционного зодчества. Перед образованием Братского водохранилища в среднем течении реки и на ее притоках в 1954 – 1959 гг. проводились обширные археологические раскопки. Они вскрыли остатки древних поселений, были изучены наскальные рисунки – писаницы, петроглифы (рис. 24.24). Наиболее интересные из писаниц (70 блоков) вырублены из скал и доставили в Иркутский художественный музей. В 1654 г. был построен Братский острог на левом берегу р. Оки при впадении ее в р. Ангару, положивший начало селу Братску. Перед затоплением села Братским водохранилищем в 1961 г. две, сохранившиеся к этому времени башни острога, были консервированы и перенесены одна в Москву в музей народного зодчества в Коломенском, другая – в парк на мысе Падун в г. Братске напротив Братской ГЭС (рис. 24.25). Эти памятники хранят представление о характере деревянного крепостного строительства XVII в. в Сибири [295].

В 1960-х гг. археологические изыскания проводили в зоне затопления Усть-Илимского водохранилища [295].

В 2015 г. наполнено водохранилище Богучанской ГЭС на р. Ангаре. С 1970-х гг. на территории Красноярского края, где предполагалась основная часть зоны затопления, работали археологические экспедиции. Они зафиксировали 142 памятника, восходящие к различным эпохам – от 40 тыс. лет до н.э. до XVI в. н.э.. Среди них писаница Аплинский порог, петроглифы Тимохин камень, Усть-Кова, относящиеся к эпохам неолита и бронзы, уникальные для высоких широт поселенческие (Хедугин ручей, Медвежий утес) и погребальные (шивера Проспихино) комплексы. С 2005 г. велись

археологические изыскания в верховьях будущего водохранилища на территории Иркутской области на 60 археологических объектах (рис. 24.26).

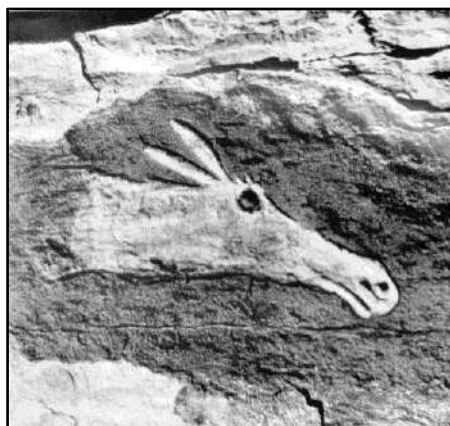


Рис. 24.24. Голова лосихи, выбитая на скале. Второй каменный остров на р. Ангаре в 430 км от г. Иркутска. Эпоха неолита [295]

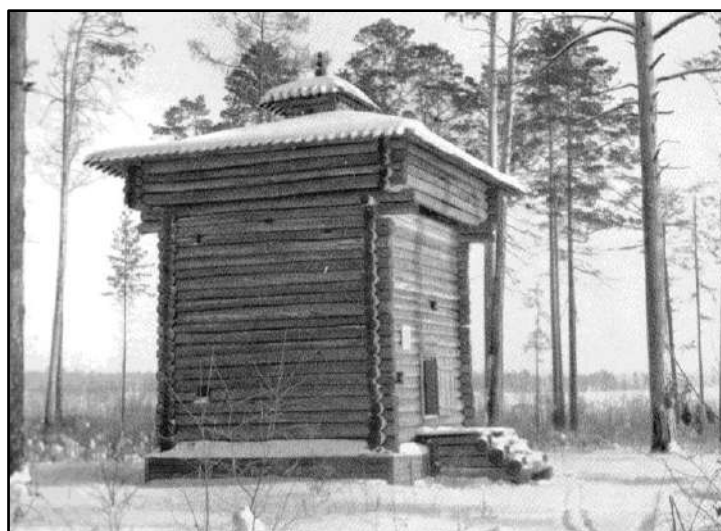


Рис. 24.25. Башня Братского острога, перенесенная из затопленного с. Братска в г. Братск. 1966 г. [295]

Это стоянки и поселения, относящиеся к различным эпохам – от периода мезолита до позднего Средневековья. Кроме того, в затапливаемой зоне насчитали около двух десятков памятников деревянного зодчества. Чтобы находки не ушли под воду, надо было их подробно изучить и вывезти ценный археологический (рис. 24.27) и архитектурный материал. Около 100 объектов в красноярской зоне к 2011 г. были научно обработаны, а на обработку памятников иркутской зоны требовалась сумма, составлявшая более 1,5 % сметы гидроузла. Как и при социализме, денег на это не хватило и удалось спасти лишь часть артефактов.

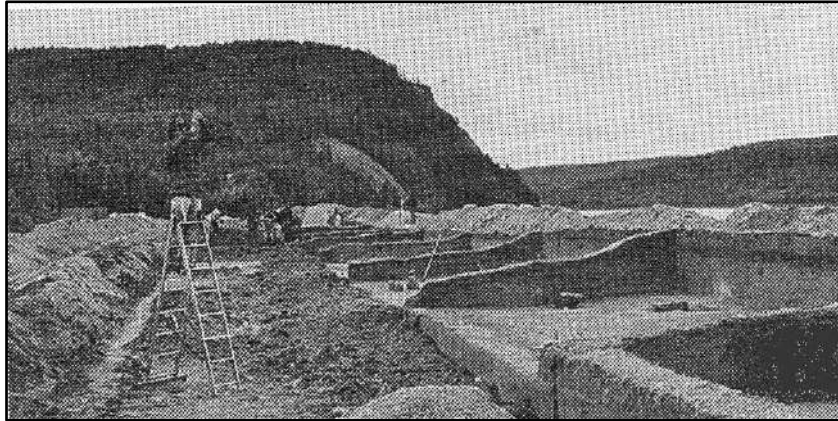


Рис. 24.26. Раскоп на археологическом памятнике Окуневка в зоне затопления Богучанским водохранилищем

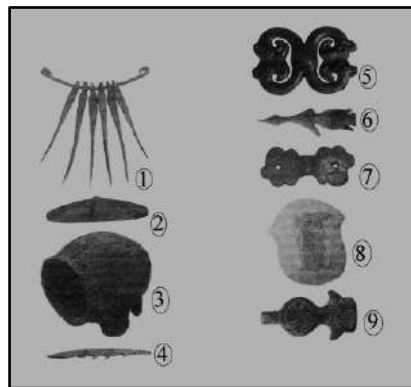


Рис. 24.27. Находки Института археологии и этнографии СО РАН в зоне затопления Богучанским водохранилищем: 1 – Шаманские подвески. Железо. Кежма; 2 – Рыбка -приманка. Камень. Село Взвоз; 3 – Керамический дымокур. Кежма; 4 – Костяная острога. Хедугин ручей; 5 – Бронзовая бляха. Проспихина Шивера; 6 – Подвеска. Металл. Усть-Кова; 7 – Бронзовая бляха. Колпаков ручей; 8 – Топор с ушками. Камень. Толстый Мыс; 9 – Бронзовая бляха. Окуневка.

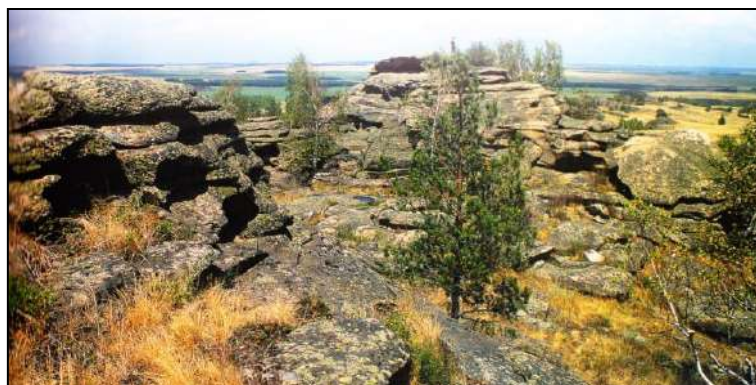


Рис. 24.28. Долина за горой Аркаим на Южном Урале, предназначавшаяся для затопления водохранилищем, строительство которого прекратили из уважения к археологии [241]

Примером уважения археологии приведем следующий факт. В Ильменских горах Южного Урала в долине р. Караганки (рис. 24.28) с 1984 г. начали строить водохранилище хозяйственного назначения. Археологическое обследование территории перед затоплением привело к открытию укрепленного поселения эпохи бронзы XVIII – XVI вв. до н.э. Найденный город археологи назвали Аркаим по имени ближайшей горы. В связи с этим в 1991 г. местность объявили заповедной, строительство водохранилища прекратили. Частично раскопанный город представлял собой одно круглое здание из бревенчатых срубов, обмазанных глиной, с площадкой в центре. В 2000-е гг. в заповеднике Аркаим, кроме городища, появились реконструкции жилищ каменного века и могильных курганов, древние скифские бабы, казачья усадьба, музей печей, музей природы и человека [241; 251] и наверняка появится что-нибудь еще.

24.3. Градообразующая роль ГЭС

ГЭС и города. Бытует термин «градообразующая роль». Такую роль способен сыграть большой завод, или, например, заложенный в дикой тайге алмазный карьер (рис. 24.29), и обязательно – строительство крупной гидроэлектростанции.

Опыт гидроэнергетического строительства в России утвердил понятие о ГЭС как о макроэнергетических проектах, затрагивающих различные отрасли экономики. В их реализацию вовлекались непосредственно или косвенно десятки тысяч людей, загружались заказами существующие предприятия в области энергетического машиностроения, электротехнической промышленности, металлообработки и пр. [728]. Вместе с энергоисточником, как правило, возникали крупные базы стройиндустрии, транспортные связи, капитальные жилые поселки и города. Они в свою очередь стимулировали промышленное развитие районов, вокруг них создавались новые промышленные образования.

Помимо влияния, оказываемого на темпы роста и размещение промышленного производства, гидроэнергетическое строительство решало социально-экономические проблемы, стоявшие перед страной. Вследствие переустройства населенных пунктов, попадавших в зоны затопления водохранилищ, мелкие разрозненные поселки с плохими коммуникациями и низким уровнем благоустройства объединялись в крупные населенные пункты и



Рис. 24.29. Город Мирный (40 тыс. населения) рядом с карьером алмазной трубки «Мир» в Якутии: начало города, 1955 г.; водохранилище на р. Ирелях (15 млн м³) для водоснабжения ГОК и города (построено в 1964 г.), 2008 г.

города. Благодаря этому население привлекалось к производительному труду, получало возможность пользоваться всеми видами городского благоустройства и обслуживания. Создавались условия для повышения культурного уровня и образования людей. Особенно сильно эта сторона гидроэнергетического строительства проявлялась в сельском хозяйстве, где ликвидировалась распыленность и измельченность сельскохозяйственных предприятий и поселений, повышалась концентрация и интенсификация сельскохозяйственного производства, создавались лучшие культурно-бытовые условия для сельского населения [149].

Гидростроительство на р. Волге ускорило процесс урбанизации региона. Удельный вес городского населения Поволжья в период 1959–1970 гг. увеличился с 46 % до 57 %. Выросли старые города и возникли новые, прилегающие к гидроузлам [89] (табл. 24.2).

При строительстве Нижегородской (Горьковской) ГЭС на месте правобережных деревень Салагузово, Пестово, Палкино, Малахово встал город гидростроителей Заволжье. В Чувашской Республике с 1965 г. стал городом Новочебоксарск, при строительстве Чебоксарской ГЭС получил современные жилые кварталы и предприятия промышленной индустрии, проложенная по сооружениям гидроузла автомагистраль связала волжские берега (рис. 24.30). В связи со строительством Воткинской ГЭС на р. Каме возник г. Чайковский, в котором к 1978 г. уже насчитывалось 66 тыс. жителей. Строительство Нижнекамской ГЭС и КАМАЗа в несколько раз увеличило население г. Набережные Челны. Расположенный у Жигулевской ГЭС г. Тольятти*, бывший волжский Ставрополь, основанный в XVIII в., к середине XX в. насчитывал 12 тыс. жителей, а за следующие полвека его население выросло до 700 тыс. человек и сам город превратился в индустриальный, научный, культурный и образовательный центр (рис. 24.31).

Райцентр Саратовской области г. Балаково, основанный на р. Волге в 1762 г., за время строительства рядом с ним Саратовской ГЭС увеличил свое население до 140 тыс. жителей. С возведением Волжской (Сталинградской) гидроэлектростанции связано появление на географической карте г. Волжского – на левом берегу Волги, поскольку здесь размещались производственные предприятия строительной индустрии [108].

Все население приволжских и прикамских городов с 2 млн в 1926 г. увеличилось до 14,5 млн человек в 1992 г. В Нижнем Новгороде в 1914 г. проживало 90 тыс., губерния насчитывала 3,5 млн человек, сейчас в

*Тольятти Пальмиро (1893 – 1964) – один из основателей и генеральный секретарь (с 1926 г.) Итальянской коммунистической партии. В 1940 – 1944 гг. жил в СССР [438].

городе 1,25 млн, в области 3,2 млн человек.

Таблица 24.2

Города и промышленные узлы Приволжья, возникшие на базе гидроэлектростанций в 1950 – 1970-е гг. [149; 603]

ГЭС, город	Численность населения, тыс. человек		Предприятия построенные гидростроителями
	до начала строительства ГЭС	после строительства ГЭС	
Нижегородская (Горьковская) ГЭС, г.Заволжье с 1964 г.	Несколько деревень	27,2 (1968 г.)	Моторный завод
Чебоксарская ГЭС, г. Новочебоксарск с 1965 г.	Незаселенная местность	77 (1978 г.) 121 (1992 г.)	—
Воткинская ГЭС, г. Чайковский с 1962 г.	Пос. Сайгатка	66 (1978 г.)	Завод синтетического каучука, комбинат шелковых тканей
Нижнекамская ГЭС, г. Набережные Челны	Одноименный город с 1930 г.	272 (1978 г.) 520,3 (1998 г.)	Завод грузовых автомобилей (КамАЗ)
Жигулевская (Куйбышевская) ГЭС, г. Тольятти с 1964 г.	г. Ставрополь, около 12 тыс. жителей, все переселены	167,2 (1968 г.) 502 (1979 г.) 716,3 (1998 г.)	Заводы суперфосфатный, синтетического каучука, азотно-туковый, синтетического спирта, Волжский автомобильный (ВАЗ)
Саратовская ГЭС, г. Балаково с 1913 г.	Одноименный город, 30 тыс. жителей	89,5 (1968 г.) 140 (1977 г.) 205,8 (1998 г.)	Завод химического волокна
Волжская (Сталинградская) ГЭС, г. Волжский с 1954 г.	Незаселенная местность	124,3 (1968 г.) 203 (1977 г.) 290,7 (1998 г.)	Химический комбинат, машиностроительный, нефтеперерабатывающий заводы

Сегодня на берега водохранилищ потянулись состоятельные индивидуальные застройщики (рис. 24.32).

Непреходящее значение в развитии производительных сил Сибири имел ввод в строй первых гидроэлектростанций Ангаро-Енисейского каскада: Иркутской, Братской и Красноярской.

На базе Иркутской ГЭС был построен первый в Восточной Сибири алюминиевый завод, получили развитие химические производства. Крупнейшим промышленным образованием явился Братский энерго-

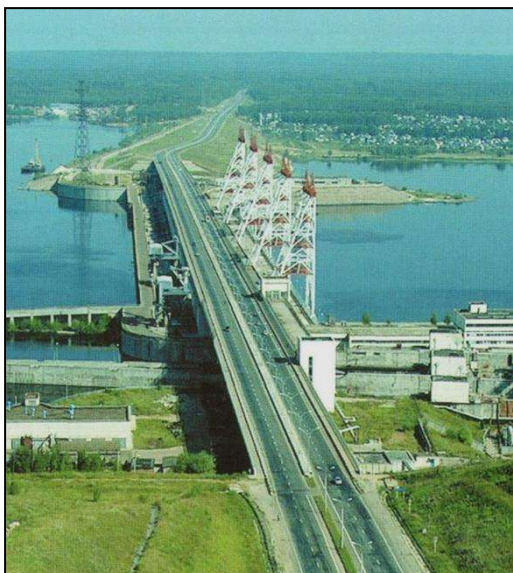


Рис. 24.30. Автодорожный переход через р. Волгу по сооружениям Чебоксарского гидроузла [108]



Рис. 24.31. Панорама Комсомольского района г. Тольятти, прилегающего к Жигулевской ГЭС [566]



Рис. 24.32. Новый коттеджный поселок Федорово на левом берегу Саратовского водохранилища ниже шлюзов Жигулевского гидроузла



Рис. 24.33. Центральная часть г. Братска на берегу Братского водохранилища. Макет генерального плана 1968 г.: I – площадь им. В.И. Ленина; II – бульвар им. С.М. Кирова; III, IV – районные парки; V – центральный городской парк [295]



Рис. 24.34. Усть-Хантайская ГЭС. Поселок эксплуатационников Снежногорск (построен к концу 1980 -х гг. на месте снесенного поселка строителей из деревянных домов) [sunimages.ru.net]

промышленный комплекс, использующий энергию Братской, а затем и Усть-Илимской ГЭС. В регионе получили развитие цветная металлургия, горнорудная, лесная, лесоперерабатывающая отрасли. Сам г. Братск – конгломерат 8 районов, это бывшие поселки, возникшие близ промышленных предприятий и удаленные один от другого на 10 – 45 км: Гидростроитель, Энергетик, Падун (северный жилой район), Братское море, Чекановский, Строителей, Порожский (южный район) и центральная часть города (рис. 24.33). Сегодня Братск – серьезный город с 250-тысячным населением. Основа экономики: ГЭС, алюминиевый завод, целлюлозно-бумажный комбинат. К Братской ГЭС приезжают фотографироваться свадьбы. А когда ветер тянет в сторону города муторный запах целлюлозы, прохожие закрывают носы варежками и на вопрос приезжего «почему так воняет?» привычно отвечают «до вас не пахло!». На базе Красноярской ГЭС создан Средне-Енисейский энергопромышленный комплекс.

При строительстве ГЭС в Сибири доля затрат в производственную и социальную инфраструктуру составляла до 20 – 25 % сметной стоимости строительства. Эти средства направлялись на решение межотраслевых и общегосударственных задач. Создаваемые при строительстве ГЭС базы стройиндустрии, дороги и коммуникации, жилищные комплексы закладывали основу инфраструктуры районов строительства и в значительной степени способствовали последующему развитию производительных сил прилегающих районов [195].

Опыт Усть-Хантайской, Вилюйской, Колымской ГЭС убедил их строителей, что создание комфортных условий жизни в постоянных поселках городского типа (рис. 24.34) должно быть одним из основных принципов организации строительства и последующей эксплуатации гидроэлектростанций в районах крайнего севера России [296; 335].

В современные времена корпорации, строящие и эксплуатирующие промышленные объекты, точно разбросанные по карте страны, предпочитают не тратиться на соцкультбыт, а отдают предпочтение вахтовому методу привлечения работников. Менее затратно, но недальновидно.

Издержки урбанизации. Урбанизация, это процесс повышения роли городов в развитии общества. Предпосылки урбанизации – рост в городах индустрии, развитие их культурных и политических функций, углубление территориального разделения труда. Для урбанизации характерны приток в города сельского населения и возрастающее маятниковое движение населения из сельского окружения и ближайших мелких городов в крупные города на работу, по культурно-бытовым надобностям и пр. [603]. Давно стали

считать, что урбанизация – процесс объективный, естественный, общемировой тренд. По данным ООН, доля горожан уже составляет более 50 % населения Земли и с каждым годом увеличивается. Городского населения в США 76 %, Германии 85,3 % (1995 г.), в России 73 % (1996 г.) [603].

В нашем государстве до 1980 г. действовала программа ликвидации неперспективных деревень. Количество подлежащих ликвидации деревень включали в годовые и пятилетние планы. В РСФСР к 1980 г. оставалось 177 тыс. поселений – 40 % от прежнего количества. Число деревенских жителей к середине 1960 -х гг. впервые в истории стало меньше 50 % [208].

Еще в XIX – начале XX вв. подавляющее большинство городских объектов находилось на уровне глаз человека, либо немного выше. Во второй половине XX в. распространение получили проекты типовой многоэтажной застройки, в результате в городах мира появились жилые кварталы с совершенно одинаковыми домами (рис. 24.35). В крупном российском городе это многоквартирные дома, возведенными по типовым сериям – до 1990-х гг. этажностью от 5 до 9 этажей и до 24 этажей в настоящее время. Даже в г. Москве только около 5 % жилья построено по нетиповым проектам. Иногда плотность застройки издали создает впечатление, что между домами нет прохода [9]. Прогресс заставляет людей жить на высоте птичьего полета.

Городское многоэтажное жилье противоречит человеческой потребности в индивидуальном пространстве, человек подсознательно чувствует тесноту, ограниченность территории, высокие дома заслоняют небо, жители проезжих улиц подвержены действию шума уровнем примерно 70 дБ, что на треть выше допустимой физиологической нормы, транспорт вызывает приступы паники. В городе силы иссякают раньше: проехал час на работу (рис. 24.36), ничего еще не сделал и уже устал.

Для психологического комфорта людям важно видеть фасады зданий, обеспечивающие визуальное разнообразие [671], не добираться на работу в автомобильных пробках, а ходить пешком (рис. 24.37). Прогулка среди деревьев избавляет от тягостных мыслей, наблюдая природной пейзаж человек отдыхает от усталости и восстанавливает концентрацию внимания. Он должен видеть лес, реку, жуков-пауков, причем, еще ребенком должен это видеть, чтоб вырасти не роботом. Многие жители больших городов такого постоянно лишены.

Вместе с тем, даже маленькая деревня (рис. 24.38) несет в себе цивилизационную функцию – обустройство природы под нужды человека.



Рис. 24.35. Виды типовой городской застройки: 1– Германия, г. Берлин, 2010 г.; 2 – Словакия, г. Братислава, 2014 г., 3 – Польша, г. Варшава, 2011 г.; 4 – Китай, г. Харбин, 2017 г.; 5 – Россия, г. Москва, 2015 г.; 6 – Россия, г. Челябинск, 2010 г.; 7 – Россия, г. Нижний Новгород, 2014 г.; 8 – Россия, г. Волгоград, 2011 г. [9]



Рис. 24.36. Толпа людей в московском метро (М. Фролов)



Рис. 24.37. Люди с косами (пос. Артя, Свердловская область)



Рис. 24.38. Красивая деревня Мятусово в экологически чистой зоне на берегу речной части Верхне-Свирского водохранилища

ГЛАВА 25. СТРОИТЕЛЬСТВО СООРУЖЕНИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАЩИТ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ

25.1. Защита территорий от затопления и подтопления

Инженерная защита – это комплекс сооружений, направленных на защиту людей, зданий или сооружений, территории, на которой будет осуществляться строительство, реконструкция и эксплуатация зданий или сооружений, от воздействия опасных природных процессов и явлений и (или) техногенного воздействия, угроз террористического характера, а также на предупреждение и (или) уменьшение последствий воздействия опасных природных процессов и явлений и (или) техногенного воздействия, угроз террористического характера [665]. Такова официальная трактовка общего понятия инженерной защиты.

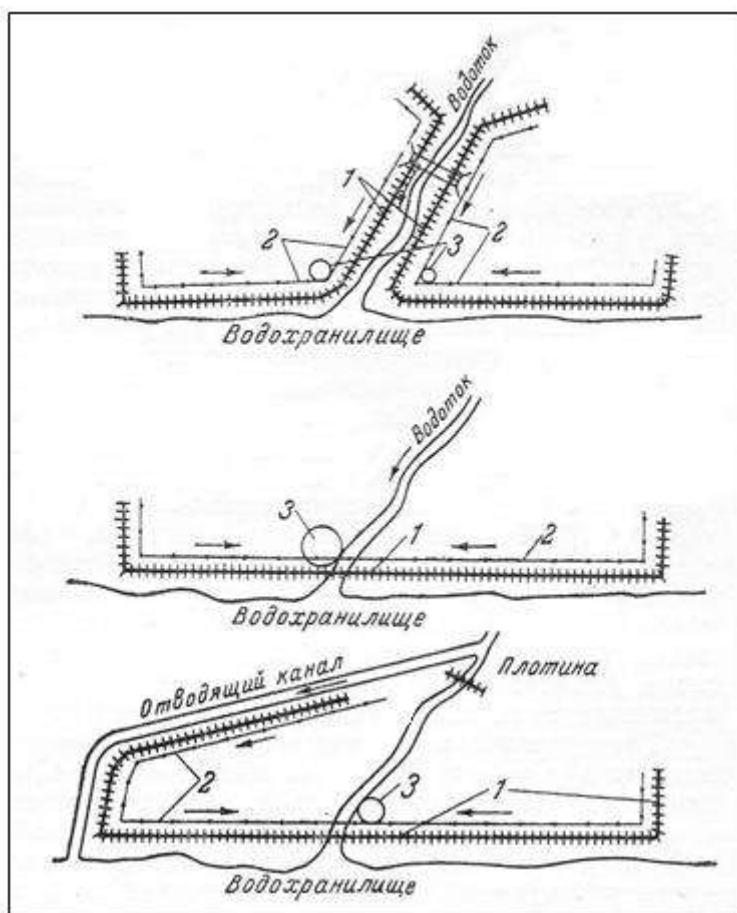
Инженерная защита на водохранилищах представляет собой систему гидротехнических сооружений, имеющих целью защитить территории или отдельные объекты от их воздействия, как правило – от затопления и подтопления [7].

Наибольшее количество объектов и наибольшие площади земель при строительстве водохранилищ защищены грунтовыми дамбами обвалования с придамбовым дренажом и насосной станцией, перекачивающей профильтрованную воду обратно в водохранилище (рис. 25.1). В случае защиты незастроенных земель дренаж обычно устраивается в виде открытого канала [7]. Если глубина перед песчаной дамбой 6 м, как на рис. 25.1, фильтрационный расход в 1-километровый канал составляет около $10 \text{ м}^3/\text{с}$, что требует примерно 15 тыс. кВт·ч электроэнергии в год на обратную перекачку воды [685].

При строительстве водохранилищ наиболее часто инженерные мероприятия проводились для защиты городов и отдельно расположенных

промышленных предприятий, так как в них на сравнительно небольших площадях сконцентрированы большие материальные ценности.

а



б

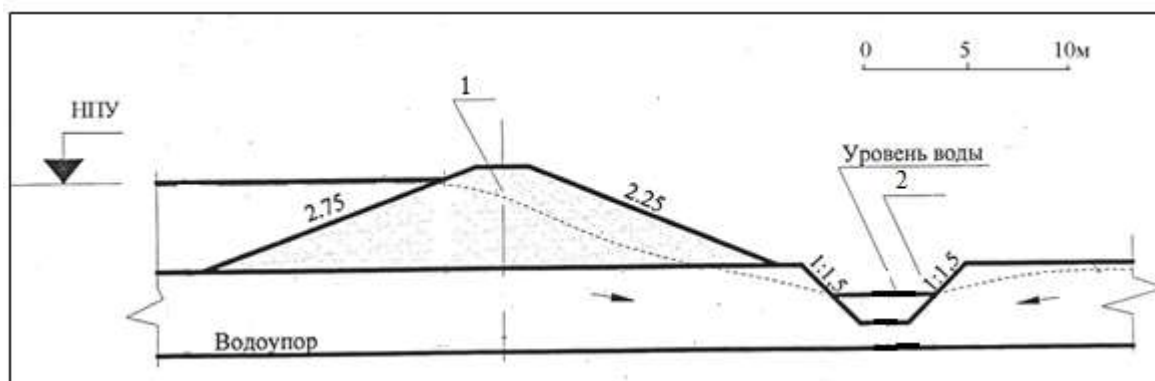


Рис. 25.1. Типовые схемы инженерной защиты территории от затопления и подтопления (а) [7] и разрез по ограждающей дамбе с открытым дренажом (б) [685]: 1 – дамба обвалования; 2 – дренаж; 3 – насосная станция

Инженерная защита применялась для обеспечения разработки месторождений, сохранения значимых транспортных сооружений, исторических памятников и др. На ряде водохранилищ осуществлена защита сельскохозяйственных низин и попутно сельских населенных пунктов, а также для

ограничения мелководий. Инженерная защита на водохранилищах является одним из путей снижения землеемкости гидроэнергетических объектов [98; 706].

В начале 1930-х гг. при строительстве Беломорско-Балтийского канала было частично обваловано дамбами самое большое водохранилище – подпертое Надвоицким гидроузлом Выгозеро с площадью зеркала 21,2 км². Всего в системе канала построено 49 оградительных дамб, ограничивающих площади межшлюзовых бьефов (рис. 25.2).

При строительстве Волжско-Камского каскада водохранилищ комплексами инженерной защиты низменных территорий в общей сложности были обеспечены более 30 городов [397; 420].

В зоне Угличского и Рыбинского водохранилищ частичное затопление и подтопление угрожало городам Весьегонск, Калязин, Кимры, Мышкин, Пошехонье, Углич и Череповец. Работы по инженерной защите этих городов продолжались и после заполнения водохранилищ [89].

При подготовке чаши Горьковского водохранилища была проведена инженерная защита территорий городов Костромы (вместе с частью костромской низины), Кинешмы, Юрьевца (рис. 25.3) и 13 отдельных промышленных предприятий (рис. 25.4), потребовавшая 11,3 км берегоукреплений, около 100 км дамб обвалования и насосных станций общей мощностью 6,4 МВт.

Перед наполнением Чебоксарского водохранилища с целью сохранения облика старой застройки защищена дамбой обвалования историческая часть г. Козьмодемьянска (рис. 25.5), основанного в 1583 г., в 1781 г. ставшего городом, в котором на 2010 г. числилось 21 тыс. жителей [603].

При подготовке зоны Куйбышевского водохранилища осуществлены инженерные защиты от затопления и подтопления по городам Ульяновск, Сенгилей, Мелекесс (с 1972 г. Димитровград*), Казань, Зеленодольск, Тетюши, Чистополь, Вольск с общей протяженностью защитных сооружений 62 км. Так, защитный комплекс г. Казани включал дамбы и плотины протяженностью около 22 км, ливнесточную и дренажную сети, насосные станции, с высотой ограждающих дамб 5 – 6 м, плотин, перекрывающих русло р. Казанки, 10 – 12 м, протяженностью дренажной сети около 10 км [525]. Во многих других городах и рабочих поселках произведены укрепления берегов и дренирование низко расположенных заселенных территорий.

*Димитров Георги (1882 – 1949) – председатель СМ Болгарии (с 1946 г.), генеральный секретарь ЦК Болгарской компартии (с 1948 г.). в 1934 – 1945 гг. жил в СССР [438]

В зоне влияния Саратовского водохранилища находятся города Балаково, Хвалынский, Сызрань, Октябрьск, Чапаевск, Самара. Во всех городах помимо выноса строений, построены ограждающие дамбы и берегоукрепления общей протяженностью 41 км.

Создание Волгоградского водохранилища потребовало строительства 37 км дамб по инженерной защите городов Саратова, Энгельса, (до 1931 г. Покровск) и Камышина. Город Маркс (до 1919 г. Баронск, до 1941 г. Маркштадт) водохранилищем затронут не был.

В зоне Камского водохранилища выполнены значительные работы по инженерной защите Березниковского химического комбината, также были сооружены искусственные острова с ограждением из металлического шпунта и засыпкой песком для добычи нефти в условиях подпора, связанные с берегом подводными трубопроводами.

Перед заполнением Воткинского водохранилища выполнены инженерные защиты отдельных жилых районов городов Перми, Краснокамска, Осы, а также нескольких промпредприятий и курорта Усть-Качка.

От влияния Нижнекамского водохранилища были защищены города Сарапул, Набережные Челны, Мензелинск. Сооружены несколько десятков спецплощадок островного типа для нефтедобычи (см. рис. 9.10) [397; 420].

Инженерные защитные мероприятия в городах могут иметь преимущества перед затоплением территорий. Во многих случаях они требуют меньших затрат по сравнению с выносом объектов. Однако инженерная защита нуждается в больших ежегодных эксплуатационных расходах. И обнаружилось, что население не проявляет желания оставаться на территориях, защищенных от затопления высокими дамбами [7; 357].

На Волжско-Камском каскаде получен также опыт инженерной защиты больших площадей сельскохозяйственных земель – в основном на Горьковском, Нижнекамском и Чебоксарском водохранилищах.

В зоне Горьковского водохранилища в 1960 г. введен комплекс сооружений инженерной защиты Костромской низины. Уровни водохранилища: НПУ = 84,0 м БС, ФПУ = 85,5 м, УМО = 81,0 м. Площадь водного зеркала 1591 км². Площадь защищенной от затопления низины 160,7 км². Территория низины расположена по левому берегу р. Волги и по обоим берегам ее притока р. Костромы, представляет собой равнину с возвышенностями, на которых находятся населенные пункты. Отметки поверхности земли 80,00 – 84,00 м БС. На защищенной территории расположена часть г. Костромы (см. рис. 24.18), 18 населенных пунктов, в 2005 г. проживало 35 тыс. человек [121],



Рис. 25.2. Оградительная дамба одного из межшлюзовых бьефов Беломорско-Балтийского канала. 2009 г.



Рис. 25.3. Дамба инженерной защиты г. Юрьевца на Горьковском водохранилище. 2008 г.

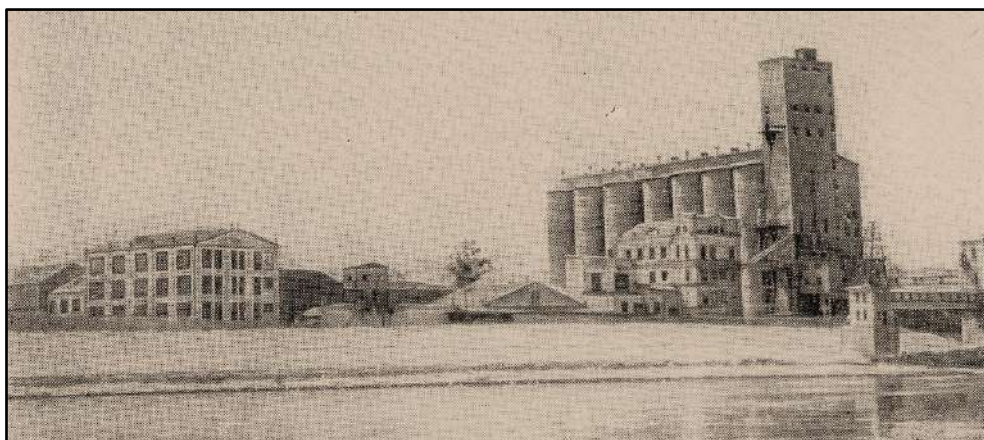


Рис. 25.4. Защитная дамба у мельзавода в г. Кинешме на Горьковском водохранилище. 1970-е гг. [7]



Рис. 25.5. Вид с р. Волги на г. Козьмодемьянск, 1900-е гг. [621], и дамба, защищающая нижнюю часть города от воздействия Чебоксарского водохранилища, построенная под отметку НПУ = 68,00 м БС, 2018 г.

сейчас живет 25 тыс. человек [582]. Комплекс сооружений включает: три защитные дамбы – Приволжскую, Идоломскую и дамбу Нагорного канала; четыре плотины – №1 и № 2 на р. Костроме, № 3 на р. Узоксе, № 4 на р. Игуменке. Дамбы и плотины возведены в 1955 – 1959 гг. из местных грунтов, в 1960 г. приняты в постоянную эксплуатацию. Проектные параметры дамб и плотин приведены в табл. 25.1. В составе сооружений инженерной защиты также имеются открытые дренажные каналы общей протяженностью 82 км и насосная станция для откачки дренажных вод производительностью 16,5 м³/с, находящаяся в постоянной эксплуатации с 1957 г. [121; 582]. Инженерная защита Костромской низины отнесена к сооружениям III класса [610] с расчетным сроком службы 50 лет, но при систематическом контроле технического состояния сооружений эксплуатируется уже дольше этого срока [582].

Таблица 25.1

**Параметры грунтовых сооружений инженерной защиты
Костромской низины [582]**

Сооружения	Проектные показатели				
	Длина, м	Наибольшая высота, м	Отметка гребня, м БС	Ширина гребня, м	Заложение откосов верхового-низового
Приволжская дамба	17850	6,5	88,70	4,5	1:3, 1:7 – 1:2,5
Идоломская дамба	23300	10	88,50 – – 90,00	4,5 – 6	1:3, 1:2,0 – 1:2,5
Дамба Нагорного канала	12200	–	–	4,5 – 6	1:3 – 1:2
Плотина №1 (р. Кострома)	291	10	88,50	6,0	1:3
Плотина №2 (р. Кострома)	120	10	90,00	6,0	1:3 – 1:2,5
Плотина №3 (р. Узокса)	1200	10	89,50	6,0	1:3, 1:2,0 – 1:2,5
Плотина №4 (р. Игуменка)	65	7,5	88,70	5,0	1:3, 1:7 – 1:2,5

В зоне затопления Нижнекамского водохранилища защищены дамбами общей длиной 65 км сельхозугодья на площади 20 тыс. га [420].

Наибольшим количеством инженерных защит в Волжско-Камском каскаде отличилось Чебоксарское водохранилище (см. рис. 14.33). По проекту их 19 (без г. Нижнего Новгорода). В том числе отделены от водохранилища 9 сельскохозяйственных низин (табл. 25.2). К 2000-м гг. сданы в

Таблица 25.2

**Основные показатели по защищаемым территориям
в зоне влияния Чебоксарского водохранилища [441]**

Наименование инженерных защит	Отметка поверхности земли, м БС	Отметка уровня водохранилища в половодье обеспеченностью 1 % при подпорном уровне 63,0 – 68,0 м БС	Количество защищаемых населенных пунктов	Количество защищаемых дворов в них с учетом половодья 1 %-й обеспеченности	Общая площадь защищаемой территории, га
г. Чебоксары	75 – 100	67,5 – 68,4	1	–	–
Сосновская сельхознизина	63 – 75	67,5 – 68,4	3	650	300
Ядринская сельхознизина	67 – 100	70,7 – 70,8	6	600	1 000
Итого по Чувашской Республике			10	1 250	1 200
г. Козьмодемьянск	66 – 80	68,4– 69,1	1	950	–
пос. Юрино	64 – 75	68,7 – 69,4	6	1 200	2 800
Озеро-Руткинская низина	62 – 70	68,4 – 69,1	1	4	3 230
Кладбище д.Юльялы	90 – 100	67,9 – 68,7	1	–	–
Сумская церковь	63 – 70	68,8 – 69,5	1	4	4
Итого по Марийской Республике			10	2 154	6 034
Фокинская сельхознизина	60 – 70	70,1 – 70,5	8	515	6 250
с. Михайловское	65 – 70	70,1 – 70,5	1	493	350
с. Разнежье	62 – 75	70,3 – 70,7	1	143	420
Великовская низина	65 – 70	71,4 – 71,7	3	444	4 189
Курмышская низина	64 – 70	72,4 – 72,4	1	304	5 277
Макарьевский монастырь	67 – 70	72,5 – 72,8	-	–	4
г. Лысково	64 – 100	72,6 – 72,9	1	–	20
Лысковская сельхознизина	60 – 70	72,9 – 73,2	-	–	2 044
Кстовская сельхознизина	65 – 70	75,4 – 75,5	–	352	2 314
г. Бор (берег р. Волги)	69 – 70	76,0 – 76,0	1	–	–
Борская сельхознизина	71 – 73	76,1 – 76,1	–	–	1 834
г. Нижний Новгород	69 – 78	76,1 – 76,1	1	–	11 250
Итого по Нижегородской области			18	2251	36 952
Всего			38	5655	44 186

эксплуатацию и функционируют 12 инженерных защит из 19, в том числе защиты Сосновской (рис. 25.6), Озерно-Руткинской, Фокинской, Курмышской, Лысковской сельхознизины, пос. Юрино и с. Михайловское (рис.25.7). Инженерные защиты Ядринской, Великовской, Кстовской, Борской сельхознизины и с. Разнежье недостроены [441]. Решение о проектировании защит сельскохозяйственных земель в зоне Чебоксарского водохранилища принималось в 1960-х гг. для развития их как кормовой базы животноводства, хотя расчеты показывали экономическую неэффективность капиталовложений [346].



Рис. 25.6. Дамба инженерной защиты пос. Сосновка и Сосновской сельхознизины на левом берегу Чебоксарского водохранилища напротив г. Чебоксар. 2009 г.



Рис. 25.7. Дамба инженерной защиты с. Михайловского на Чебоксарском водохранилище. 2010 г.

Натурные обследования объектов инженерных защит на Чебоксарском водохранилище в 2000-х гг. свидетельствовали, что защитные дамбы

пребывали в удовлетворительном состоянии, лишь на некоторых участках наблюдалось разрушение плит крепления и подмыв низа верховых откосов. На Ядринской дамбе камень из крепления откоса разбирался местными жителями для собственных нужд [441]. Большинство защищенных низин подтоплены грунтовыми водами. Табл. 25.3 отражает динамику подтопления. В ней представлены данные о подтоплении: до создания водохранилища (до 1981 г.); сразу после его наполнения в 1981 г. при отсутствии придамбовых дренажей; в 1991 – 1992 гг., когда на многих объектах начали функционировать дренажи и насосные станции, и в 2003 – 2005 гг. Из сравнения видно, что создание водохранилища сперва ухудшило гидрогеологическую обстановку на всех объектах, причем основную роль в этом сыграло отсутствие (неготовность) дренажей. После окончания их строительства площадь подтопления уменьшилась на половине объектов. По Юринской, Фокинской, Курмышской низинам размеры подтопления в 2003 – 2005 гг. стали такими же, что были до создания водохранилища. Но в Ядринской низине на июль 2004 г. оказалось затоплено и подтоплено 434 га против 15 га в 1974 г. В Великовской низине на август 2004 г. были подтоплены 2 400 га против 1 900 га в межень 1978 г. Подтоплено также значительное количество домов в деревнях и поселках (см. рис. 18.5) [346; 441].

Еще в 1970-х гг. был сделан вывод о том, что защищенные сельскохозяйственные низины используются далеко не так интенсивно, как намечалось в проектах. Практически ни на одном из массивов земель, защищенных от затопления, не был завершён в полной мере комплекс мероприятий, необходимых для их интенсивного сельскохозяйственного освоения. В результате продуктивность обвалованных земель не достигала запланированного уровня [7]. По прошествии лет этот вывод подтвердился опытом эксплуатации обеспеченных инженерной защитой сельскохозяйственных низин на берегах Чебоксарского водохранилища, где эксплуатационные расходы не окупаются получаемой сельхозпродукцией.

Предположение о том, что в перспективе инженерная защита будет применяться более широко ввиду увеличения ценности земли и сокращения фонда земель, пригодных для расширения сельскохозяйственных площадей [7], потеряло актуальность. К 2000-м гг. защита прибрежных сельскохозяйственных угодий в России стала экономически неэффективна: в ценах тех лет при 2 млн руб. вложений на 1 км берега могло быть защищено порядка 5 га сельскохозяйственных земель стоимостью 500 тыс. руб. [199].

Таблица 25.3

**Сведения о подтоплении объектов инженерной защиты
в зоне влияния Чебоксарского водохранилища [346; 441]**

Сельхозни- зина, насе- ленный пункт	Защищены		Подтоплены					
	Пло- щадь, га	Коли- че- ство домов	Площадь, га			Количество домов		
			До 1981 г.	1981г.	1991– 1992 гг. 2003– 2005 гг.	до 1981 г.	1981 г.	1991– 1992 гг. 2003– 2005 гг.
Сосновская	300	650	–	–	–	–	100	63
Ядринская	1 000	600	15	600	434	–	–	94
Юринская	2 800	1 900	350	1 400	322	10	250	114
Руткинская	3 230	4	–	–	660	–	–	–
Фокинская	6 250	515	800	4 000	925	0	25	58
с. Михайлов- ское	350	493				47	350	140
Великовская	4 189	444	1 900	2 200	2 400	–	–	–
Курмышская	5 277	304	1 200	2 500	985	–	–	–

При проектировании новых объектов гидроэнергетики предлагается оперировать понятием «экосистемные услуги» – это выгоды, которые люди получают от экосистем. Оценивая стоимость услуг экосистем через призму их выгод для будущих поколений и сопоставляя с выгодами, которые предполагает проект намечаемой хозяйственной деятельности, можно объективно оценить соответствие проекта долгосрочным интересам населения [17].

25.2. Укрепление берегов перед заполнением водохранилищ

Берегоукрепительными сооружениями называют гидротехнические сооружения для защиты берегов от размыва и обрушения [172].

Вопрос об укреплении берега перед заполнением водохранилища отпадает, если допустимо отступление береговой линии, когда, например, прибрежная суша не представляет ценности ни в настоящем, ни в будущем. В противном случае требуется своевременное укрепление берега от размыва. Высокая стоимость берегоукрепительных сооружений приводит к тому, что они возможны лишь на ограниченных участках побережий. Защита берегов

а

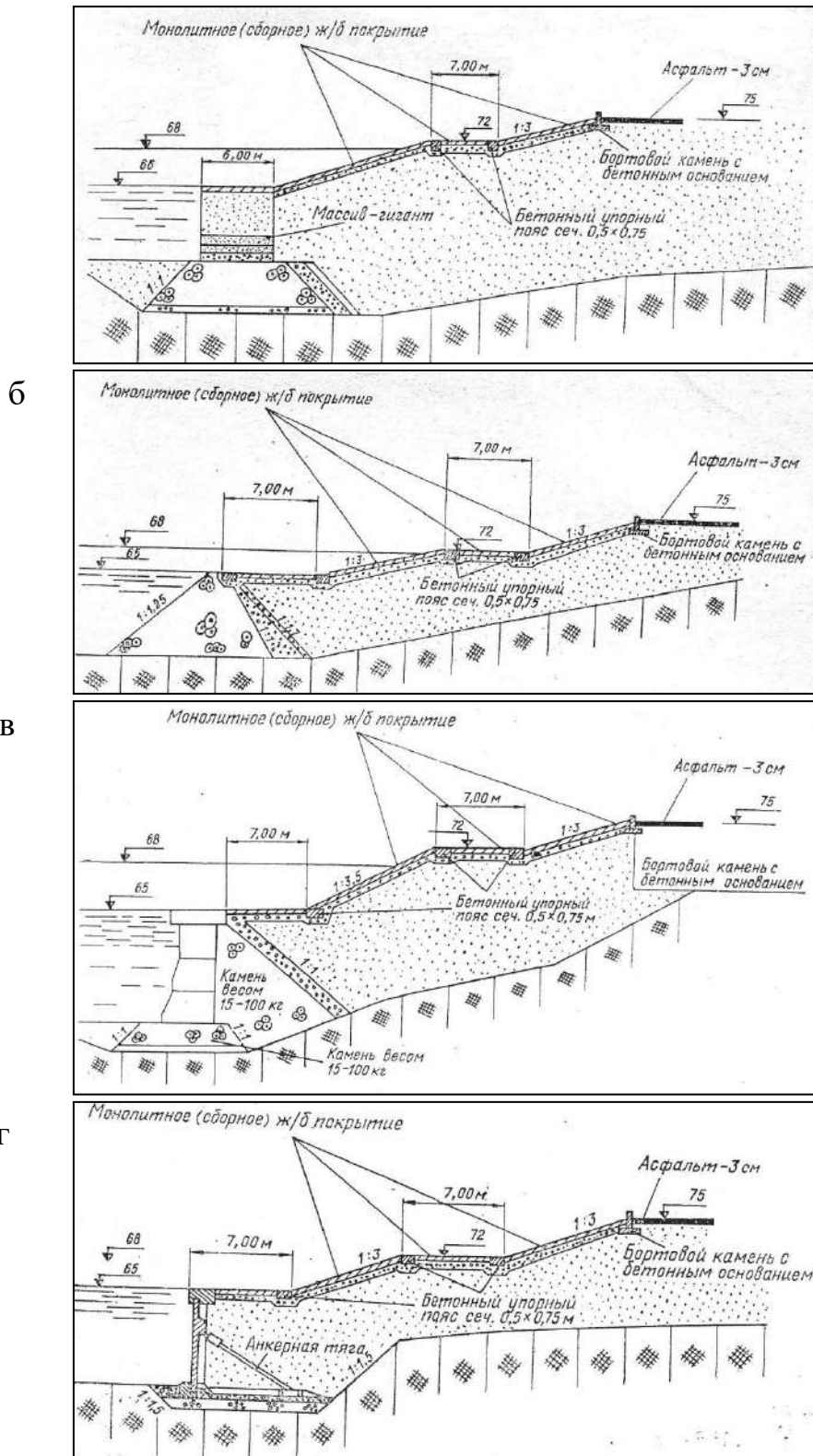


Рис. 25.8. Проектные профили полуоткосных берегоукреплений р. Волги в г. Нижнем Новгороде, построенных в 1960 – 1970-х гг. под отметку НПУ = 68,00м Чебоксарского водохранилища: а – с упорным поясом из массивов-гигантов; б – с каменным банкетом; в – со стенкой из бетонных блоков; г – с уголковой стенкой из сборного железобетона [282]



Рис. 25.9. Откосная Нижневолжская набережная и Чкаловская лестница в г. Нижнем Новгороде



Рис. 25.10. Бульвар на набережной в г. Великом Новгороде (речная часть Волховского водохранилища)



Рис. 25.11. Набережная и речной вокзал г. Саратова на Волгоградском водохранилище



Рис. 25.12. Крепление откоса нижнего подходного канала к Волгоградскому шлюзу укладкой камня на обратном фильтре. 1959 г.



Рис. 25.13. Крепление щебнем в ячейках из железобетона берега р. Сухоны в Дымковской слободе напротив г. Великого Устюга. 2012 г.



Рис.25.14. Крепление откоса плотины водохранилища Боровое на р. Саровке в г. Сарове ячейстыми полиэтиленовыми панелями с щебеночным заполнителем после 5-летней эксплуатации [589]

водохранилищ и поиск наиболее приемлемых решений для этого является весьма актуальной проблемой [286; 510]. В современных условиях проблема решается с учетом экономических, социальных, экологических и других последствий, исходя из прошлого опыта с поправкой на технический прогресс.

Все **берегоукрепительные сооружения** весьма условно делят на **пассивные и активные**. Сооружения пассивного типа воспринимают на себя воздействие (удары) волн и не допускают этого воздействия на защищаемые объекты. К таким сооружениям относятся береговые стенки из камня, бетона, железобетона, стали, береговые одежды бетонные, железобетонные, асфальтобетонные, каменные и т.п. Сооружения активного типа за счет энергии волн сохраняют или создают условия формирования аккумулятивных форм рельефа – пляжей, которые являются идеальными гасителями волновой энергии. К сооружениям активного типа относятся буны, подводные волноломы, насаждения растительности и т.п. Независимо от типа крепление должно перекрывать по высоте верхний и нижний пределы размывающего действия волн [357; 570] (см. рис. 14.20).

Наиболее прочные и долговечные, но и наиболее дорогие берегоукрепления строят в виде набережных в черте городов. Городские набережные выполняют чаще всего вертикального, полукосного или откосного профилей из монолитных или сборных железобетонных элементов. Такие конструкции были применены, например, в г. Нижнем Новгороде для правого высокого берега р. Волги в преддверии заполнения Чебоксарского водохранилища (рис. 25.8). Одновременно они служат элементами противоползневых мероприятий. Нижний Новгород украшает монументальная Чкаловская лестница – самый длинный подъем (560 ступеней) на волжских берегах. Спускаясь по склону, она связывает верхнюю часть города с Нижневолжской набережной (рис. 25.9). Лестница была заложена в дни войны (1943 г.) в честь победы под г. Сталинградом, окончена в 1949 г. К началу 1960-х гг. р. Волга стала размывать основание лестницы, что подвигло власти к ускорению строительства набережной [282]. По набережным прокладывают городские автомагистрали, устраивают бульвары (рис. 25.10), они оборудуются в качестве причалов для судов (рис. 25.11) и являются архитектурным украшением многих городов, стоящих на берегах водохранилищ.

Весьма эффективна на берегах защитная роль каменной наброски. Наброска хороша тем, что для нее не страшны деформации в связи с

размывами, легко устраняемые добавлением камня. Аналогично эффективна защита из каменной укладки (мощения), но ее устройство трудоемко (рис. 25.12), также, как и ремонт, и в настоящее время она применяется редко. Существует много примеров хорошей работы каменных набросок и укладок на водохранилищах и судоходных каналах, также, как и их разрушения при отсутствии надлежащего ухода.

На Иваньковском водохранилище в начале эксплуатации наблюдали самозакрепление берегов, сложенных моренными валунными суглинками. Валуны разных размеров постепенно сгружались на отмель и защищали берег от дальнейшего размыва. Но, в связи с использованием валунов в качестве строительного материала, эти естественные покрытия вскоре были разобраны и размыв берегов возобновился [286]. Наброской и мощением камня крепились земляные откосы на Волго-Балтийском, имени Москвы, Волго-Донском судоходных каналах от воздействия судовых и ветровых волн. Повреждения каменных креплений в начальный период эксплуатации составляли от 6 % в год к общей площади креплений на Волго-Донском канале [261] до 14 % на канале имени Москвы [94].

Описанными бетонными и каменными конструкциями, а также их разновидностями, обошлись, в основном, при строительстве берегоукреплений пассивного типа перед заполнением водохранилищ в 1950 – 1970-х гг. [224; 396; 515; 570]. Некоторые из них получили последующее развитие. Например, крепление откосов щебнем в железобетонных ячейках, реализованное на Волго-Балтийском водном пути, используется в настоящее время (рис. 25.13) и послужило прототипом конструкции облегченного крепления ячейкистыми полиэтиленовыми панелями с щебеночным заполнителем по фильтру из геотекстиля (рис. 25.14). По данным исследований ННГАСУ такое крепление выдерживает волну высотой до 1,2 м, нагрузки от льда толщиной до 0,6 м и скорость течения до 4,5 м/с [214].

В последнее время повелось в значительных объемах укрепление берегов эксплуатируемых водохранилищ, для чего применяют как традиционные, так и современные берегоукрепительные сооружения пассивного и активного типов.

25.3. Берегозащита на эксплуатируемых водохранилищах

К водохранилищам примыкают города и другие поселения людей,

линейные сооружения, ценные земли и т.п. Только по Волжско-Камскому каскаду протяженность берегов водохранилищ в пределах населенных пунктов составляет более 1 200 км, в том числе в пределах крупных городов 540 км (табл. 25.4).

Таблица 25.4

Протяженность берегов волжских и камских водохранилищ в пределах населенных пунктов по состоянию на 2000 г. [199]

Водохранилище	Протяженность берегов в пределах населенных пунктов, км	
	всего	в т.ч. в пределах крупных городов
Иваньковское	13	–
Угличское	39	–
Рыбинское	38	г. Череповец 18
Горьковское	187	г. Рыбинск 25
		г. Ярославль 40
		г. Кострома 15
Чебоксарское	197	г. Нижний Новгород 60
		г. Чебоксары 30
		г. Новочебоксарск 6
Куйбышевское	188	г. Казань 25
		г. Ульяновск 30
		г. Тольятти 5
Саратовское	140	г. Самара 40
		г. Сызрань 20
		г. Балаково 12
Волгоградское	183	г. Саратов 33
		г. Энгельс 18
		г. Камышин 10
		г. Волжский 5
		г. Волгоград 50
Камское	55	г. Соликамск 5
		г. Березники 15
Воткинское	115	г. Пермь 50
Нижекамское	72	г. Сарапул 8
		г. Нефтекамск 5
		г. Набережные Челны 15
Всего	1 227 км	24 города 540 км

Многие участки неукрепленных берегов нуждаются в защите от размыва с момента наполнения водохранилищ или более поздних времен. Кое-где желательно берегоукрепление по эстетическим соображениям. Некачественное исполнение, старение, запущенность при эксплуатации приводят к досрочному разрушению береговых одежд (рис. 25.15). Поэтому вопрос о новом строительстве и реконструкции сооружений берегозащиты на действующих водохранилищах актуален и работы ведутся. Так, в 2000–2005 гг.

осуществлены берегоукрепительные мероприятия на реках и водохранилищах в 26 городах и населенных пунктах [658], в том числе по 15 объектам на водохранилищах Волжско-Камского каскада [501]; в 2018 г. построены и реконструированы сооружения инженерной защиты и берегоукрепления на водных объектах страны общей протяженностью 51,1 км.

Мероприятия пассивной берегозащиты. При строительстве капитальных берегоукреплений на эксплуатируемых водохранилищах предпочтение отдается **вертикальным стенкам** из железобетонного и металлического шпунта.

На левом берегу Воткинского водохранилища в 70 км ниже г. Перми расположено с. Усть-Качка, где разместился курорт федерального значения, известный целебными свойствами вод минеральных источников (см. рис. 8.1). Взамен разрушившегося берегоукрепления протяженностью 2 км постройки 1960-х гг. за 1995 – 2009 гг. здесь возведена красивая набережная (см. рис. 25.15) с упорным поясом из железобетонного шпунта [301]. Стенка из заанкерного железобетонного шпунта образовала волжскую набережную в новом микрорайоне «Мещерское озеро» г. Нижнего Новгорода (рис. 25.16). Она построена под НПУ = 68,0 м Чебоксарского водохранилища. Шпунтовые же защитные стенки из железобетона строятся по берегам Горьковского водохранилища – в пос. Сокольском, в г. Юрьевце (рис. 25.17). В последнем случае могла бы еще, наверное, послужить существующая дамба инженерной защиты (см. рис. 25.3), но новая расширенная набережная, конечно, более украсит старый город.

Для берегоукрепительных стенок широко применяется стальной трубчатый шпунт. Из него построены многие берегозащитные сооружения на реках и водохранилищах в европейской части страны и в Сибири (рис. 25.18).

Иногда вертикальные берегоукрепления строят из полимерного шпунта, поставляемого зарубежными фирмами [425] (рис. 25.19).

Для откосных берегоукреплений в последние годы стали использовать **гибкие железобетонные покрытия** (тюфяки). Они состоят из квадратных, прямоугольных, двутавровых и иных форм плит толщиной 8 – 15 см, связанных между собой арматурной проволокой или синтетическим шнуром (рис. 25.20). Тюфяк укладывают по спланированному откосу на подготовку из гравия или нетканого фильтрового материала. На рис. 25.20 приведен пример облицовки таким покрытием 0,39 км откоса на Камском водохранилище.



Рис. 25.15. Разрушенное берегоукрепление после 30 лет эксплуатации и новая набережная Воткинского водохранилища в с. Усть-Качка, 2009 г. [426]



Рис. 25.16. Новая волжская набережная с вертикальной шпунтовой стенкой в микрорайоне «Мещерское озеро» г. Нижнего Новгорода, построенная под отметку НПУ = 68,0 м Чебоксарского водохранилища. 2000-е гг.



Рис. 25.17. Строительство шпунтовой стенки вдоль существующей дамбы инженерной защиты г. Юрьевца на Горьковском водохранилище. 2008 г.



Рис. 25.18. Берегоукрепление из стального трубошпунта у храма Рождества Пресвятой Богородицы в пос. Катунки на Горьковском водохранилище. 2010 г.



Рис. 25.19. Берегоукрепление пластмассовым шпунтом



Рис. 25.20. Укладка гибкого железобетонного тюфяка на береговом откосе по слою геотекстиля и укрепление таким покрытием берега Камского водохранилища у с. Посёр. 2007 г. [426]

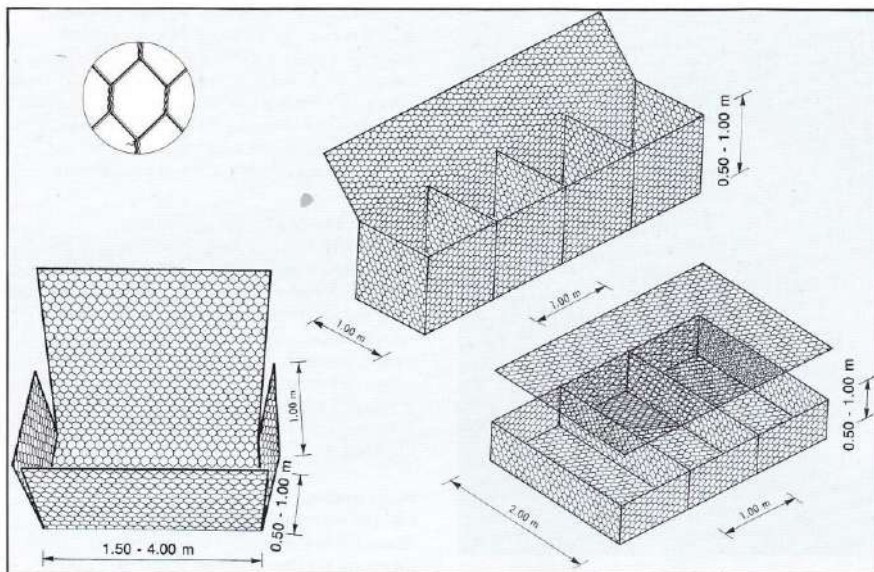


Рис. 25.21. Коробчатые и матрасно-тюфячный габионы



Рис. 25.22. Берегоукрепительные стенки из габионов на Рыбинском водохранилище у г. Весьегонска (2001 г.) и на Камском водохранилище в г. Добрянке (2007 г.)



Рис. 25.23. Габионное крепление с упорным поясом из шпунта на надводном береговом откосе Рыбинского водохранилища в г. Мышкине. 2016 г.

Наряду со сборными конструкциями из железобетона для берегоукреплений на водохранилищах применяют **габионные конструкции**, считающиеся экономичными. Габионы, кто не знает, это ящики из проволочной сетки (рис. 25.21), заполненные мелким камнем. Покрытия из габионов как бы выдерживают неравномерные деформации основания, обладают волногасящей способностью. Основные разрушения связаны с истиранием сетки. При этом сооружение становится опасным для животных и людей [396]. Существенным фактором, ослабляющим надежность габионных берегоукреплений, является вмерзание ледяного покрова в их пористое тело. Габионные конструкции, пришедшие в Россию из южного зарубежья, последние десятилетия активно внедряются в отечественную практику [386]. Стенками и покрытиями из габионов укрепили участки побережья на Угличском, Рыбинском, Горьковском, Чебоксарском, Камском, Воткинском, Саратовском водохранилищах (рис. 25.22).

Опыт применения волноотбойных стенок из железобетона на Новосибирском водохранилище показал, что по прошествии нескольких лет эксплуатации они начинали быстро разрушаться из-за размыва дна непосредственно перед ними и нарушения целостности основания [681; 682]. Подобная реакция берега – явление достаточно общего характера. В 2018 г. при обследовании ННГАСУ некоторых габионных укреплений на Горьковском и Чебоксарском водохранилищах были зафиксированы их видимые дефекты: деформации (крен) стен из коробчатых габионов, повреждения самих габионов, вымывание из них мелкого камня и т.п. Как кажется, вряд ли стоит рассчитывать на достойное поведение стенок из габионов в условиях российских водохранилищ, чему много подтверждений (фотоснимков) в интернете.

Замечено, что у строителей (не гидротехников) распространено ошибочное представление о профиле подпорной стены, которому зачастую придают форму тонкого прямоугольника [68]. Такая стенка неустойчива против сдвига и опрокидывания. Гравитационная стенка должна иметь ширину основания примерно в 0,7 от высоты [515].

А габионные крепления проявляют надежность на берегах водохранилищ за пределами волнового и ледового воздействий (рис. 25.23). С позиций видеоэкологии [671] такие берегоукрепления приятны для глаз.

На некоторых участках берегов действующих водохранилищ предпочтение отдано берегозащите из **каменной наброски** в силу относительно невысокой ее стоимости. Также устраивается берегозащита из **горной массы**. Последняя отличается от каменной наброски тем, что горная масса

непосредственно (без обратного фильтра) укладывается на грунт в виде слоя крепления откоса или незатопляемого каменного банкета, являющегося волногасящим барьером. Это еще более удешевляет защиту берега. Конструктивная особенность сооружений из горной массы состоит в том, что свои окончательные размеры и проектные характеристики они приобретают не после завершения строительства, а в процессе эксплуатации при длительном воздействии на них волн [370].

Аккуратный откос из гранитного камня никак не ухудшает внешний вид набережной г. Костромы на Горьковском водохранилище (рис. 25.24).

На Куйбышевском водохранилище отсыпкой несортированного местного камня укреплен участок берега у д. Криуши в Чувашии, когда в опасной зоне оказались 18 жилых домов (рис. 25.25). Подобные отсыпки позволяют в экстренном порядке защитить размываемые участки берегов водохранилищ, но известняковый камень не лучший материал для берегоукреплений. Крепление каменной наброской в зоне волнового воздействия применяется на берегах водохранилищ и каналов Волго-Балтийского водного пути при его современной реконструкции (рис. 25.26); уположенные надводные откосы берегов засеваются травой, приобретая природоприближенный вид.

В практике пассивной берегозащиты опробовались разных видов **конструкции из автопокрышек**, выработавших ресурс. Пример подобного крепления абразионного берега Пензенского водохранилища на р. Суре представлен на рис. 25.27.

Бывает, что в поселениях, выходящих к воде, зажиточные граждане сами устраивают берегоукрепления подручными средствами (рис. 25.28).

На старых водных объектах России можно еще видеть деревянные берегоукрепления, сохранившиеся без реконструкции с исторических времен (рис. 25.29).

Берегозащита активного типа. Зная естественный ход процесса разрушения берегов водохранилищ, можно при проектировании береговых защит учитывать его особенности и приближать проекты защит к местной природной обстановке. В этом случае удастся достигнуть необходимой надежности сооружений и избежать затрат на создание излишнего запаса их прочности [286]. Берегоукрепления, выполняемые согласно описанному принципу, называют природоприближенными [541]. Таковыми можно считать все берегозащитные сооружения активного типа.

Одной из аккумулятивных форм рельефа береговой зоны, образующейся под воздействием волн и течений, являются **пляжи**. Эта форма рельефа весьма изменчива во времени и пространстве. В результате длительного



Рис. 25.24. Отсыпка гранитного камня на откосе набережной р. Волги в г. Костроме. 2008 г.



Рис. 25.25. Берегоукрепление из горной массы известняка на Куйбышевском водохранилище у д. Криуши. 2001 г. [501]



Рис. 25.26. Крепление берега Новинкинского водохранилища наброской дикого камня при реконструкции Волго-Балтийского водного пути. 2011 г.



Рис. 25.27. Неэстетичное и небезопасное для людей, но небезуспешное крепление автопокрышками берега Пензенского водохранилища на р. Суре. 2010 г.



Рис. 25.28. Деревня Наговицино на берегу Горьковского водохранилища с самопальным укреплением у дома над обрывом. 2009 г.



Рис. 25.29. Деревянное шпунтовое крепление берега канала на Северо-Двинском водном пути. 2011 г.

воздействия на пляж ветровых волн создается его поверхность, соответствующая профилю динамического равновесия. Такой пляж является идеальным гасителем энергии волн. В связи с этим практикуется использование искусственно создаваемых пляжей как самостоятельных деформируемых берегозащитных сооружений на морях, а также на водохранилищах. Материал, из которого формируется пляж, доставляется на берег посуху, либо способом гидромеханизации. Опыт показал, что устройство свободных искусственных пляжей позволяет снизить стоимость берегозащитных мероприятий [570] и особенно выгодно, когда увязывается с дноуглубительными или вскрышными работами [286].

Один из первых в нашей стране искусственный пляж как берегоукрепительное сооружение был намыт в Бердском заливе Новосибирского водохранилища близ Академгородка в 1959 – 1962 гг. Он имел вид прибрежной отмели протяженностью 3 км, шириной от 150 до 200 м. Уклон пляжа по аналогии с отмелями Цимлянского и Рыбинского водохранилищ был принят 1:30 (примерно 2°). В пляж ушло 4,7 млн м³ мелкозернистого песка. К 1965 г. было отмечено выполаживание профиля пляжа. Штормовыми волнами, достигавшими здесь высоты 2,8 м, был смыт слой песка в 10 – 30 см, который переместился ближе к месту свала отмели. Надводная часть пляжа за это время не претерпела изменений (рис. 25.30) [286; 510]. После 25 лет эксплуатации пляжа его уклон увеличился и возобновился размыв надводного берегового уступа. В 1986 – 1988 гг. пляж был реконструирован: в прибрежную зону отсыпали рыхлый материал в объеме 190 – 360 м³ на каждый погонный метр береговой линии. Таким же путем за 1990-е гг. на Новосибирском водохранилище было образовано около 8 км пляжей [681]. Регулярное питание береговой зоны крупнозернистым материалом позволяет решить проблему защиты берега от волнового размыва. Но, если на подлежащем защите участке существует мощный вдольбереговой поток наносов, то такое питание может оказаться нерентабельным.

Для активной защиты пологих берегов водохранилищ, вдоль которых наблюдается интенсивное движение волнового потока наносов, применяются **буны**. Эффективно работают сквозные буны, например, в виде стенок из свай, забитых с зазорами, составляющими от 20 до 50 % площади стенки [681], также и сплошные буны (рис. 25.31). Успех работы бун зависит от правильного выбора их длины и расстояния между ними. На практике расстояние между бунами колеблется от одной до трех длин буны [510; 570].

Другой способ регулирования литодинамических процессов в береговой зоне – локальное снижение волновых нагрузок на берега. Для этого с целью получения опыта применялись **прерывистые каменнонабросные волноломы** [681; 683]. В волновой тени такого волнолома в первые два-три

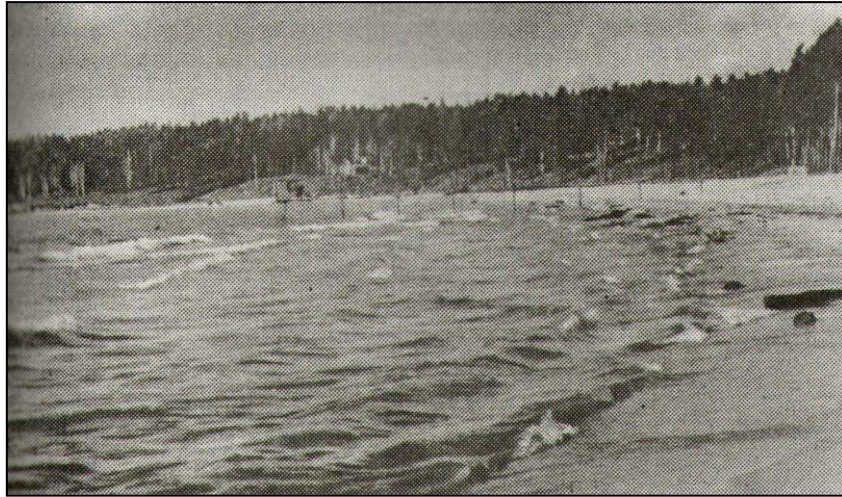


Рис. 25.30. Искусственный песчаный пляж на берегу Новосибирского водохранилища в районе Новосибирского научного центра РАН:
а – в начале эксплуатации, 1964 г. [510]; б – после реконструкции, 1988 г. [681]



Рис. 25.31. Сплошные буны на левом берегу Горьковского водохранилища у д. Большой Суходол (проект ННГАСУ)

Таблица 25.5

Рекомендуемые разработчиками условия применения современных видов береговых креплений

Виды креплений	Скорость течения воды, м/с	Высота волны, м	Интенсивность ледохода
Габионные стенки (рис. 25.22)	до 6,0	до 1,5	средний
Каменная наброска в железобетонных ячейках (рис. 25.13)	до 3,5	до 1,0	сильный
Крепление ячеистыми полиэтиленовыми панелями (рис. 25.14)	до 2,0	до 0,5	средний
Крепление матрасными габионами (рис. 25.21, 25.23)	до 3,5	—	—
Крепление бетонными тюфяками (рис. 25.20)	до 6,0	до 4,0	сильный

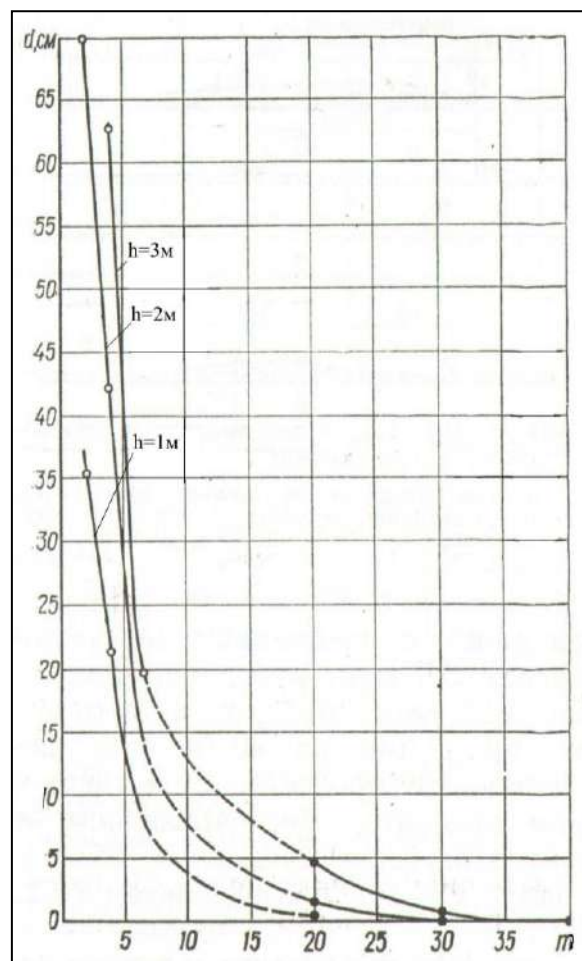


Рис. 25.32. Зависимость крупности материала каменного крепления d от коэффициента откоса m и высоты волны h [396; 510]

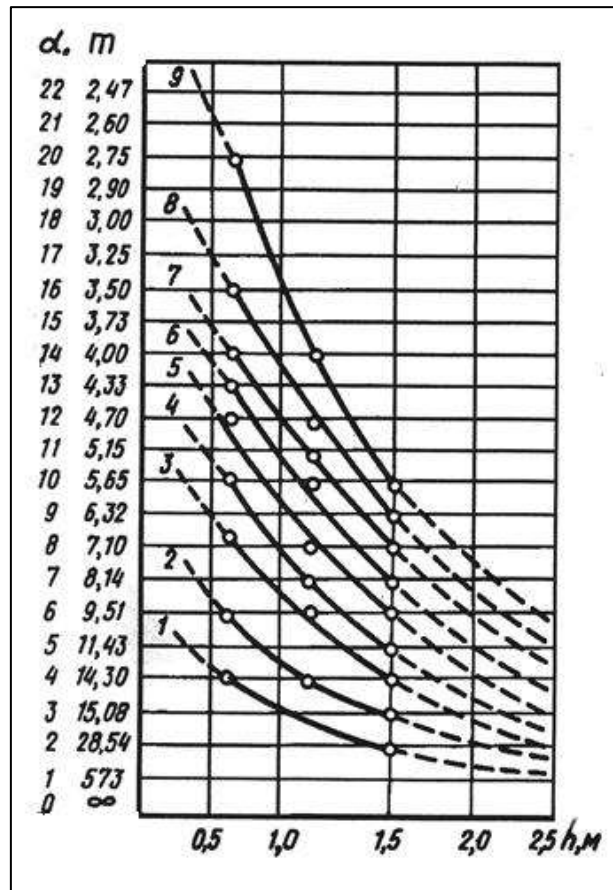


Рис. 25.33. График для определения заложения m волноустойчивого откоса из различных грунтов:
 1 – глина; 2 – лесс; 3 – суглинок; 4 – мелкий песок; 5 – средний песок;
 6 – суглинок со щебнем и валуном; 7 – крупный песок; 8 – гравий; 9 – галька;
 α – угол откоса; m – заложение откоса; h – высота волны [515]

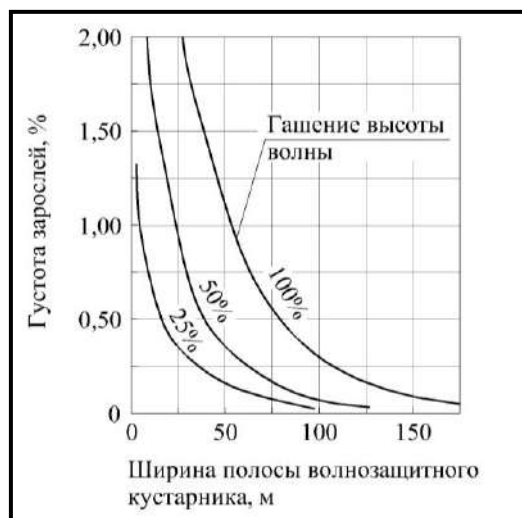


Рис. 25.34. График зависимости процента гашения высоты волны от ширины защитной полосы кустарника и его густоты [193]

года эксплуатации прекращается размыв берега и образуется пляж. Очевидно, что буны и волноломы не украшают береговую зону водохранилищ.

В ряде случаев для замедления размыва берегов использовалась **кустарниковая растительность**. Ее эффективная роль фиксировалась на пологих берегах Рыбинского, Горьковского, Цимлянского и других водохранилищ. Густые кустарниковые заросли разрушают волны, ослабляют вдольбереговые течения и скрепляют склон корнями. Для многих мест почти полное гашение волн получалось при 7 – 15 рядах лозовых культур. Создание биологической защиты является не строительными работами, а агротехническим мероприятием, которое, в отличие от инженерных сооружений, дешево. Посадки растительности обогащают ландшафт побережья и не являются здесь чужеродным телом, а сами прибрежные заросли улучшают качество воды, почв и воздуха. Однако кустарниковая растительность как защитное средство эффективна лишь при небольшой амплитуде колебания уровня воды и воздействии волн высотой не более 1,3 м [193; 286; 370].

Условия применения берегозащиты. Ориентировочные рекомендации: табл. 25.5 – допустимые гидрологические параметры для укрепления грунтовых откосов крутизной до 1:1,5 с использованием современных конструкций;

рис. 25.32 – опытный график зависимости крупности каменного материала от крутизны укрепляемого откоса и высоты волны, использовавшийся на практике в 1960-е гг. [396; 510];

рис. 25.33 – график для назначения заложения волноустойчивого (пляжного) откоса, построенный по натурным данным в 1960-х гг. [515]; для этого же расчетные методы [370; 570];

рис. 25.34 – график оценки волнозащитной эффективности кустарниковой растительности в береговой зоне водохранилищ [193].

25.4. Возможности инженерной защиты на водохранилищах в области вечной мерзлоты

Вопросам инженерной защиты территорий при создании водохранилищ на севере в нашей стране уделялось немного внимания. Но, например, на севере Канады первая очередь гидроузла Ла-Гранде включала три ГЭС и 58 оградительных дамб с объемом уложенного в них грунта 119 млн м³ при объеме плотин 5,2 млн м³ [98]. С ростом требований к сохранению

уникальной природы криолитозоны России инженерные мероприятия на водохранилищах, приводящие к уменьшению землеемкости ГЭС (табл. 25.6), возможно, приобретут актуальность.

Таблица 25.6

**Показатели землеемкости водохранилищ гидроэлектростанций
в области вечной мерзлоты**

Гидроэлектростанция	Год окончания строительства	Установленная мощность ГЭС, мВт	НПУ водохранилища, м БС	Площадь водохранилища при НПУ, 10 ⁶ м ²	Удельная площадь затопления при НПУ, га/мВт
Виллойская – I, II	1969, 1976	308, 340	244,0	2 360	364,2
Светлинская	строится	360	181,0	104	28,8
Усть-Хантайская	1975	441	60,0	2 120*	480,7
Курейская	1989	600	95,0	558	93,0
Колымская	1991	900	450,0	440,7	48,9
Усть-Среднеканская	строится	570	290,0	265,4	46,5
Амгуэмская	проект	300	140,0	795	265,0
Эвенкийская	проект	12 000	200,0	9 400	78,3

*Вместе с Хантайским озером.

Процессам в береговой полосе северных водохранилищ присущи особенности, проистекающие от наличия вечной мерзлоты. Затопление низин приводит к тепловой осадке поверхности и расползанию мелководий. На территориях, временно затапливаемых половодьями, развивается термокарст, проявляясь в виде провальных форм рельефа. Прилегающие к водохранилищам земли подтапливаются по сезонноталлому слою. Берега водохранилищ, сложенные нескальными льдистыми породами, подвергаются термоабразии. Специфическое поведение береговых территорий индивидуализирует подходы к осуществлению инженерной защиты. При этом выполнение всех без исключения инженерных мероприятий связано с учетом либо регулированием температурного режима в основании, берегах и сооружениях, обеспечивающих эффективность этих мероприятий.

Ограничимся двумя примерами [587].

Участки берегов особого хозяйственного или социального значения водохранилищ криолитозоны могут требовать тяжелых видов защиты из бетона, стали, дерева, камня. Наиболее отвечающим условиям эксплуатации капитальным креплением льдистых берегов показали себя вертикальные стенки – шпунтовые и гравитационные. Такие стенки различной конструкции существуют в качестве причалов (набережных) во многих северных



Рис. 25.35. Деревянная ряжевая причальная набережная Якутского порта на р. Лене. 1987 г.

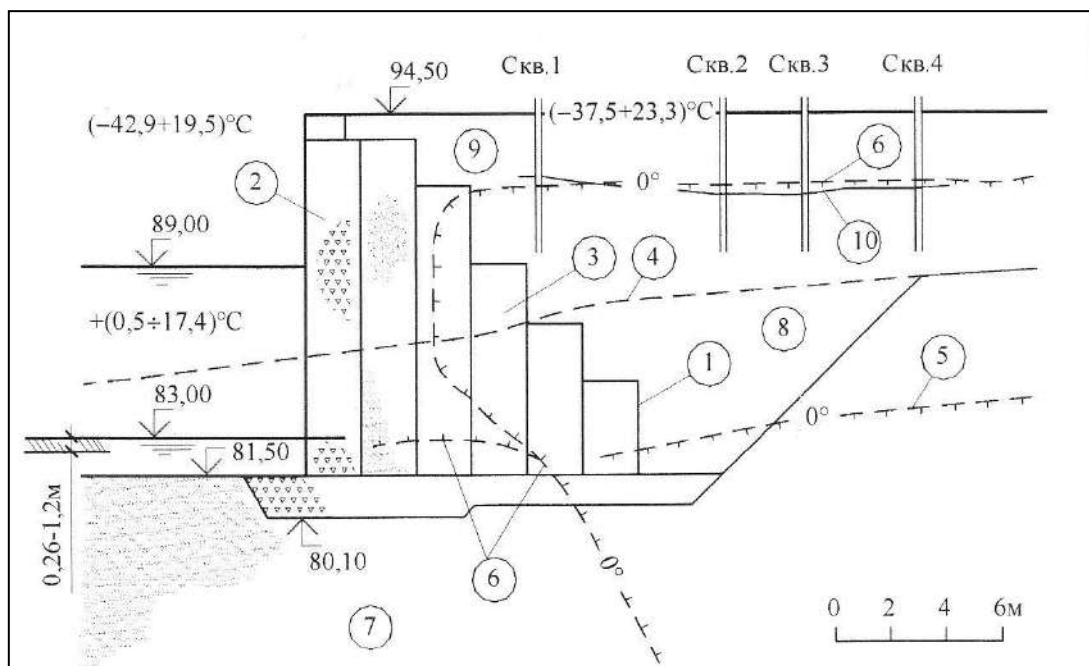


Рис. 25.36. Предельное температурное состояние ряжевой причальной набережной Якутского порта:

1 – контур ряжевой стенки; 2 – загрузка ряжа камнем; 3 – загрузка ряжа песком; 4 – естественная поверхность земли; 5 – верхняя граница вечной мерзлоты по наблюдениям в 1962 г.; 6 – граница мерзлоты в предельном (квазистационарном) состоянии по расчету; 7 – постоянно талая зона; 8 – постоянно мерзлая зона; 9 – зона переменного (сезонного) замерзания-оттаивания; 10 – верхняя граница мерзлоты по наблюдениям в скважинах №1 – 4 в 1978 году; показаны максимальные и минимальные среднемесячные уровни воды, температуры воздуха, воды, поверхности засыпки и толщина льда [587]

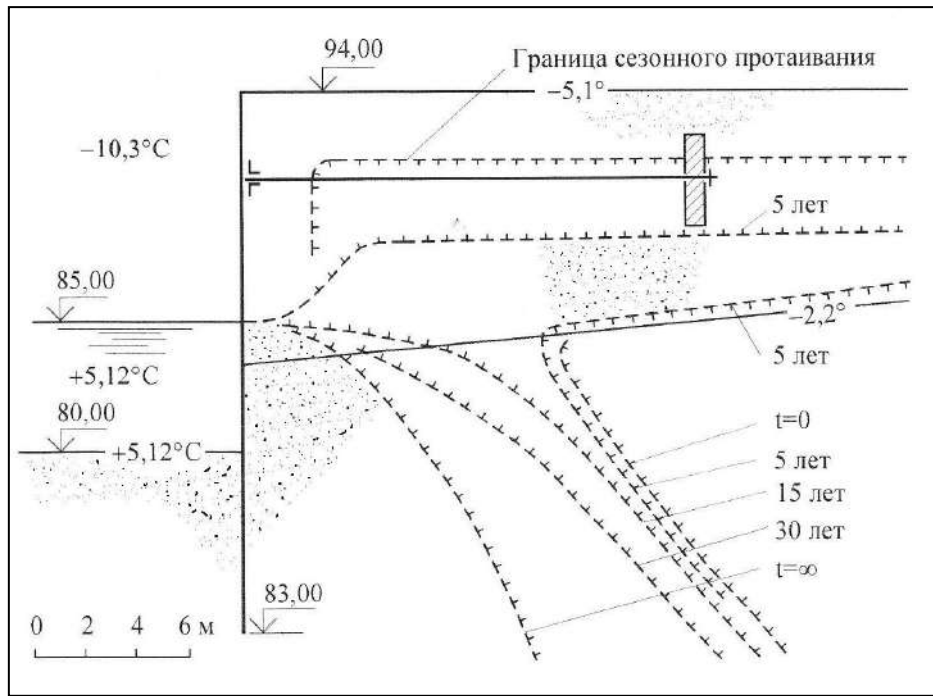


Рис. 25.37. Промерзание засыпки и основания шпунтовой причальной набережной Якутского порта (по расчету) [587]

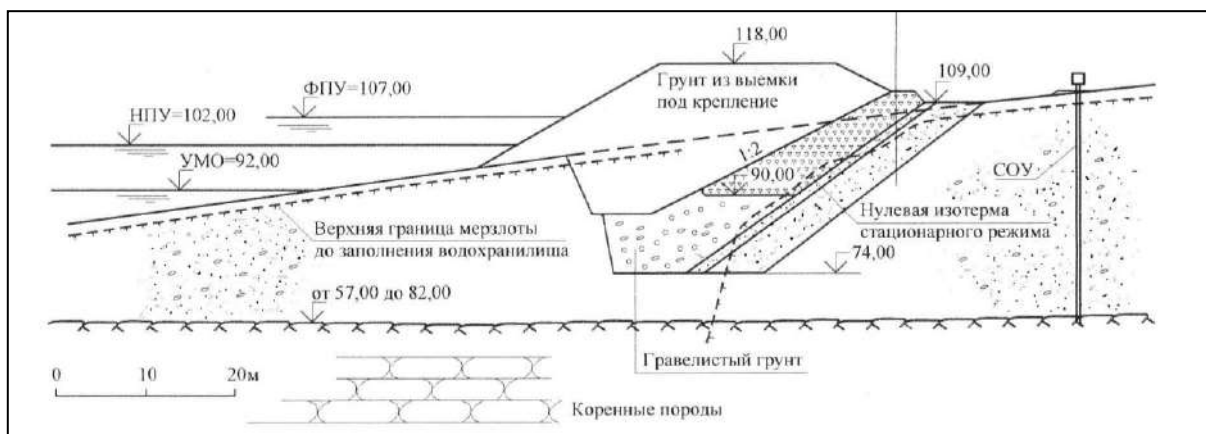
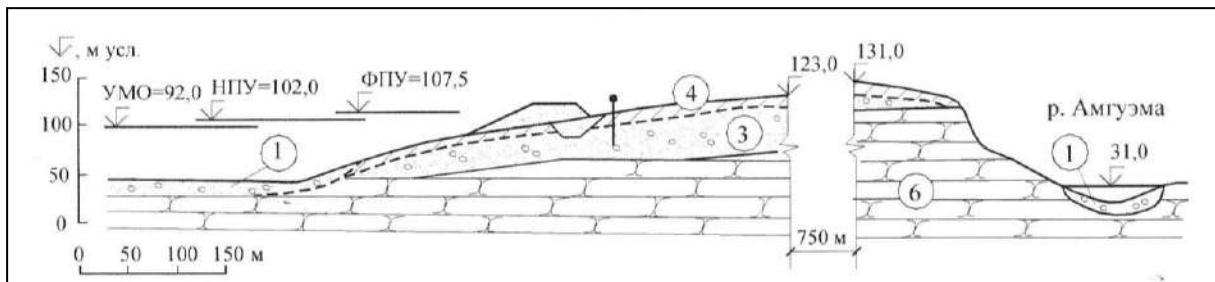


Рис. 25.38. Перешеек на Амгуэмском водохранилище и крепление берега каменно-грунтовой призмой: 1,3,4 – гравийно-галечниковые отложения; 6 – песчаники и алевролиты [587]

портах: Лабитнанги в устье р. Оби, Дудинке и Игарке на р. Енисее, Якутске на р. Лене и др. Так, в Якутском порту с 1965 г. эксплуатируется деревянная ряжевая причальная стенка (рис. 25.35), а в 1987 г. построена причальная стенка из стального шпунта. На рис. 25.36 и 25.37 проиллюстрирован температурный режим этих сооружений. Примерно через 30 лет от начала эксплуатации засыпка за обоими стенами пришла к предельному температурному состоянию, когда ее большая часть постоянно мерзлая. При мерзлой засыпке условия статической работы вертикальных стен улучшаются. Этот вывод, естественно, распространяется на вертикальные набережные, находящиеся в районах, сходных с г. Якутском по природно-климатическим условиям.

В проекте Амгуэмской ГЭС на Чукотке требовалось укрепление берега водохранилища протяжением 6 500 м в районе «перешейка», примыкающего к гидроузлу. В числе прочих рассматривался вариант с талой призмой из песчано-гравелистых грунтов и камня (рис. 25.38). Основание призмы, вынимая грунты с повторно-жильными льдами, пришлось заглубить на 18 м ниже УМО. На особо опасных участках длиной 3 км позади призмы предусматривалась мерзлотная завеса, создаваемая сезоннодействующими охлаждающими устройствами (СОУ). Стоимость берегозащиты была оценена в 196 % от стоимости основных сооружений гидроузла [587].

Необходимость учета температурного режима приводит к существенному удорожанию мероприятий инженерной защиты на водохранилищах в области вечной мерзлоты.

25.5. Экономическая целесообразность строительства берегозащитных сооружений

Стоимость строительства берегозащитных сооружений в Российской Федерации, оценивавшаяся учеными-экономистами на уровне 2005 г., колебалась в диапазоне 3,41–7,43 млн руб. за 1 км (табл. 25.7)

Очевидно, как выше говорилось, что принятие решений о предупреждении негативных последствий воздействия волн возможно лишь для ограниченных по протяженности участков побережий водохранилищ с наиболее высокой степенью угрозы населению, социально-экономической инфраструктуре поселений и природной среде.

Ситуация рассматривалась [683] на примере Камского водохранилища. В основу оценки рисков были положены прогнозируемые потери

земель из-за берегопереработки и показатели кадастровой стоимости земельных участков разных категорий на побережье. Рассчитанный по этим данным экономический риск от потери 70,9 га/год земель составил 26,214 млн руб./год в ценах на уровне 2005 г. (табл. 25.8). Затраты на строительство берегозащитных сооружений в Пермском крае достигали 3 715 тыс. руб./км (см. табл. 25.7). Отсюда следовало, что капитальные вложения в защитные мероприятия на Камском водохранилище экономически эффективны для участков берега общей длиной не более 7 км, а затраты на защиту всех разрушаемых берегов многократно выше экономического риска потери земель.

Таблица 25.7

Удельные показатели стоимости строительства берегозащитных сооружений на уровне 2005 г. [384]

Федеральный округ РФ	Стоимость строительства берегозащитных сооружений, тыс.руб./1 пог. км
Центральный	3 410 – 3 593
Северо-Западный	3 502 – 5 024
Южный	3 502 – 3 593
Приволжский	3 471 – 3 715
Уральский	3 502 – 5 420
Сибирский	3 684 – 4 293
Дальневосточный	4 141 – 7 430

Таблица 25.8

Вещественный и экономический риски от потери земель при переработке берегов Камского водохранилища [683]

Муниципальный район города	Протяженность береговой линии, м	Вещественный риск, га/год	Экономический риск, тыс.руб./га
Соликамский район и г. Соликамск	369 496	9,8	2 179,52
г. Березники	90 325	2,4	11 333,28
Усольский район	327 810	8,7	88,74
Юсьвинский район	173 162	4,6	28,93
Ильинский район	301 279	7,9	669,92
Чусовской район и г. Чусовой	229 078	6,1	2,68
Добрянский район и г. Добрянка	724 685	18,9	9 495,36
Пермский район	231 208	6,0	775,80
г. Пермь	44 362	1,3	1 579,89
Кунгурский район	199 093	5,2	60,84
В целом для Камского водохранилища	2 713 007	70,9	26 214,96

Однако, рыночная стоимость земельных участков обычно больше их кадастровой стоимости. Так, например, средняя рыночная стоимость земель на побережье Камского водохранилища в границах Добрянского и Пермского районов в 3,1 – 14 раз выше их средней кадастровой стоимости, а максимальная – в 23,4 – 200,0 раз. Такое положение характерно для побережий всех водохранилищ европейской части страны. Открыта перспектива учета рыночной стоимости защищаемых территорий. При этом возрастает экономическая эффективность капитальных вложений в защиту берегов водохранилищ [683]. Думается, что на данном поле деятельности землемеры и экономисты вряд ли когда-либо ощутят нехватку работы.

ГЛАВА 26. ПОДГОТОВКА К ЗАТОПЛЕНИЮ ЧАШ ВОДОХРАНИЛИЩ

26.1. Лесосводка и лесочистка в зонах затопления

Освобождение от леса чаш водохранилищ. В соответствии с нормативными представлениями [554] при подготовке чаши водохранилища необходимо выполнить работы по **лесосводке**, т.е. уборке товарной древесины, и **лесочистке** – уборке всей древесно-кустарниковой растительности на специальных участках: в зоне сработки, в охранной зоне гидроузла, на судовых ходах, рыбопромысловых участках (с корчевкой пней), в санитарных зонах у береговых населенных пунктов. Допускается затопление древесно-кустарниковой растительности в зоне мертвого объема (ниже УМО) на водохранилищах полным объемом свыше 10 млн м³. К товарному лесу обычно относят древостой хвойных пород независимо от возраста, имеющие запас древесины 40 – 60 м³/га и более при среднем диаметре стволов не менее 12 – 16 см на высоте груди человека. Лесосводка ведется сплошными рубками. Все остальные деревья относят к нетоварному лесу и их уборка из зон затопления осуществляется в порядке лесочистных работ [311].

При строительстве ГЭС в России практически ни на одном из водохранилищ работы по лесосводке и лесочистке в полном объеме выполнены не были [315].

При подготовке ложа Рыбинского водохранилища к весне 1941 г. было сведено свыше 11 млн м³ леса: из 6 млн м³ были изготовлены плоты, которые оставили в зоне затопления, чтобы буксировать судами после наполнения водохранилища; 5 млн м³ вывезли сразу после сведения [88; 108]. В первую очередь проводилась расчистка от леса и кустарника будущих судоходных трасс, также мест будущего лова рыбы. Лесные массивы, расположенные за их пределами, остались не вырубленными. К началу заполнения водохранилища в 1941 г. лес и кустарник, оставленные на корню, занимали 1 500 км² или 33 % площади водохранилища [92]. Затопленный лес погиб (рис. 26.1).

В зоне Чебоксарского водохранилища работы по лесосводке и лесочистке начали выполнять с 1971 г.; под промежуточную отметку ВПУ = 63,0 м они составили соответственно 3 500 тыс. м³ и 27 000 га. Лесочистка с раскорчевкой пней была проведена на рыбохозяйственных участках, трассах судовых ходов и в санитарных зонах у населенных пунктов. Остальное мелколесье было затоплено (рис. 26.2). После подъема уровня водохранилища до отметки 63,0 м в 1981 г. лесочистка выполнялась выше этой отметки с учетом подготовки ложа водохранилища на проектный вариант наполнения до НПУ = 68,0 м. Работы были приостановлены в 1988 – 1989 гг. Современные площади лесов и кустарников в зоне затопления Чебоксарского водохранилища от ВПУ = 63,0 м до НПУ = 68,0 м характеризуются данными табл. 26.1. Согласно проекту лесочистка должна быть по всей этой зоне [441].

Таблица 26.1

Площади лесов и кустарников в зоне Чебоксарского водохранилища от ВПУ = 63,0 до НПУ = 68,0 м [441]

Территориальная принадлежность	Лесопокрытая площадь, га	В том числе с древесиной, га	
		товарной	нетоварной
Чувашская Республика	5 965	626	5 339
Республика Марий-Эл	22 599	2 373	20 226
Нижегородская область	15 922	1 672	14 250
Всего	44486	4671	39815

В чаше Куйбышевского водохранилища сводка леса товарного назначения составила 6 622 тыс. м³, очистка от нетоварного леса, мелколесья и молодняка – 131 тыс. га, всего лесосводкой и лесочисткой было охвачено 259,9 тыс. га площадей [89]. В период наполнения водохранилища (1956 – 1957 гг.) перед зданием ГЭС образовалось поле из плавающего сора площадью 35 га и толщиной до 2 м, объем которого составлял около 200 тыс. м³. В завале были бревна и стволы деревьев с корнями, большое количество строительных отходов [108].

Особенность водохранилищ ГЭС в Сибири заключается в том, что они создавались на лесопокрытых территориях с запасом древесно-кустарниковой растительности до 200 м³/га, а уборка ее перед затоплением была сопряжена с определенными трудностями. В табл. 26.2 отражены проектные и фактические объемы лесосводки и лесочистки на водохранилищах Ангаро-Енисейского каскада. Отказ от проведения работ в запланированных

объемах явился причиной затопления этими водохранилищами 20,7 млн м³ древесины [313; 315].

Таблица 26.2

**Лесотаксационная характеристика чаш водохранилищ
Ангаро-Енисейского каскада [313; 315]**

Водохранилище	Красноярское	Саяно-Шушенское	Богучанское	Братское	Усть-Илимское
Год заполнения	1970	1986	2015	1963	1975
Площадь леса и кустарников, тыс. га	38	30,5	121,4	326,9	127,8
Запас товарной древесины, млн м ³	0,47	3,7	12,8	36,0	13,5
В т.ч. ликвидной, млн м ³	0,44	3,5	12,1	32,0	11,9
Площадь лесосводки и лесочистки, тыс. га	13,0	3,61	121,4	253,9	37,9
Объем лесосводки, млн м ³	0,44	1,4	10,6	32,0	11,9
Проектный объем затопления леса, млн м ³	0,3	2,1	2,0	4,0	1,6
Реальный объем затопления леса, млн м ³	0,47	3,5	–	12	5

В зоне затопления Братского водохранилища лесами и кустарниками было покрыто 326,9 тыс. га. Запас товарной древесины в лесах государственного фонда составлял 36 млн м³. Этот лес в ликвидном объеме 32 млн м³ должен был быть вырублен, вывезен и рационально использован. Территорию будущего водохранилища в зоне сработки и на 2 м ниже УМО предусматривалось очистить от мелколесья, высокого кустарника и всякого рода древесных остатков. Сводка леса и очистка территории затопления в сжатые сроки оказалась самой сложной и трудоемкой в системе мероприятий по подготовке ложа водохранилища. Основная трудность заключалась в транспортировке делового леса из зоны затопления. В результате было затоплено 12 млн м³ леса на корню, а значительная часть вырубленного, но не вывезенного леса, всплыла при наполнении водохранилища [315; 382].

Площадь под лесами и кустарниками в зоне затопления Красноярского водохранилища была сравнительно невелика (см. табл. 26.2). Лесосводке и лесочистке подвергли 13 тыс. га территории (рис. 26.3). Реальный объем затопленного леса (0,47 млн м³) превысил объем затопления, предусматривавшийся по проекту (0,3 млн м³).

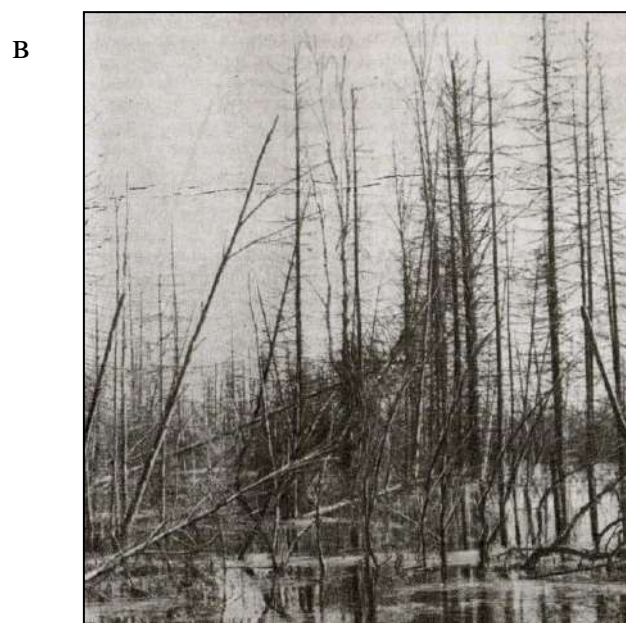
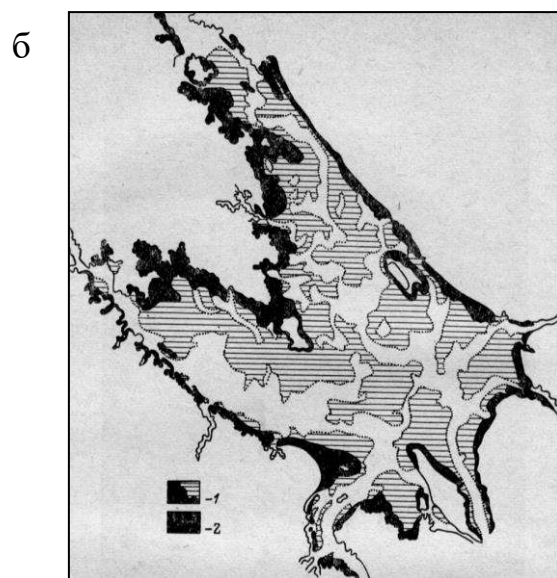


Рис. 26.1. Рыбинское водохранилище: а – участок ложа в Брейтовском районе Ярославской области после лесочистки, 1937 г. [88]; б – затопленные лесные площади в начале 1940-х гг. (1) и в 1950 г. (2) [7]; в – затопленный и погибший лес в Главном плесе, 1950-е гг. [92]



Рис. 26.2. Затопленное Чебоксарским водохранилищем и погибшее мелколесье у пос. Комариха. 2001 г. [420]

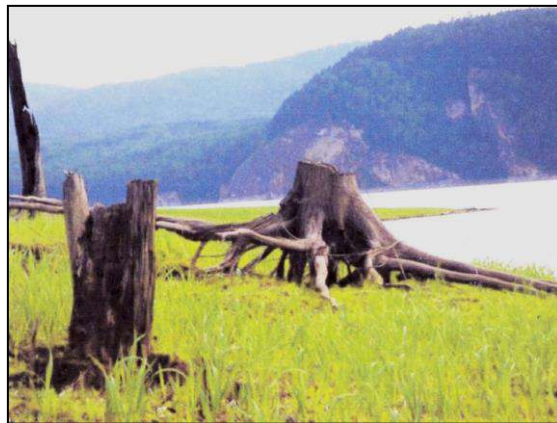


Рис. 26.3. Пни от вырубленных деревьев в зоне наполнения-сработки Красноярского водохранилища



Рис. 26.4. Мелколесье, затопленное при наполнении Бурейского водохранилища в 2010 г. [<http://clubs.ya.ru>]

Проектом строительства Саяно-Шушенской ГЭС был установлен объем товарной древесины на корню в ложе водохранилища 3,7 млн м³. В соответствии с решением правительства страны должно было быть вырублено и вывезено 0,9 млн м³, остальная часть (2,8 млн м³) – затоплена. Фактический объем затопления леса (см. рис. 21.9) составил 3,5 млн м³. Одной из причин невыполнения лесосводки явилось отсутствие подъездных дорог и крутосклонность рельефа [313].

Для производства работ по лесосводке и лесоочистке чаши дальневосточного Зейского водохранилища, заполненного в 1973–1978 гг., верхней границей был принят НПУ; кратковременное затопление при аккумуляции паводков не учитывалось. Исходили из того, что повышение уровня воды выше НПУ не окажет вредного воздействия на затапливаемую лесную растительность, а участки леса, теряющего качество от временных затоплений будут очищаться в порядке санитарных рубок. Начиная с 1967 г. основная часть древесины (до 400 тыс. м³/год и более) сплавалась по р. Зее в плотках до лесоперевалочной базы в г. Свободном, откуда по железной дороге направлялась потребителям. Часть плотов проходила до г. Благовещенска. Общий объем сплава леса по р. Зее в 1971 г. составил около 1 млн м³, в т.ч. из зоны затопления 380 тыс. м³, в 1972 г. – 420 тыс. м³. Лесосводка производилась по всей площади товарных древостоев. Лесоочистные работы выполнялись на участках спецзон, причем от лесоочистки рыбопромысловых участков площадью 13,5 тыс. га рыбохозяйственные организации отказались из-за предполагавшейся низкой рыбопродуктивности водохранилища. В целях предотвращения появления поросли и необходимости повторной очистки работы велись в последние три года перед затоплением водохранилища. 80 % их годовых объемов были выполнены в зимнее время вследствие заболоченности территории. Площадь лесоочистных работ в спецзонах составила 8,6 тыс. га. Нетоварный лес вне спецзон был затоплен [311].

В 2010 г. сдана в эксплуатацию Бурейская ГЭС на р. Бурее. Из 740 км² площади зоны Бурейского водохранилища 73 % было занято лесом. При наполнении водохранилища нетоварные древостои были затоплены (рис. 26.4).

В современных условиях проблема лесосводки и лесоочистки разделяется на три части: экономическую (реализация товарного леса на рынке), техническую (подготовка водохранилищ для рыболовства, судоходства и др.), экологическую (обеспечение качества воды). С учетом этого в проектах строящихся гидроузлов принимается следующая схема: на базе

лесоинвентаризации в затопливаемой зоне определяются объемы товарной древесины, подлежащей вырубке и вывозу; определяются объемы лесочистки на спецучастках; в предположении, что вся оставшаяся древесно-кустарниковая растительность будет затоплена, составляется прогноз всплывания древесины и изменения качества воды, рассматривая оставшуюся древесину как источник загрязнения; если объем плавающей древесины или прогнозируемое качество воды не отвечают нормативным требованиям, то объемы лесочистки увеличивают. Изложенный подход позволяет сбалансировать экономическую и экологическую стороны проблемы [515].

В 2015 г. завершено строительство Богучанской ГЭС на р. Ангаре. Ее водохранилище площадью зеркала 2 326 км² располагается в лесистой зоне Нижнего Приангарья. По данным инвентаризации 2007 г. территория, покрытая древесно-кустарниковой растительностью (ДКР) в ложе водохранилища, составляла 122,5 тыс. га со средней плотностью леса 78 м³/га и общим запасом древесины 9,6 млн м³. Наиболее вероятными сценариями работ по лесосводке и лесочистке рассматривались:

- проведение только лесочистки спецучастков территории Кежемского района Красноярского края на площади 13 320 га. При этом подлежало затоплению 8 647 тыс. м³ ДКР;

- проведение лесочистки спецучастков на территории Красноярского края и лесосводки в границах Иркутской области. Объем затопления ДКР – 7 714 тыс. м³.

При этом на территории Кежемского района Красноярского края в 1981–1987 гг. было уже убрано около 7 млн м³ древесины. Нормы [554] допускают оставлять на местах лесосводки и лесочистки пни высотой до 50 см, объем древесины в пнях может составлять до 7 % запаса древесины на корню. В ложе Богучанского водохранилища затоплено 155 тыс. м³ древесины в пнях [314].

Трудности с лесосводкой и лесочисткой традиционной лесоуборочной техникой характерны не только для России. На многих водохранилищах Канады лесочистка проводилась в зоне сработки, а ниже выполнялась лишь срезка деревьев, возвышающихся над водой при УМО. На ряде водохранилищ США вырубаемая в процессе лесочистки древесина не вывозилась, а складировалась на дне с прикреплением проволокой к пням против всплывания [515].

Своеобразная технология была опробована в США в 1960-е гг. Для подготовки территории к затоплению при создании водохранилища Родман

Дэм в штате Флорида использована гусеничная машина весом 300 т. Машина, двигаясь с рабочей скоростью 0,4 км/ч, подминала, валила, вдавливала в грунт все, что встречалось на ее пути: камни, кустарники, деревья диаметром до 0,8 м. Деревья вдавливались в грунт настолько надежно, что после заполнения водохранилища не всплывали. Проход машины создавал выровненную полосу шириной 7,3 м. Производительность машины 0,4 га/час. Основные части машины: корпус из двух стальных секций с отсеками, две гусеничные ленты шириной по 3,5 м, два дизельных двигателя по 270 л. с., толкающая трубчатая стальная балка, прикрепленная к корпусу (рис. 26.5). В нижних отсеках размещался водяной балласт, в верхних – двигатели, топливные баки, наверху корпуса – кабина для водителя и инженера, которые составляли экипаж машины. Водонепроницаемые переборки и задренные двери давали возможность использовать машину в болотистой местности, на реках и озерах с осадкой 2,38 м. Высота машины 6,7 м, длина 17,7 м. Без балласта машина весила 204 т и могла демонтироваться для перевозки автотранспортом.

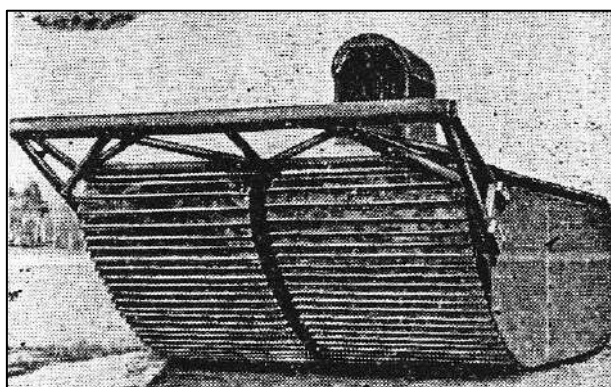


Рис. 26.5. Американская машина для подготовки территории к затоплению

Сегодня в промышленно развитых странах производится сплошная лесочистка чаш создаваемых водохранилищ с утилизацией всей древесины.

Между тем при эксплуатации водохранилищ оказалось, что кое-где невырубленная растительность сдерживает процесс переработки берегов, защищая их от волнового воздействия, создает лучшие условия размножения и нагула молоди рыб в прибрежных водах [515].

При подготовке территорий к затоплению водохранилищами были попытки реализовать меры против всплывания торфяников: разработку торфяных залежей на топливо и для других целей; превращение слоев торфа в

гидромассу; выжигание торфяников с предварительным осушением; пригрузку торфяников грунтом; минерализацию торфов при помощи известкования; закрепление торфяных пластов сваями. Эти меры распространения на практике не получили [357].

Лесной сектор экономики России. В Российской Федерации земли лесного фонда составляют 1046,3 млн га (см. табл. 11.2) [179]. Лесами в стране занято 750 – 900 млн га земель при том, что счетная палата фиксирует расхождение данных разных государственных реестров почти в 300 млн га [АН, 2019. – №21, №30].

В контексте вопроса о вырубке и затоплении лесов в зонах водохранилищ уместно упомянуть о том, что леса в нашей стране на незатопленных землях истребляются сплошными рубками, а также горят и подвергаются различного рода загрязнениям.

Проблемой лесного сектора экономики России является низкая эффективность использования природных ресурсов. Так, съем древесины с лесопокрытой площади составляет у нас 0,21 м³/га, а в экономически развитых странах 2,5 – 3,5 м³/га. При заготовке одинакового объема леса в России охватывается сплошными рубками в 5 – 7 раз большая территория, чем в соседней Финляндии. При этом предпочтение в бизнесе отдается стволу древесины, что составляет 60 – 65 % биомассы дерева, а остальная ее часть, как правило, остается на лесосеках в качестве потерь и отходов лесозаготовок [315] (рис. 26.6). В результате валовый доход с единицы площади российских эксплуатационных лесов в 3 десятка раз меньше, чем у финнов и шведов. И это давняя история [АН, 2019. – №21].



Рис. 26.6. Лесосека после сплошной рубки. Вологодская область, 2012 г.

При государственной плановой системе хозяйствования объемы заготовки древесины на территории России в иные годы превышали 300 млн м³, сотни тысяч гектаров лесов ежегодно превращались в вырубку с почвой, искореженной гусеничной техникой [315]. В начале XXI в. за год в стране вырубалось обычно около 100 тыс. га неосвоенных лесных массивов. А в 2017 г. лесозаготовительной деятельностью было охвачено около 500 тыс. га: 184 тыс. га в Красноярском крае, 145 тыс. га в Архангельской области, 88 тыс. га в Иркутской области, остальные в других местах [АН, 2019. – №21].

Россия стала лидером по экспорту круглого необработанного леса, заместив в 2017 г. 16 % (до 35 млн м³) объемов мирового рынка. Примерно 22 млн м³ в год (64 %) российской древесины уходит в находящийся под боком Китай (без учета «черного экспорта»). Запасы в России деловой древесины надлежащего качества оцениваются в 30 млрд м³. При сегодняшних темпах торговли, даже с некоторым учетом незаконных вырубок, всю российскую древесину удастся вывезти за рубеж примерно за 800 лет. Это если деревья останутся в своем росте. Но рост не остановишь. И поросли хватает. Значит наш лес полностью не вывезти из страны никогда [НВ, 2017. – №27; АН, 2019. – №30].

В XX в. в России леса сгорели, по разным оценкам, на площади от 70 до 100 млн га, примерно такой же, что была за этот период охвачена рубками главного пользования. В XXI в. площади, пройденные лесными пожарами, по нетвердой статистике составляли: 2000 г. – 1,2 млн га; 2001 г. – 0,9; 2002 г. – 1,3; 2003 г. – 2,1; 2004 г. – 0,4; 2005 г. – 0,7; 2006 г. – 1,3 [315]; 2015 г. – 2,62; 2017 г. – 4,48; 2018 г. – 8,54; 2019 г. – 10,0 млн га [АиФ, 2021. – №21]. При этом количество пожаров год от года уменьшалось: 2010 г. – 33,4 тыс.; 2014 г. – 16,9 тыс.; 2015 г. – 12,3 тыс.; 2016 г. – 11,0 тыс.; 2017 г. – 10,9 тыс.; 2018 г. – 9,9 тыс. [РФ, 2019. – №7]. Вероятно из-за увеличения их размеров. Например, за 2006 г. в Красноярском крае, главным образом в Кежемском, Богучанском и Енисейском районах, сгорело более 400 тыс. га тайги, что приблизительно составляет 2/3 от лесопокрытых площадей, занятых всеми водохранилищами Ангаро-Енисейского каскада [315].

Обычно все начинается с низового пожара, потом огонь, который не останавливают, поднимается вверх и пожар уже трудно потушить. В огне гибнет не только флора, но и фауна. При верховом пожаре у зверей, которые не успели убежать, шансов нет.

Лесоохрана подозревает, что часть пожаров затевают люди. Столбы с прибитыми плакатами «Костров не жечь» мало помогают. На них не обра-

щают внимания. Подобно фонарному столбу или рекламе пепси колы, они выпадают из поля восприятия из-за полной визуальной неинформативности.

За вторую половину XX в. на площади примерно 3,5 млн га произошло радиоактивное загрязнение лесного фонда страны:

– площадь лесов, загрязненных радионуклидами после чернобыльской аварии, установленная в процессе наземного поквартального радиационного обследования в 1991–1994 гг., составила 959 тыс. га, в том числе 127 тыс. га с загрязнением почвы цезием-137 выше 5 Ки/км^2 ; в зоне влияния оказались земли лесного фонда 15 субъектов Российской Федерации;

– как итог многолетней деятельности предприятий атомной промышленности в Уральском регионе радиоактивное загрязнение лесного фонда наблюдается на 647 тыс. га, в т.ч. в Челябинской области – 424,1, Свердловской – 183,5, Курганской – 39,4 тыс. га;

– при испытаниях ядерного оружия до введения запрета на надземные взрывы загрязнению радионуклидами подверглись леса Алтайского края и Республики Алтай площадью 271,5 тыс. га [315] (см. также раздел 22.4).

Еще одним фактором, убивающим леса, являются их вредители. Так, по данным Института леса им. В.Н. Сукачева, в 2017 г. шелкопрядом был омертвлен 1 млн га пихты и кедра в Сибири.

Всего с 1918 г. по 2000 г. сплошносечными рубками, лесными пожарами, насекомыми-вредителями, болезнями и другими воздействиями по всей России были охвачены лесные территории на площади около 200 млн га [315]. Отведенные под водохранилища ГЭС к 1990 г. 2,069 млн га лесных площадей (см. раздел 11.2) составили от этого лишь малую толику.

Как известно, лес относится к возобновляемым природным ресурсам, то есть он имеет возможность восстанавливаться после пожара или вырубki и других напастей (рис. 26.7). На пожарищах (рис. 26.8) примерно на 5-й год появляются молодые деревца: осины, ивы, рябины, сосны. Процесс формирования устойчивого таежного биоценоза занимает 90 – 150 лет. Но самовосстановление леса может и не произойти, а из-за увеличения влажности почвы территория вырубki превратится со временем в сфагновое болото [315]. Хорошо, как делают в США, сразу после вырубki леса эти места полить (с самолета) водой с удобрениями, чтоб быстрее приживалась поросль [АН, 2019. – №30].

Специалисты российской лесной отрасли ведут восстановление лесов.



Рис. 26.7. Поселок Ермаково на левом берегу р. Енисей в Туруханском районе Красноярского края, поглощаемый тайгой [GEO, 2009. – №9]: в 1947 – 1953 гг. был базой строительства железной дороги Салехард – Игарка с населением до 15 тыс. человек, окончательно опустел к 1964 г. [18]



Рис. 26.8. Полтора месяца после лесного пожара: показываются первые живые стебельки, отрастающие от уцелевших корней растений



Рис. 26.9. Один из 100 лесопитомников Минлесхоза Башкирии

Восстановленные площади лесных культур, включая созданные в дореволюционный период, по данным учета лесного фонда в 2007 г. составляли 18 млн га. При всех стараниях лесоводов (рис. 26.9) только на 10 % площадей вырубок, гарей, погибших древостоев, насаждения создаются искусственным путем. Особенно низка доля искусственных лесов в составе лесного фонда Сибири и Дальнего Востока [315].

Лес в мире. Леса важны для поддержания оптимальной атмосферы Земли. Поэтому ученые из университета г. Цюриха (Швейцария) предлагают засадить деревьями 900 млн га земной суши; они подсчитали, что в России имеется 151 млн га площадей, пригодных для посадки лесов, в США – 103 млн га и т.д. [АиФ, 2019. – №31]. Экоактивисты (проект Team Tress) собираются прибавить к лесам мира 20 млн деревьев, чтоб остановить рост средней температуры воздуха на планете [654].

Зарубежные дендрологи и статистики с использованием спутниковой информации определили, что в данный момент на Земле произрастает не менее (а скорее более) 3 триллионов деревьев. На фоне этой оценки будущие 20 млн саженцев экоактивистов выглядят совершенно незначительно, составляя ничтожную долю в 0,000066 % от количества деревьев на Земле. Профессиональные исследования показывают, что ежегодно в мире прибавляется до 5 миллиардов деревьев. Получается, энтузиасты всемирного озеленения при самом благоприятном развитии своей акции смогут сделать лишь 1/250 того, что каждый год делает природа, и мало что изменят в земной экологии.

Муссируется тема стремительного исчезновения лесов во всем мире из-за вырубок и пожаров. В межправительственной группе экспертов по изменению климата (МГЭИК) считают, что Земля теряет до 130 тыс. км² лесных территорий в год, эксперты из Канады называют число 33 тыс. км²/год. Но из обзора в престижном журнале Nature следует, что за последнее десятилетие площадь лесов в мире увеличивалась на 64 тыс. км² в год, причем прирост наблюдался практически везде: в субарктической тайге, в умеренной зоне, в субтропиках, в том числе на российских просторах. Ботаники связывают экспансию земной флоры с ростом концентрации атмосферного углекислого газа. Лесные пожары, периодически охватывающие Сибирь, южную Европу, Калифорнию, другие территории, лишь отчасти замедляют этот процесс. Первые пожары начались несколько сотен миллионов лет назад, когда растения завоевывали сушу. Поэтому растительный мир успел достаточно приспособиться к нашествиям огненной стихии. Ботаники

понимают, что лесные массивы представляют собой эффективные самовоспроизводящиеся и самоподдерживающиеся системы, которые наступают на окружающий мир, а не отступают перед засухами, пожарами и наводнениями [654].

26.2. Санитарная подготовка затапливаемых территорий

Подготовка территории, предназначенной для водохранилища, сопровождается санитарно-противоэпидемическими работами с целью предупреждения распространения болезней среди окружающего населения. Работы ведутся в летнее время, до наступления морозов и выпадения снега: в противном случае нельзя гарантировать их надлежащего качества.

В зонах постоянного и временного затопления, подтопления, обрушения берегов производится санитарная очистка. Ей подвергаются площадки дворов, населенных пунктов, промышленных предприятий, общественных мест. Очистка начинается сразу после переноса жилых и нежилых строений. Нечистоты из уборных (см. рис. 2.14), навоз, токсичные отходы производства (см. рис. 3.4), содержимое свалок удаляются полностью до чистого грунта и вывозятся за пределы затопления. Площадки и выгребные ямы, освобожденные от дерьма, дезинфицируются и засыпаются чистым грунтом. Засыпаются грунтом также шахтные колодцы, колодцы водопроводных и канализационных сетей, подвалы. Артезианские скважины тампонируются. Кирпичные, каменные строения сравниваются с землей. Мусор, солома, древесные остатки, брошенные населением, сжигаются на месте. Особой санитарной обработке подвергаются кладбища людей, они переносятся на незатопляемые места или укрепляются от размыва. Специфической обработке подвергаются скотомогильники. На водохранилищах – источниках централизованного водоснабжения предусматриваются санитарные зоны вокруг водозаборных сооружений.

В России насчитывается около 2 000 видов комаров, из них 9 видов малярийных комаров – переносчиков возбудителей малярии человека. Их яйца, личинки и куколки развиваются в спокойной воде. Самки кровососущи [69]. Малярия как массовое заболевание, была ликвидирована в СССР в 1960-е гг. [603]. При создании водохранилищ пойменные болота, мелководные озера, старицы обычно затапливаются, что улучшает маляриогенную обстановку. Так, после создания Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ большая часть побережья р. Волги стала безопасна в

маляриогенном отношении [7]. Но, с другой стороны, комары быстро заселяют мелководья вновь образованных водоемов. Поэтому в зонах будущих мелководий водохранилищ проводятся противомалырийные мероприятия. Наиболее радикальными из них являются гидромелиоративные (защитные), в частности, отсечение мелководных зон от водохранилищ системами инженерной защиты. Эти мероприятия дорогостоящие, но могут полностью ликвидировать малярийные очаги. Если комариные зоны возникают на эксплуатируемых водохранилищах, то могут потребоваться профилактические (предупредительные) противомалырийные мероприятия. Среди них опробовались, например, меры зоопрофилактики: отвлечение комаров от людей на животных – последние не болеют малярией и не передают ее человеку; разведение специальных мелких рыб (гамбузий, гольянид) и водоплавающих птиц (уток, гусей), которые уничтожают личинок малярийного комара.

Санитарная подготовка [554] проводилась перед введением в эксплуатацию всех больших водохранилищ России [7; 357; 382] (табл. 26.3). Этим удалось избежать потери здоровья населением прилегающих территорий.

Таблица 26.3

**Фактическое выполнение мероприятий по санитарной подготовке
ложа Куйбышевского водохранилища на 01.05.1957 г. [89]**

Наименование работ	Количество
Санитарная обработка мест поселений	266
Перенос и крепление кладбищ	28
Перенос и крепление скотомогильников, шт/м ²	31/40 457
Подготовка санитарных прибрежных противомалырийных зон	137
Санитарная лесочистка у населенных мест, га	9 679,9

**26.3. Подготовка водохранилищ для транспортного
освоения и рыболовства**

Подготовка водохранилищ для освоения водным транспортом, кроме указанных выше работ по очистке от леса и кустарника, состоит в разработке подводных каналов на участках, где вследствие особенностей естественного рельефа будут недостаточные глубины для плавания судов, также в строительстве портов, пристаней, знаков судоходной обстановки, необходимых в период предстоящей эксплуатации водохранилищ. Эти работы имеют самостоятельное значение и предусматривались специальными



Рис. 26.10. Причальный фронт грузового порта г. Бор на р. Волге, построенный в расчете на отметку НПУ = 68,0 м и недоступный для судов при отметке ВПУ = 63,0 м Чебоксарского водохранилища



Рис. 26.11. Строительство грузового причала из стального трубопунта на Горьковском водохранилище. 2010 г.



Рис. 26.12. Новый деревянный причал для скоростных судов на острове Кизи в Онежском озере. 2016 г.

проектами транспортного освоения строившихся водохранилищ [357]. Например, при подготовке зоны Куйбышевского водохранилища на р. Волге были построены Ставропольский порт, порты г. Казани и г. Ульяновска, создано 7 портов-убежищ для отстоя судов, не приспособленных к плаванию во время штормов, построены новые пристани [397]. На Чебоксарском водохранилище перед подъемом уровня построены порты в г. Чебоксарах (пассажирский и грузовой), г. Нижнем Новгороде, г. Бор и др. в расчете на НПУ = 68,0 м, которые при современном ВПУ = 63,0 м нормально не работают (рис. 26.10). Портовое строительство осуществлялось на всех больших водохранилищах России перед их заполнением.

Строительство причалов продолжается на действующих водохранилищах, теперь с применением современных конструкций, например, из стального трубошпунта (рис. 26.11). Не забывают о туристах (рис. 26.12)

Примерно 20 – 50 % площади водохранилищ обычно подготавливаются к активному рыболовству неводами, тралами, ставными сетями. Места, на которых будут протягиваться неводы, носят название тоневых участков. На них проводят раскорчевку пней, разравнивание поверхности земли, уборку отдельных камней и т.п. В зонах сработки нередко устраиваются системы каналов, соединяющих основные части водохранилищ с имевшимися до их создания озерами, старицами, замкнутыми понижениями земной поверхности. Цель таких каналов состоит в том, чтобы при сработке водохранилищ в зимний период, когда они покрыты льдом, рыбы из замкнутых понижений имели бы по каналам выход в глубоководные части водоемов [357].

ГЛАВА 27. ОРГАНИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

27.1. Управление использованием водных ресурсов

На рис. 27.1 схематично представлена система управления водными ресурсами России [329]. Для управления государственным водным фондом и водохозяйственным комплексом Указом Президента Российской Федерации от 9. 03. 2004 г. № 314 «О системе и структуре федеральных органов исполнительной власти» образовано Федеральное агентство водных ресурсов, находящееся в ведении Министерства природных ресурсов и экологии и осуществляющее свою деятельность непосредственно и через свои территориальные органы – бассейновые водные управления (рис. 27.2). В числе полномочий агентства находятся владение, пользование и распоряжение водными объектами, отнесенными к федеральной собственности, кроме случаев, установленных актами Президента РФ и Правительства РФ [184].

Основные функции Федерального агентства водных ресурсов состоят в следующем:

- обеспечение в пределах своей компетенции мероприятий по рациональному использованию, восстановлению и охране водных объектов, предупреждению и ликвидации вредного воздействия вод;
- предоставление права пользования водными объектами, находящимися в федеральной собственности;
- эксплуатация водохранилищ и водохозяйственных систем комплексного назначения, защитных и других гидротехнических сооружений (ГТС), находящихся в ведении Агентства, обеспечение их безопасности;
- разработка в установленном порядке схем комплексного использования и охраны водных объектов, водохозяйственных балансов и составление прогнозов состояния, перспективного использования и охраны водных объектов;

- обеспечение разработки и осуществления противопаводковых мероприятий, мероприятий по проектированию и установлению водоохран-ных зон водных объектов и их прибрежных защитных полос, предотвраще-нию загрязнения вод;

- оказание государственных услуг по предоставлению информации, связанной с состоянием и использованием водных объектов, находящихся в федеральной собственности;

- ведение государственного реестра договоров пользования водными объектами, государственного водного кадастра и Российского регистра гидротехнических сооружений, осуществление государственного мониторинга водных объектов, государственного учета поверхностных и подземных вод и их использования [658].

Особенностью организации управления водным хозяйством на совре-менном этапе является перенос центра подготовки и реализации решений по использованию и охране водных объектов на бассейновые водные управ-ления, т.е. приближение центра принятия решений к объекту управления. Бассейновые водные управления обеспечивают:

- предоставление прав пользования водными объектами – выдачу ли-цензий на водопользование, регистрацию договоров пользования водными объектами;

- подготовку предложений по установлению лимитов и квот водо-пользования по бассейнам рек для субъектов РФ и доведение установлен-ных лимитов до водопользователей;

- учет использования вод, организацию государственного монито-ринга водных объектов;

- регулирование режимов использования водных ресурсов водохра-нилищ комплексного назначения;

- организацию обследования паводкоопасных территорий, гидротех-нических сооружений, потенциально опасных объектов в зонах предполага-емого затопления;

- планирование и организацию работ по проектированию и установ-лению на местности водоохран-ных зон водных объектов;

- организацию разработки схем комплексного использования и охраны водных объектов по речным бассейнам, организацию ведения Рос-сийского регистра гидротехнических сооружений;

- организацию и проведение государственной экспертизы проектной документации на строительство и реконструкцию хозяйственных объектов,

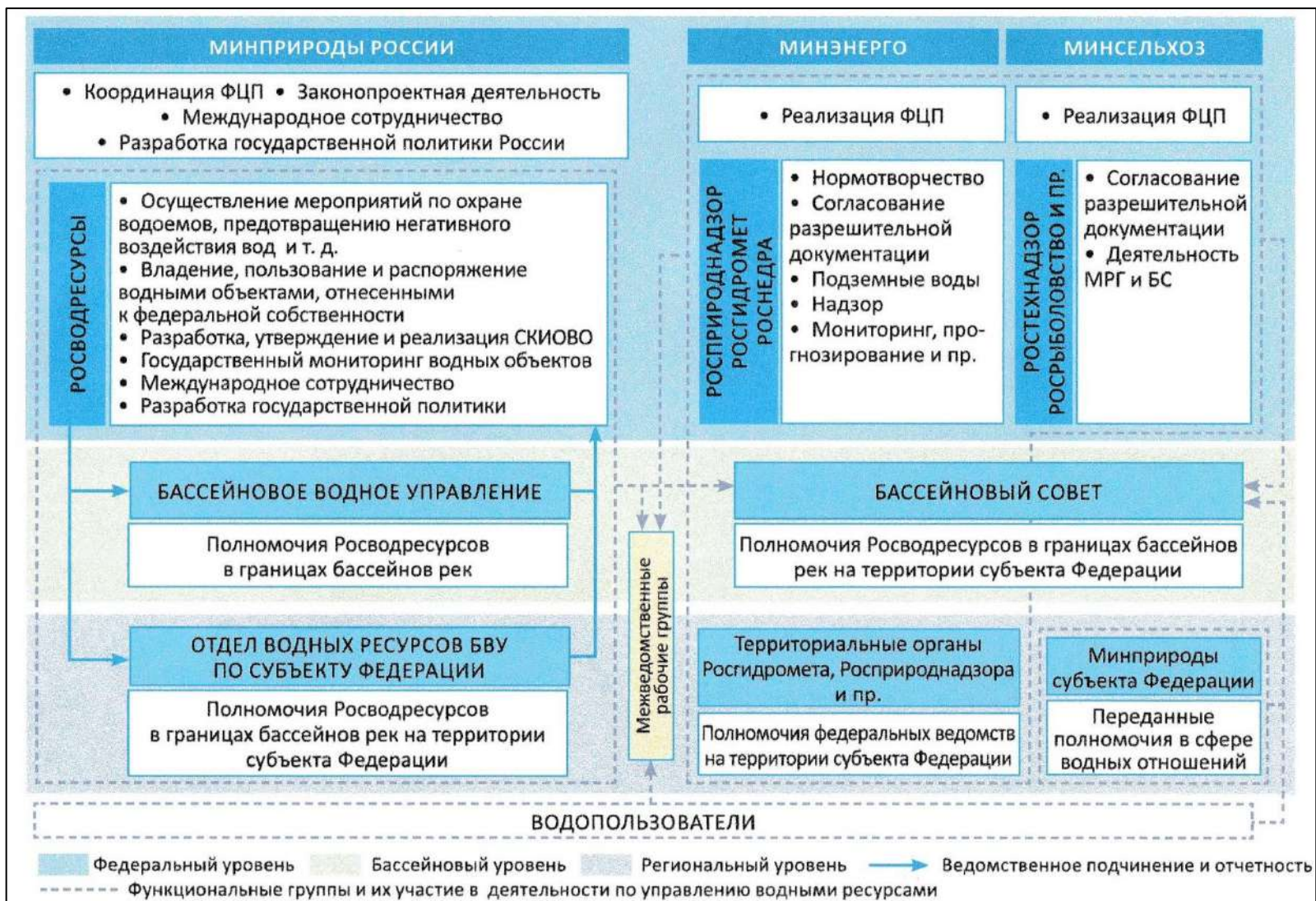


Рис. 27.1. Система управления водными ресурсами России [329]

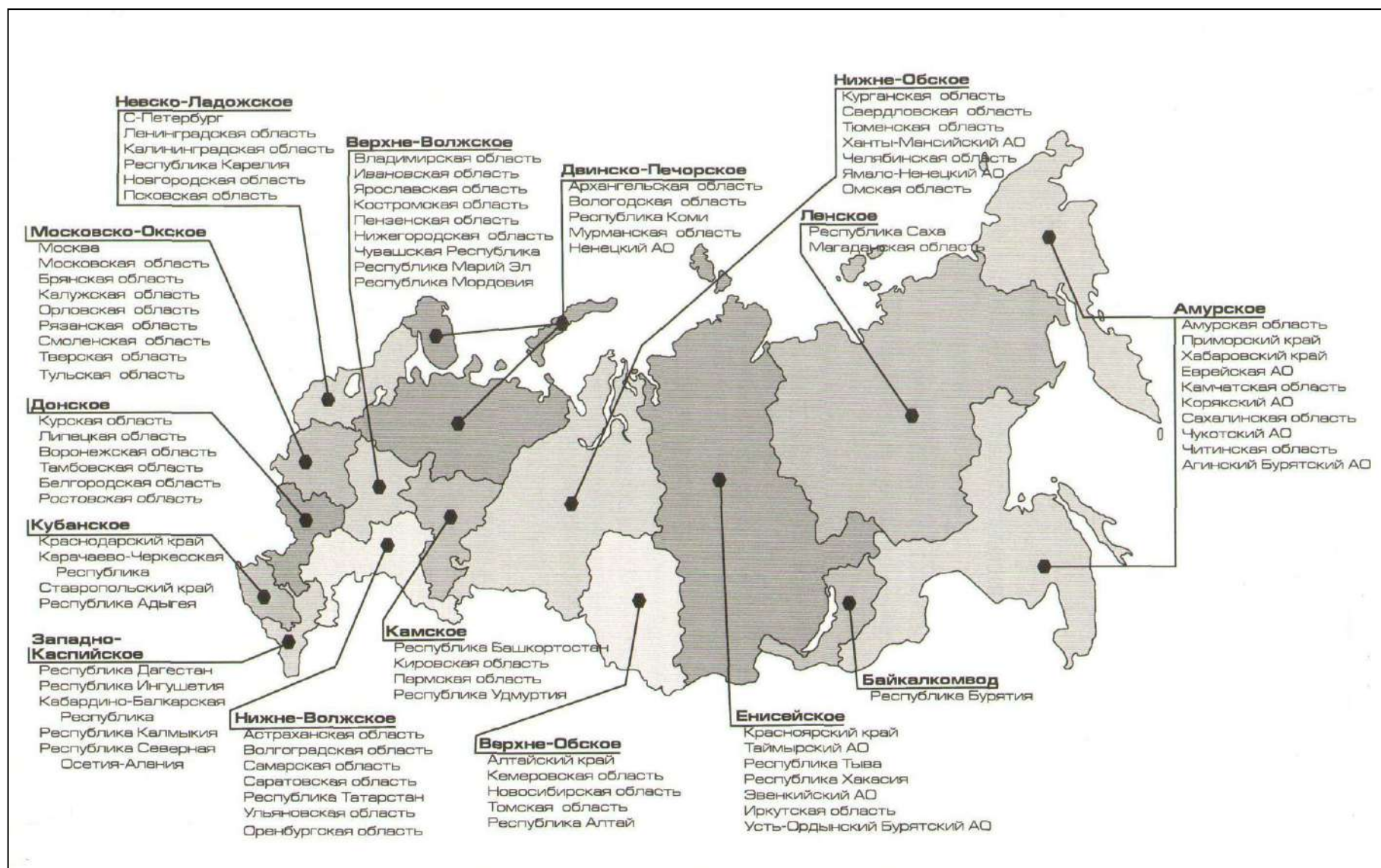


Рис. 27.2. Бассейновые водные управления Федерального агентства водных ресурсов [658]

влияющих на состояние водных объектов;

- организацию разработки автоматизированных систем сбора, обработки, анализа, хранения и выдачи информации о состоянии водных объектов, водных ресурсах, режиме, качестве и использовании вод по речным бассейнам;

- формирование программ водохозяйственных и водоохраных мероприятий, выполнение части функций заказчика.

В государственном управлении водохозяйственным комплексом значительное место отводится межведомственному взаимодействию в области информационного обеспечения, мониторинга, контроля за использованием и охраной, экологического контроля, управления качеством воды водных объектов, надзора за безопасностью ГТС (Росводресурсы, Росгидромет, Роснедра, Роспотребнадзор, Росприроднадзор, Ростехнадзор, Ространснадзор, органы власти субъектов РФ, органы местного самоуправления) [184].

Стратегические задачи развития водного хозяйства [115] решаются с помощью Схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО). Первая Генеральная СКИОВО СССР была разработана институтом «Гидропроект» в 1965 г., позднее (в 1980 – 1990 гг.) институтом «Союзводпроект» разработана Схема для СССР на период до 2000 г. и Российской Федерации – до 2005 г. Это схемы территориальные. Параллельно разработаны также бассейновые схемы практически для всех крупных рек страны. В 2007 г. принята новая редакция Водного кодекса Российской Федерации [118], в соответствии с которым СКИОВО пересмотрены, их роль усилена с акцентом на общие бассейновые и региональные проблемы: лимиты водопользования, обеспечение экологических требований, требований социально-экономического развития регионов [508]. Схемы реализуются в составе федеральных, а также других государственных и иных целевых программ по использованию и охране водных ресурсов.

Иллюзия бесплатности воды в СССР способствовала утверждению экстенсивного подхода к использованию водных ресурсов, переходящего в некоторых случаях в бесхозяйственное к ним отношение, что вело к количественному и качественному истощению водных источников, поставило, например, на грань исчезновения Аральское море. С 1982 г. была введена плата за воду, забираемую из поверхностных водных систем предприятиями промышленности. В новой России Водным кодексом 1995 г. и его последующими редакциями [118] установлена плата за пользование водными объектами – водный налог. В налоге, по мнению специалистов, не нашли пока

SWOT – анализ системы управления водными ресурсами России [329]

		Сильные стороны	Слабые стороны
Внутренние условия		<p>Водно-ресурсный потенциал Устоявшаяся система управления Обеспеченность водохозяйственными сооружениями и инфраструктурой Сформированное водное законодательство Программный подход к проведению водохозяйственных и водоохраных мероприятий Завершающий цикл стратегического планирования «Подтянутые инвестиции» Некоторое снижение антропогенной нагрузки на водные объекты</p>	<p>Система платного водопользования Система ведомств и органов власти по управлению водными ресурсами Период реформирования законодательства Инерционность развития Слабая координация научного обеспечения деятельности органов власти Минприроды и Росводресурсов Кадровое обеспечение органов власти и организаций Низкая эффективность реализации некоторых проектов</p>
		Возможности	Угрозы
Внешние факторы	Национальный уровень	<p>Растущая экономика Развитие механизмов государственного финансирования Сопряженный эффект реализации стратегических документов в прочих отраслях Резервы роста эффективности деятельности органов власти, рациональности использования и продуктивности водных ресурсов Реформирование системы нормирования воздействия на окружающую среду Интегрирование элементов систем управления природопользованием Цифровизация водохозяйственного комплекса</p>	<p>Вызовы и угрозы экологической и экономической, Военно-политической безопасности Российской Федерации Угрозы водной безопасности Низкий уровень соблюдения нормативов и законодательства Зависимость системы управления водными ресурсами от системы управления природопользованием</p>
	Международный	<p>Мировой опыт управления водными ресурсами, экосистемными услугами водных объектов, технологии Международный рынок водных ресурсов и экосистемных услуг</p>	<p>Трансграничное воздействие на водные ресурсы РФ Международные ограничения в принципах управления, реализации «зеленых» направлений развития Глобальные угрозы (изменение климата, его последствия и пр.)</p>

отражения требования рыночной экономики, – следует установить «реальные» цены на водные ресурсы и обязательность платы за них для всех субъектов водопользования [184].

В ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» совместно с ФГБНИУ «Совет по изучению производительных сил» Всероссийской академии внешней торговли Минэкономразвития России в 2018 г. проанализирована эффективность функционирования системы управления водными ресурсами России и ее отдельных элементов. Факторами развития водохозяйственного комплекса признаны реализация стратегических документов и достижение целевых значений установленных показателей, рост водохозяйственных инвестиций и уровня самофинансирования сферы водного хозяйства, сформированное научное и информационное обеспечение системы управления. С применением метода SWOT-анализа оценены сильные и слабые стороны системы управления водными ресурсами, как внутренние условия ее формирования (табл. 27.1). К внешним факторам отнесены возможности развития системы – положительные аспекты и угрозы. Внешними факторами признаны как национальные составляющие системы государственного управления, так и факторы, оказывающие влияние на международном уровне. Проведенный анализ позволил сделать вывод, что система в целом отлаженно функционирует, и наметить пути ее совершенствования [329].

27.2. Правила использования водохранилищ

Существо правил. Эксплуатацию каждого большого водохранилища (или группы водохранилищ) определяют «Правила использования водохранилища» [462; 496], составляемые согласно Положению о разработке, согласовании и утверждении правил использования водохранилищ, в том числе типовых правил использования водохранилищ, утвержденному Постановлением Правительства Российской Федерации №349 от 22.04. 2009 г. [489], при помощи соответствующих методических указаний [390].

Правила использования водохранилища включают 2 документа:

- Правила использования водных ресурсов водохранилища, определяющие режим использования, в том числе режим наполнения и сработки водохранилища;
 - Правила технической эксплуатации и благоустройства водохранилища, определяющие порядок использования дна и берегов водохранилища,

устанавливающие состав мероприятий для обеспечения надлежащего технического, санитарного, экологического состояния водохранилища и нижнего бьефа гидроузла.

Правила использования водных ресурсов водохранилища содержат следующие разделы:

- характеристики гидроузла, водохранилища либо нескольких водохранилищ или каскада водохранилищ и их возможностей;
- основные характеристики водотока;
- состав и описание гидротехнических сооружений водохранилища;
- основные параметры водохранилища;
- требования о безопасности в верхнем и нижнем бьефах;
- водопользование и объемы водопотребления;
- порядок регулирования режима функционирования водохранилища;
- порядок проведения работ и предоставления информации в области гидрометеорологии;
- порядок оповещения органов исполнительной власти, водопользователей, жителей об изменениях водного режима водохранилища, в том числе о режиме функционирования водохранилища при возникновении аварий и иных чрезвычайных ситуаций;
- приложения с исходными данными, результатами исследований и расчетов, использованными при разработке документа.

Правила технической эксплуатации и благоустройства водохранилища содержат следующие разделы:

- описание водохранилища и гидротехнических сооружений;
- сведения о зонах воздействия водохранилища;
- перечень мероприятий, осуществляемых при эксплуатации водохранилища в зимний период и в период пропуска половодий и паводков;
- перечень мероприятий, осуществляемых при эксплуатации водохранилища в случае возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций;
- ограничения эксплуатации водохранилища и перечень мероприятий по поддержанию его надлежащего санитарного и технического состояния;
- порядок организации ремонтно-эксплуатационных работ;
- наблюдения за состоянием водохранилища, входящих в его состав сооружений и учет использования его водных ресурсов;
- перечень способов наблюдений за техническим состоянием водохранилища и входящих в его состав сооружений, порядок осуществления таких наблюдений;

- приложения.

Правила использования водохранилища разрабатываются организацией, составившей проект водохранилища, согласовываются участниками водохозяйственного комплекса, утверждаются государственным органом по управлению водными ресурсами. По новым водохранилищам они подготавливаются и утверждаются к моменту сдачи в постоянную эксплуатацию [489].

Перечень больших водохранилищ, в отношении каждого из которых осуществляется разработка Правил использования, утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации № 197-р от 14.02.2009 г.

Основным руководством по эксплуатации водохранилищ емкостью менее 10 млн м³, а также большего объема, но не вошедших в названный выше перечень, являются Типовые правила использования водохранилищ, утвержденные приказом Минприроды России № 330 от 24.08.2010 г. [637]. Они распространяются на водохранилища и пруды, функционирующие для целей питьевого, хозяйственно-бытового, технического водоснабжения, гидроэнергетики, рыбного хозяйства, рекреации, пожарной безопасности и многоцелевого использования.

Требования к режимам использования водохранилищ, предъявляемые водопользователями.

Требования гидроэлектростанций: обеспечение гарантированной мощности ГЭС 85 – 95 % по числу бесперебойных лет; снижение гарантированной мощности ГЭС за пределами расчетной обеспеченности не должно превышать 20 – 30 %; распределение гарантированной мощности ГЭС внутри года в соответствии с требованиями энергосистемы; установленная мощность ГЭС в период прохождения максимума нагрузки энергосистемы должна использоваться без ограничений; годовая выработка электроэнергии ГЭС должна быть максимально возможной в любых по водности условиях; колебания энергоотдачи ГЭС в течении суток и недели должны соответствовать требованиям энергосистемы и не превышать значений, установленных в проекте ГЭС.

Требования тепловых и атомных электростанций: обеспечение необходимого объема и режима водоподдачи в суточном, недельном, сезонном и годовом разрезах; беспрепятственное использование водохранилища в качестве охладителя сбросной теплой воды; глубина сработки водохранилища не может быть ниже отметки водозабора ТЭС или АЭС из-за угрозы остановки или снижения мощности.

Требования водоснабжения (питьевого, хозяйственно-бытового, а

также промышленного): обеспечение регламентированных уровней воды в водохранилище и/или расходов сбросов из водохранилища для бесперебойной работы водозаборных сооружений; поддержание высокого санитарного качества воды.

Требования водных путей сообщения и сплава древесины: обеспечение в период навигации нормируемых глубин по трассе судового хода, как в водохранилищах, так и на незарегулированных участках рек, путем навигационных попусков из водохранилищ; обеспечение необходимых объемов воды для шлюзований через гидроузлы; поддержание в межнавигационный период заданных уровней воды в местах зимнего отстоя судов.

Требования для орошения земель: бесперебойное обеспечение регламентированных объемов, расходов и уровней воды в водохранилище и нижнем бьефе.

Требования для рыболовства: режим сработки водохранилища должен обеспечивать естественный нерест и миграцию промысловых рыб; в период нереста режим сработки и наполнения должен обеспечивать минимальные колебания уровня воды в водохранилище и на участке водотока ниже плотины; глубина зимней сработки водохранилища в условиях наличия ледового покрова должна обеспечивать выживаемость зимующих рыб.

Требования рекреации (туризм, водные виды спорта, купание и др.): соблюдение благоприятного режима расходов и уровней воды в верхнем и нижнем бьефах гидроузлов и на незарегулированных участках рек ниже гидроузлов; требования к качеству воды.

Перечисленные требования водопользователей согласовывают между собой и учитывают при разработке Правил использования водохранилищ [390]. Регулирование режимов работы водохранилища в порядке, устанавливаемом Правилами использования водных ресурсов, осуществляет организация, ответственная за эксплуатацию гидроузла, образовавшего водохранилище, в соответствии с указаниями Федерального агентства водных ресурсов [489; 658].

Автоматизация управления каскадами водохранилищ. В арсенале Агентства водных ресурсов имеется компьютерная технология информационной поддержки при управлении каскадами водохранилищ [45]. Структурно технология состоит из 4-х взаимосвязанных компонентов (рис. 27.3):

- программного комплекса математического моделирования формирования речного стока ЕСОМАГ;
- программного комплекса математического моделирования

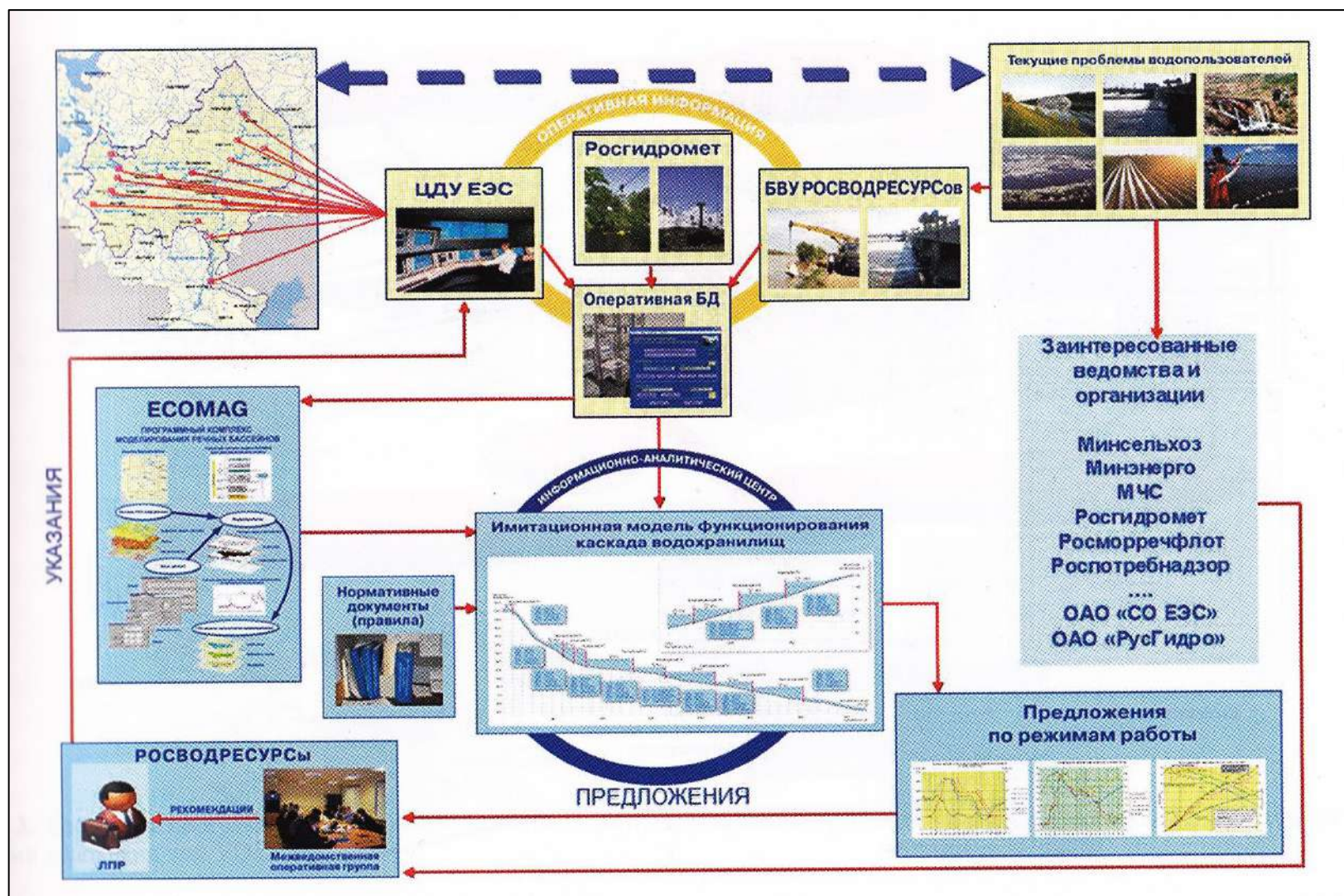


Рис. 27.3. Схема принятия решений при управлении каскадами водохранилищ России (на примере водохранилищ Волжско-Камского каскада) [45]

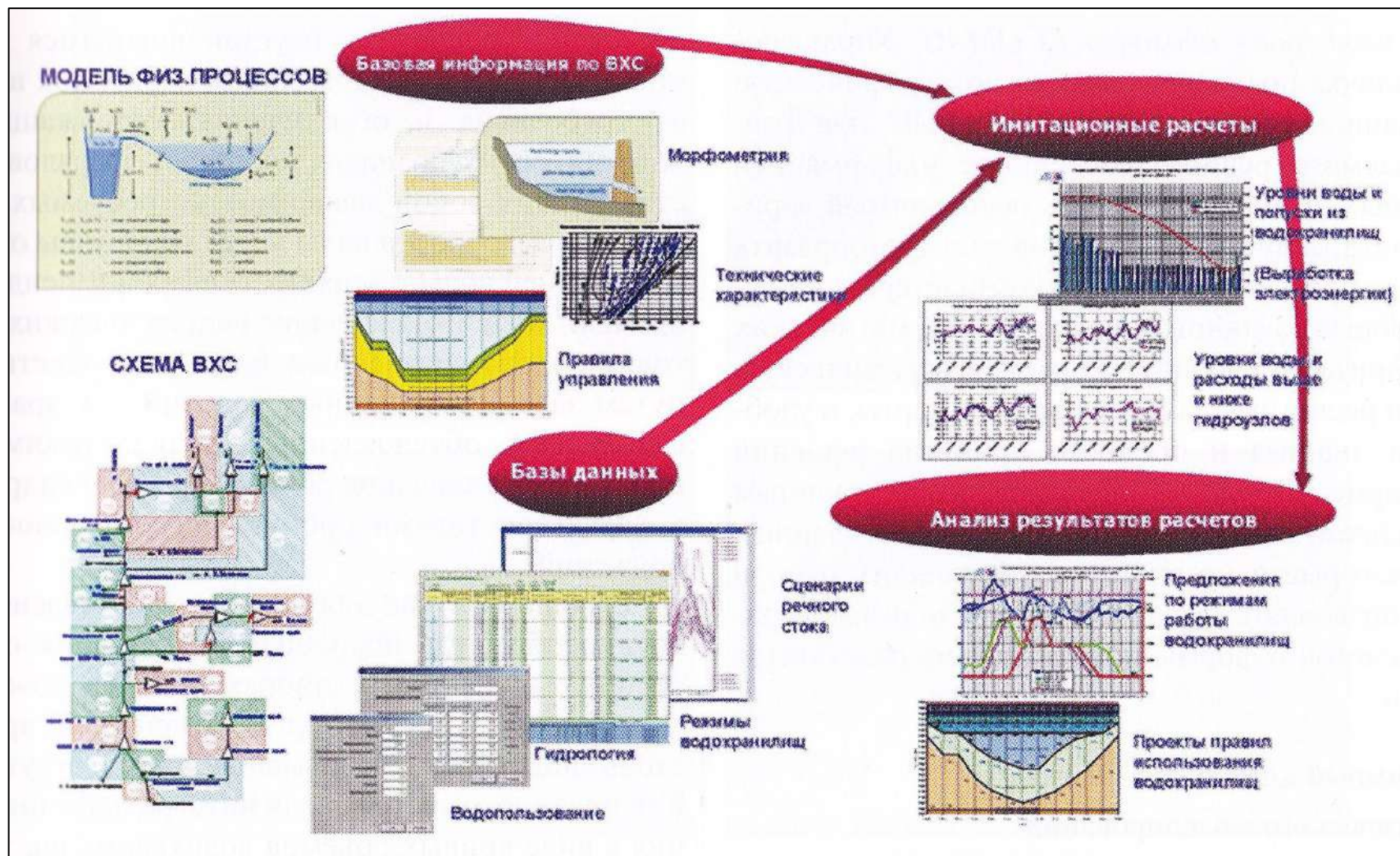


Рис. 27.4. Структура программного комплекса математического моделирования функционирования водохозяйственных систем с каскадами водохранилищ VOLPOW [45]

функционирования водохозяйственной системы с каскадом водохранилищ VOLPOW;

– баз данных картографической, метеорологической, гидрологической, агрометеорологической и водохозяйственной информации и систем управления этими базами;

– подсистемы визуализации и представления результатов сценарных имитационных расчетов режимов работы водохранилищ.

Программный комплекс VOLPOW (рис. 27.4) позволяет рассчитывать следующие группы водохозяйственных показателей: уровни воды; сбросные расходы гидроузлов; напоры, подачу воды на ГЭС; генерируемую мощность ГЭС. Технология частично внедрена с 2000-х гг. для управления водохранилищами Волжско-Камского каскада в рамках ФЦП «Возрождение Волги» [420]. В частности, был сделан прогноз пропуска половодья 2005 г. с учетом спецпуска из Волгоградского водохранилища в объеме 135,4 – 144,4 км³, который затем фактически составил 136,3 км³. В 2007 – 2010 гг. были просчитаны варианты и выбраны оптимальные диспетчерские графики для водохранилищ Верхневолжского, Ивановского, Угличского, Рыбинского, Горьковского, Камского, Воткинского и др. [45].

Отклонения от правил. Многолетний опыт показал, что соблюдение установленных правил [489] позитивно сказывается на эффективности использования водных ресурсов водохранилищ [28]. Однако управление на практике отличается от теории управления [45; 68] и нередки случаи, когда организациями, эксплуатирующими гидроузлы, допускались отклонения от проектных режимов водохранилищ.

Отметки НПУ водохранилищ утверждаются одновременно с проектами гидроузлов. Для каждого водохранилища устанавливаются максимальный и минимальный уровни воды в створе подпора, предельно допустимые при нормальной эксплуатации, и условия, при которых допускается превышение нормального либо максимально допустимого подпорного уровня или сработка водохранилища ниже минимального проектного уровня.

Форсировка уровня над НПУ допускается, как правило, только после полного открытия всех работоспособных водопропускных отверстий напорного фронта гидроузла. В порядке исключения форсировка подпорного уровня при неполном раскрытии водосбросного фронта гидроузла допускается в том случае, если водохранилище используется для борьбы с наводнениями на нижележащем участке долины реки и для этой цели предусмотрена резервная емкость, формируемая выше отметки НПУ. Допускаются

также предусматриваемые в проектах кратковременные, иногда периодические, подъемы подпорного уровня над нормальной отметкой вследствие ветрового нагона или сейшевидных колебаний поверхности водохранилища. Но бывало, что предусмотренную в проекте форсировку уровня, рассчитанную на применение только при чрезвычайных обстоятельствах, эксплуатационники рассматривали как разрешенное увеличение напора на ГЭС при любой обстановке и старались придать форсировке по возможности длительный характер, не считаясь с дополнительными затоплениями и подтоплениями земель и связанными с этим ущербами [534].

Таким образом многократно форсировался уровень Цимлянского водохранилища на р. Дону в начальный период эксплуатации. Наполнение водохранилища началось зимой 1951 г. и было завершено в 1953 г. В период нормальной эксплуатации 1959, 1962, 1965, 1967 гг. были маловодными и водохранилище до НПУ не наполнялось. В многоводные 1953, 1955, 1957, 1959, 1961, 1962 гг. осуществлялась форсировка уровня до 0,85 м сверх НПУ, продолжавшаяся в течение 2 – 2,5 месяцев (рис. 27.5). При дополнительной выработке электроэнергии Цимлянской ГЭС, получаемой за счет форсировки уровня водохранилища, одновременно наносился значительный урон сельскому хозяйству [534; 673].

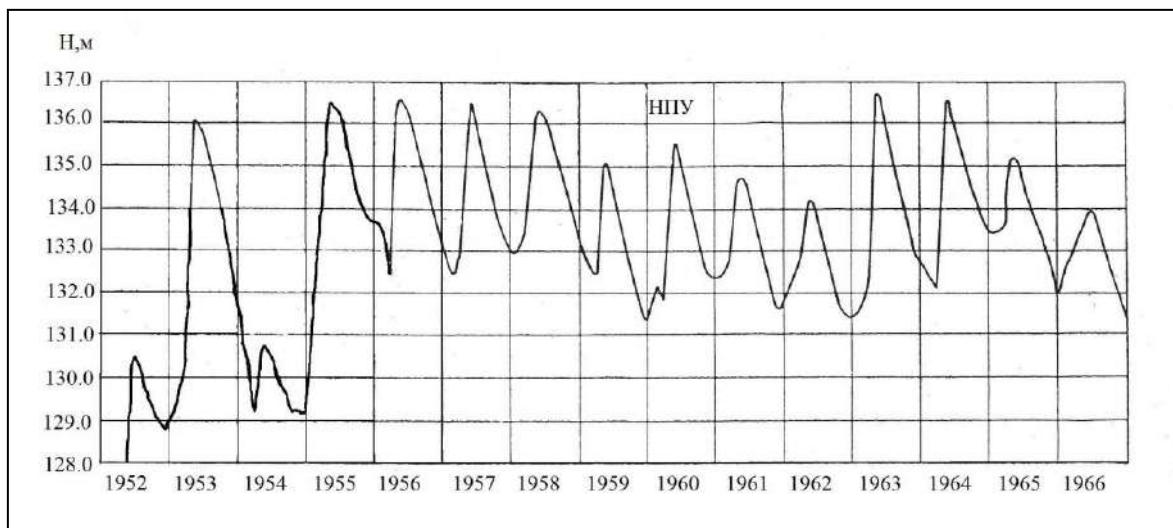


Рис. 27.5. Уровни Цимлянского водохранилища за 1952 – 1966 гг. [673]

Подобным же образом форсировались уровни водохранилищ на р. Волге. Например, в 1961 г. эксплуатационными энергетическими организациями превышение установленных отметок НПУ было допущено на всех действовавших тогда водохранилищах каскада, в том числе Угличском на

0,6 м, Рыбинском на 0,4 м, Горьковском на 0,4 м и т.д. Это привело к затоплению и подтоплению значительных площадей сельскохозяйственных земель и к повреждению защитных дамб обвалования Костромской низины [534]. В связи с форсировкой уровней в 1960-х гг. наблюдались периоды усиления переформирования берегов водохранилищ [673].

В III и IV кварталах 1963 и 1964 гг. была допущена пересработка водохранилищ Волжско-Камского каскада, особенно Рыбинского и Куйбышевского (рис. 27.6). Это нанесло урон электроэнергетике, вызвав уменьшение энергоотдачи на 1,5 млрд кВт·ч, и привело к ущербу для других отраслей экономики.

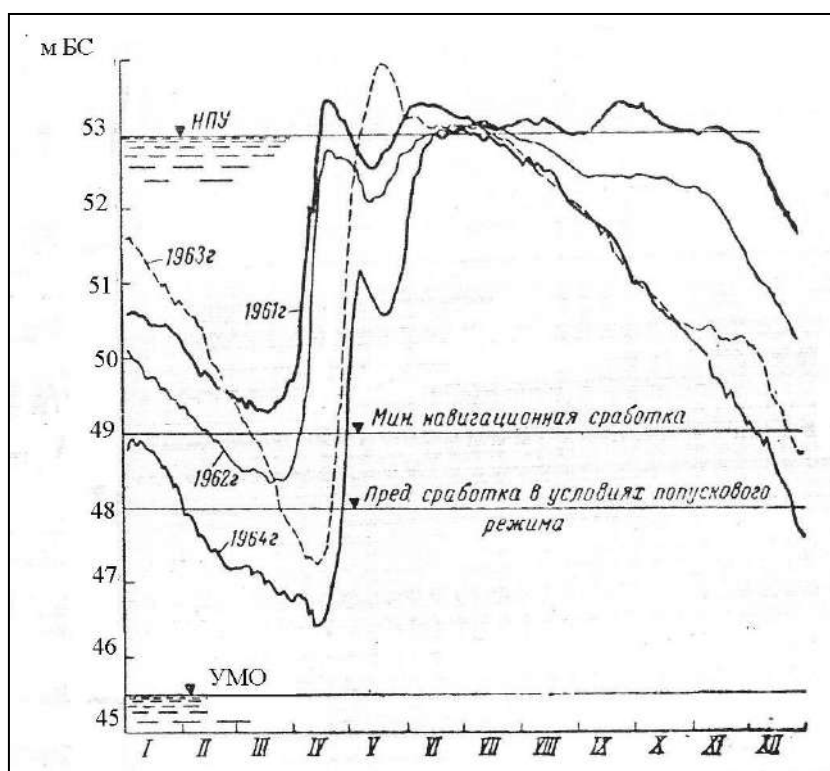


Рис. 27.6. Графики уровней Куйбышевского водохранилища за 1961 – 1964 гг. [534]

В январе 1963 г., вследствие сложившихся затруднений с энергоснабжением, Волжская ГЭС перешла на режим работы с расходами воды в нижний бьеф, превышавшими предельные величины, установленные правилами, при этом допускались резкие увеличения расходов. Такой режим привел к разрушению ледового покрова и заторным явлениям, что вызвало повышение уровней воды в р. Волге, частичное затопление поймы и дельты, образование новых протоков. В результате водой было отрезано значительное количество животноводческих ферм в Волгоградской и Астраханской

областях. Только по Енотаевскому району было затоплено 3,6 тыс. т сена, 2,5 тыс. м³ лесоматериалов, разрушено 27 дамб, 12 мостов, молоко и корма для скота пришлось перевозить вертолетами, из ряда мест, также вертолетами, скот был эвакуирован [534].

Случаи нарушения проектного режима эксплуатации водохранилищ Волжско-Камского каскада наблюдались до 2000-х гг. и позднее. Особенно характерны ситуации с форсировкой уровней сверх НПУ на 1–2 м в периоды весенних половодий при неполном открытии водопропускных сооружений, а также с ускоренной предполоводной сработкой остаточных полезных объемов водохранилищ [112]. Весной 2019 г. уровни воды в Куйбышевском и Саратовском водохранилищах, при проектной сработке от НПУ соответственно 7,5 м и 1,0 м, опустились почти на 3 м ниже обычных для этого времени года. По данным Института экологии Волжского бассейна РАН, в Татарстане, Ульяновской и Самарской областях на 80 – 90 % оголились мелководные нерестовые участки. Отменили рейсы прогулочных теплоходов из г. Казани и г. Ульяновска на о. Свяжск и в исторический комплекс г. Булгар. Водоохранилища наполнились только к середине лета [АН, 2019. – №37]. Причина? Кажется слишком много воды сбросили из водохранилищ к весне, переоценив размер предстоявшего половодья.

Приведенные случаи демонстрируют недопустимость нарушения в узковедомственных интересах установленных режимов водопользования водохранилищами [534]. В свете современного водного законодательства [118] тенденция непроектной эксплуатации водохранилищ должна быть преодолена.

ГЛАВА 28. ПОДДЕРЖАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

28.1. Экологический мониторинг водохранилищ

По определению автора известного курса общей экологии Ю. Одума **экология** – это междисциплинарная область знаний, наука о структуре и функционировании природных систем, в которых существуют живые организмы, в том числе, человек [448].

Под **экологическим состоянием** окружающей среды сегодня понимается ее качество, благоприятность условий для проживания людей, их хозяйственной деятельности и функционирования экосистем. Экологическое состояние территориальных и аквальных систем формируется в результате действия комплекса факторов, как природных, так и техногенных, причем некоторые из них могут вызвать дестабилизацию природного комплекса вплоть до перехода его в новое качество, создавая существенно иную экологическую обстановку.

Экологический кризис – критическое состояние окружающей среды, угрожающее существованию человека, вызванное хищническим использованием основных природных ресурсов (воды, воздуха, почвы, растительного, животного мира) и загрязнением окружающей среды в условиях капиталистического хозяйства [603].

В 1987 г. ООН опубликовала аналитический доклад «Наше общее будущее», в котором показана невозможность ставить и решать крупные экологические проблемы вне их связи с проблемами социальными, политическими и экономическими. Со времен опубликования этого доклада в обиход вошел термин «**устойчивое развитие**» (sustainable development). Окончательное определение термина было дано в Хартии Земли, разработанной в соответствии с решением конференции ООН «Саммит Земли», г. Рио-де-Жанейро, 1992 г. Устойчивое развитие – это процесс изменений, в котором

эксплуатация природных ресурсов, направление инвестиций, ориентация научно-технического прогресса, развитие личности и институциональные перемены согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей и устремлений. Устойчивое развитие призвано гармонизировать экономические, экологические и социальные цели: преодоление бедности, развитие экономики стран мира таким образом, чтобы не нарушить права будущих поколений на чистую воду, энергию и другие природные ресурсы. Создание водохранилищ для энергетики и других целей – один из базовых элементов устойчивого развития [Вестник РусГидро, 2012. – № 2].

С 1999 г. по 2020 г. ежегодно на территории ВАО «Нижегородская ярмарка» под эгидой ЮНЕСКО проводился Международный научно-промышленный форум «Великие реки», одним из организаторов которого изначально являлся ННГАСУ [420]. Научный конгресс форума освещал проблемы устойчивого развития и экологического оздоровления бассейнов великих рек мира и региональных территорий [420; 721]. Молодые российские участники конгресса мечтали о создании в стране центров экологических исследований, которые занимались бы изучением и решением проблем экологии и способствовали «экологической грамотности населения» по примерам Израиля, Кореи, США, Саудовской Аравии, Турции и других стран. [381].

Термин «**мониторинг**» впервые использован в материалах Первой всемирной конференции ООН по охране окружающей среды, г. Стокгольм, 1972 г. Мониторинг был охарактеризован как система повторных наблюдений за одним или несколькими элементами окружающей среды в пространстве и во времени в соответствии с определенными целями и заранее подготовленной программой.

Monitor (лат.) – надзирающий. В Россию термин пришел в последние десятилетия вместе с другими чужеродными словами. Если русское высшее общество в XIX в. щеголяло французским языком – языком Великой французской революции, то ныне в России, как и во всем мире, насаждается английский язык, являющийся языком американской демократии. Учить английский (точнее Globish – его упрощенную версию, используемую людьми из разных стран) стало общим местом. Считается, будто бы иностранные языки очень нужны среднестатистическому жителю России – для интеграции в большой мир. На самом деле никто не мешает толковому студенту улететь поучиться в Бостон, но не факт, что простой россиянин в обычной жизни встретится с носителями этих языков, разве что, если понадобится,

сможет перевести вывески магазинов в российских городах. Кстати, французы уже предлагают перестать общаться на английском языке за пределами заседаний органов управления ЕС, считая, что слишком сильно за последние 100 лет англо-американская культура проникла на европейский континент [АН, 2019. – №41]. Впрочем, нам мало дела до всего этого, а термин «мониторинг» прижился в России [169; 438] и государственный мониторинг водных объектов включен в систему управления водными ресурсами страны как функция Агентства водных ресурсов Минприроды РФ (см. раздел 27.1).

В порядке мониторинга российских водохранилищ сегодня систематически наблюдается качество воды в них у водозаборов [406]. Наблюдения за аквальные и территориальными (береговыми) экосистемами ведутся эпизодически и мониторинговыми их назвать нельзя. Очевидно, что для сохранения экологического здоровья водохранилищ одного мониторинга недостаточно. Экологические системы водохранилищ надо охранять. Охраняемые экосистемы водохранилищ предполагают, как минимум, соблюдение норм очистки сточных вод от загрязнений, проведение агротехнических мероприятий по уменьшению склоновой эрозии, выносу удобрений с полей, содержание в чистоте стокообразующих территорий, в том числе территорий населенных пунктов.

Результаты мониторинга зачастую представляются в форме, в которой они не имеют смысла для неспециалистов. Возможно, это делается из опасений, что возникает необходимость отвечать на реакцию со стороны общества. В итоге мониторинг водных объектов не получает социальной значимости [109].

Философский вопрос: если нефтяная компания финансирует симфонический оркестр или интеллектуальный телефильм, следует ли закрывать глаза на то, что она загрязняет окружающую среду? [549] – см. раздел 3.2 [485]. Но вот пример позитивный: в 2020 г. «Роснефть» продолжила работы по созданию уникального микробного препарата для утилизации нефтяных загрязнений в условиях водной среды и холодного климата; предполагается, что к концу 2023 г. завершится разработка промышленной технологии по получению такого препарата [АН, 2020. – №47].

Поскольку нет отчетливой информации о качестве воды, много фейков о себе собрала р. Волга. «Зеленый Крест» заявлял, что «создание на Волге каскада искусственных озер уменьшило скорость течения и повысило бактериальное загрязнение воды более чем в 10000 раз». Британская

экологическая организация «Речные сети» удивляла: «В воде столько химикатов, что водохранилища больше не замерзают». Во Всемирном обзоре рек говорилось: «Река Волга превратилась в национальную сточную канаву...». Возглас «Волга гибнет» слышим довольно часто и от наших околоэкологов. Между тем, в бюллетене ЮНЕСКО обоснованно констатировала: «Несмотря на рост нагрузки, связанной с поступлением фосфора, качество воды в Волге и Каме почти на порядок выше, чем в двух основных реках Западной Европы – Дунае и Рейне». Река, которая в России относится к загрязненной, в Западной Европе считалась бы весьма здоровой [109].

Кстати, международная экологическая организация «Зеленый крест», распускающая слухи о бедственном состоянии р. Волги, создана в начале 1990-х гг. по инициативе и под председательством экс-президента СССР М.С. Горбачева при поддержке лидеров Германии, США, Франции, Японии и др. [420]

О реальном качестве воды в волжских водохранилищах в нашей книге имеется раздел 22.1, составленный по результатам исследований российских специалистов.

Российский народ (творец истории [603]) в летние выходные любит отдохнуть на берегах водохранилищ [1; 97; 597]. Употребив привычного финского пива «Синебрюхов», неспешно рассуждает как правильно жить, воспитывать детей, управлять государством (эти три вещи твердо знают все [558]), опустевшую посуду швыряет куда попало. Мусор в естественной среде разлагается долго: газета примерно 6 недель, огрызок яблока 7 – 8 недель, картонная коробка 2 – 3 месяца, фильтр в сигаретном окурке 5 лет, металлическая банка 100 – 120 лет, пластиковая бутылка 450 лет, стеклянная бутылка более 1000 лет. Для очистки берегов принято устраивать «экологические акции», в том числе с привлечением детей (рис. 28.1), прививая им навыки экологически правильного поведения. В 2019 г. в 6-й раз проводилась общероссийская акция, вписанная в национальный проект «Экология»: силами 900 тыс. волонтеров было очищено от мусора более 21000 км берегов [КП, 2019. – 27.11 – 4.12].

Велика водоохранная функция лесов по берегам водохранилищ (рис. 28.2). Она связана с их сглаживающим влиянием на внутригодовое распределение стока. Лес обеспечивает перевод части склонового стока в почвенный и грунтовый, что способствует очистке воды от загрязняющих веществ в ходе фильтрации. Снежный покров на лесных территориях формируется с большими запасами воды, чем на открытой местности, а глубина



Рис. 28.1. Экологическая акция «Берегай» ОАО ГидроОГК: школьники пос. Талакан на очистке от мусора мест отдыха на берегах Бурейского водохранилища. 2007 г. [656]

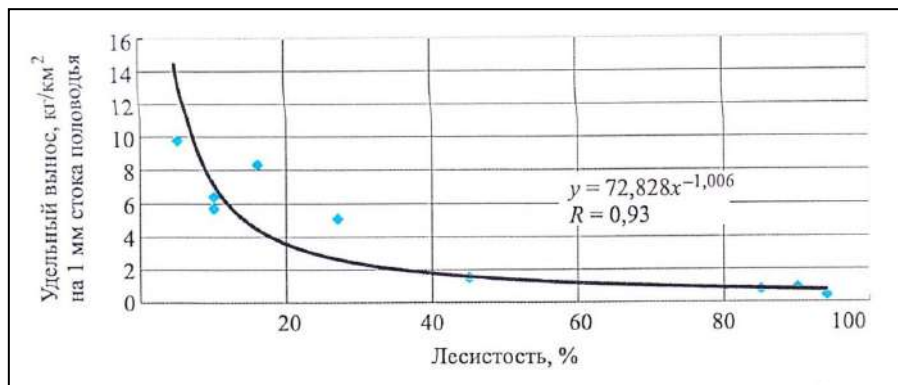


Рис. 28.2. Зависимость выноса нитратов стоком половодья от лесистости водосбора р. Камы по данным ФГУП РосНИИВХ



Рис. 28.3. Вид водоохранного знака, утвержденный приказом Минприроды России №249 от 13.08.2009 г.



Рис. 28.4. Белый амур



Рис. 28.5. Вселение штамма хлореллы в Цимлянское водохранилище, август 2006 г. [409]

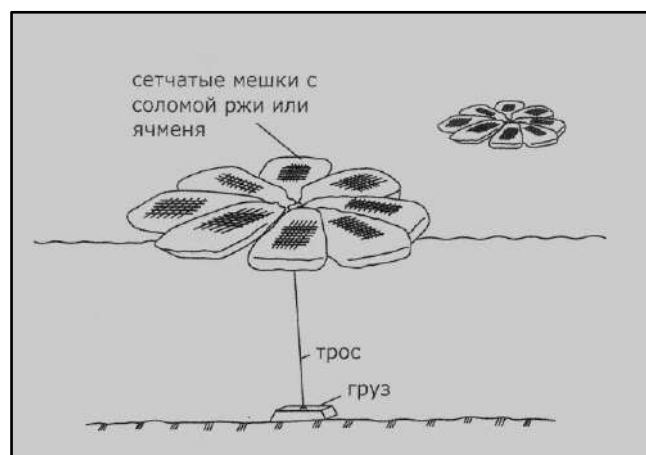


Рис. 28.6. Схема борьбы с сине-зелеными водорослями при помощи соломы [537]

промерзания грунтов под ним меньше. Сильно промерзшие почвы (безлесье) оттаивают медленнее, во время снеготаяния их водопроницаемость минимальна, что ведет к увеличению кратковременного пологоводного стока, влекущего продукты эрозии берегов [67].

Следуя Водному кодексу РФ [118], для поддержания водных объектов в состоянии, соответствующем экологическим требованиям, для сохранения среды обитания животного и растительного мира, по их берегам устанавливаются водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы, в пределах которых землепользование регулируется специальными правилами. Водоохранная зона – это территория, примыкающая к береговой линии водного объекта. Ширина ее составляет от 50 до 200 м в зависимости от протяженности, площади, хозяйственной значимости водотока или водоема. Прибрежная защитная полоса располагается внутри водоохранной зоны у воды. Ее ширина составляет от 30 до 50 м в зависимости от уклона берега. Границы зон и полос на местности обозначаются водоохранными знаками (рис. 28.3) [499]. Минимальная ширина водоохранных зон больших речных водохранилищ (например, волжских) равна 200 м. Это меньше, чем прежде (500 м), что не содействует выполнению принципа приоритета охраны водных объектов перед их использованием. Очень желательно, чтоб водоохранные зоны водохранилищ были заняты древесно-кустарниковой растительностью. А по берегам сибирских водохранилищ надо бы оставлять лесные зоны шириной не менее 3 км.

28.2. Борьба с зарастанием водохранилищ и цветением воды

Чрезмерного зарастания водохранилищ можно избежать не допуская их обогащения питательными веществами (азотом, фосфором, калием, кремнием и др.), поступающими извне. Осуществление этого – длительный и дорогостоящий процесс, непосильный для современной экономики России. В некоторых случаях оказывается целесообразным хотя бы проводить борьбу и активными способами противодействовать появлению симптомов эвтрофирования.

Типовые правила использования водохранилищ [637], с целью предупреждения зарастания акватории и цветения воды, предписывают следующие мероприятия: высадку тростника; заселение водохранилища гидрофи-

тами с обязательной уборкой (осенью) образующейся растительной массы; локальное изъятие иловых отложений; механическое изъятие избыточной массы водорослей; санитарную обработку зон сработки водохранилища. Некоторые из этих и другие известные мероприятия описаны ниже.

Механический способ удаления водорослей. Простейшая его реализация – использование обыкновенной бороны, которая протаскивается по дну водоема, вырывая при этом водоросли и выволакивания их на берег. Так поступают с мелкими и небольшими по плановым размерам водоемами. На более крупных для этой же цели применяют плавучие косилки, малогабаритные земснаряды со специальными устройствами для удаления растительности и т.п.

Биологическая мелиорация. В роли мелиораторов выступают дальневосточные рыбы белый амур и толстолобик, которые потребляют в пищу большое количество водной растительности и быстро растут. Белый амур (рис. 28.4) достигает длины 122 см и массы 32 кг, становится способным к икрометанию в возрасте 3 – 7 лет. Взрослый амур за сутки поедает примерно равное своей массе количество тростника, рогоза и др. Толстолобик вырастает до 100 см и 16 кг. В отличие от амура питается низшей водной растительностью. Пропуская через жабры воду, как бы фильтруя ее, удерживает и поедает содержащиеся в ней сине-зеленые водоросли.

В 1950-х гг. велись работы по акклиматизации растительноядных рыб в Европейской части страны. Молодь амура и толстолобика выпускалась в дельты рек Волги и Кубани, Куйбышевское, Волгоградское, Цимлянское и другие водохранилища. Оказалось, что рыбы хорошо переносят зимовку и дают в водоемах средней полосы за один сезон значительный прирост: амур до 500 – 800 г, толстолобик до 300 – 500 г. В прудовых хозяйствах годовой прирост амура достигал 2 кг, а толстолобика 1,5 кг.

Проводился, в частности, опыт на ГРЭС № 3 Мосэнерго. В один из четырех сильно заросших прудов-охладителей площадью 8,5 га была выпущена молодь амура и толстолобика средним весом около 1 г. Посадку рыб производили из расчета 2 экземпляра на 1 м² площади пруда. Спустя 3 года вся растительность в пруду, где на 1 м² приходилось в среднем 2 кг зеленой массы, оказалась съеденной рыбами. Расчеты показали, что на первом году жизни одной особью амура было потреблено 1,6 кг, на втором 3,0 кг растительной массы. Штучный прирост рыб в первый год составил 0,8 кг, на второй год 1,5 кг. После уничтожения водной растительности в одном пруду, рыбы были перемещены в другие пруды.

На водосбросном канале одного из рыбхозов Краснодарского края был установлен сетчатый садок, куда поместили несколько десятков толстолобиков. Вследствие сильного цветения сбрасываемая из пруда вода имела зеленый тон. Выпущенные в садок рыбы быстро освоились и стали интенсивно поедать содержащиеся в воде водоросли. Проходя через своеобразный биологический фильтр, вода становилась заметно светлее даже на глаз.

Разведение растительноядных рыб позволяет одновременно решать две задачи: очищать водоемы от зарослей и заодно пополнять пищевые ресурсы [534]. Но следует учитывать, что переполнение водоема травоядными видами рыб может привести к полному уничтожению в нем водных растений макрофитов, следствием чего может стать значительный рост популяции одноклеточных водорослей, в том числе синезеленых [537].

Метод альголизации. На некоторых водохранилищах проводились опытные работы по уничтожению синезеленых водорослей методом альголизации с использованием специально выведенного штамма планктонной зеленой микроводоросли хлореллы (*Chlorella vulgaris*).

В Пензенское водохранилище на р. Сура (105 км²) на протяжении 2002 – 2007 гг. ежегодно вливали суспензию хлореллы в объеме 100 л. Хлорелла развивалась, отбирала питательную базу у синезеленых водорослей и те переставали размножаться. Чтобы убрать из водохранилища зеленую хлореллу оно зарыблялось белым толстолобиком, пестрым толстолобиком, белым амуром. Эти рыбы не могли размножаться в условиях данного водоема, поэтому в него ежегодно выпускалось 2,5 т молоди массой 250 – 300 г. В результате с 2007 г. водохранилище как бы не цветет.

В 2006 – 2009 гг. подобные работы проводились на Цимлянском водохранилище. В нем ежегодно летом отмечалось обильное цветение воды, при котором биомасса синезеленых достигала 80 – 100 г/м³, а в прибрежных мелководьях и заливах еще больше. Экспериментом было охвачено 16 заливов, общий объем вселения алголизата составил 34 890 л (рис. 28.5). В табл. 28.1 представлены данные о цветении водохранилища синезелеными водорослями июле–октябре 2006 – 2009 гг. За трехлетний период к 2008 г. впервые было отмечено снижение концентрации синезеленых водорослей, т.о. положительные результаты вселения хлореллы проявились довольно четко. Для эвтрофных водоемов ориентировочным может быть объем алголизата 0,1 л/га. Т. о. для Цимлянского водохранилища площадью 2 702 км² нужен его ежегодный объем 27020 л [409].

Сколько затем нужно еще молоди толстолобиков и амуров в публикации не

сказано.

Таблица 28.1

Биомасса возбудителей цветения воды в Цимлянском водохранилище за 2006 – 2009 гг. [398]

Годы	2006	2007	2008	2009
Максимальная биомасса по станциям наблюдения, пределы величин, мг/л (г/м^3)	10,4 – 3736,0	1,2 – 815,0	0,1 – 86,9	0 – 942,0
Биомасса средневзвешенная для вод-ща, мг/л (г/м^3)	73,1	63,8	5,5	17,0
Сырая водорослевая масса в водохранилище, тыс. т	1 288	1 124	111	381

Использование соломы. Германскими учеными установлено, что добавка в воду рубленой соломы ячменя (а также ржи, пшеницы, стеблей и листьев кукурузы, льна) задерживает рост планктонных водорослей, включая синезеленые. Сдерживание роста происходит вследствие выделения подавляющих веществ в процессе минерализации соломы. Торможение развития водорослей достигается в том случае, если солома вносится в воду весной до начала их массового размножения. Дозировка соломы: при слабом цветении 100 кг на гектар площади водного зеркала; при интенсивном цветении 500 – 1 000 кг/га. Процедура размещения соломы в водоеме следующая: в достаточно рыхлом состоянии, не уплотняя, ее помещают в мешки из полимерной сетки и притапливают на глубину 1 – 3 м (рис. 28.6). Ближе к осени солому из водоема убирают. Описанное мероприятие дало хорошие результаты на малых водохранилищах в Германии и Англии: развитие синезеленых водорослей прекращалось, вода становилась более прозрачной [537].

В России урожай пшеницы в 2019 г. был рекордным – собрали 127 млн т (см. раздел 5.2). Солома есть. На водохранилище, по размерам схожее с Пензенским (10500 га), из расчета 100 кг/га ее потребуется 1050 т. Можно попробовать.

Подача кислорода в донные слои воды. Метод использован на некоторых эвтрофированных озерах и водохранилищах Европы и США. Такая принудительная аэрация активизирует окислительные процессы и препятствует высвобождению фосфора из озерного ила [537]. У нас на Воронежском водохранилище вода принудительно аэрируется с 1970-х гг. [719].

28.3. Очищение водохранилищ от затопленной древесной растительности

Вырубленная при подготовке ложа, но не вывезенная за его пределы



Рис. 28.7. Отпавшие деревья при размыве залесенных берегов Горьковского водохранилища. 2011 г.



Рис. 28.8. Скопление древесных остатков, образовавшееся при самоочищении Рыбинского водохранилища. 1960-е гг. [92]



Рис. 28.9. Древесина, свободно плавающая в одной из запаней Саяно-Шушенского водохранилища. 2008 г. [313]

а



б



в



Рис. 28.10. Скопления плавника в водохранилищах на р. Вилюе:
а – в одном из заливов Дуранинского (снимок ВНИМС, 1982 г.) и б – на
берегу Кусаганского (2011 г.) расширений Вилюйского водохранилища;
в – перед гидроузлом в водохранилище Светлинской ГЭС (2011 г.)

товарная древесина, часть затопленной на корню древесной растительности, корчи и порубочные остатки от лесосводки, сухостой, валежник, отпавшие деревья при размыве залесенных берегов в период эксплуатации (рис.28.7) поднимаются водой водохранилища на поверхность (всплывают). Плавающая древесина разносится ветровыми течениями по берегам и заливам. Так водохранилища самоочищаются от затопленной древесной растительности.

В Рыбинском водохранилище к началу его заполнения в 1941 г. лес и кустарник, оставленные на корню, занимали 1 500 км² площади. В результате самоочищения (рис. 28.8) затопленная древесная растительность к 1949 г. сохранялась только на 40 % этой площади (см. рис. 26.1), в 1961 г. занимала уже всего 130 км² [92], а еще через два десятилетия водохранилище полностью от нее очистилось.

В чаше водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС должно было быть вырублено и вывезено 0,9 млн м³ древесины, остальная часть (2,8 млн м³) затоплена. Объем валежника составлял 1,0 – 1,5 млн м³. Таким образом объем могущей всплыть древесной массы оценивался примерно в 4 млн м³. Учет плавающей в водохранилище древесины ведущийся с 1985 г., открыл следующую динамику: 1985 г. – от 300 до 400 тыс. м³; 1991 г. – 435 тыс. м³; 1995 г. – 714 тыс. м³; 2008 г. – 696 тыс. м³. В 2008 г. 614 тыс. м³ плавающей древесины было сконцентрировано в запанях, а объем древесины, свободно плавающей по акватории и разнесенной по берегам, составлял 82 тыс. м³. Качество плавающей древесины низкое, и особенно низкое той, что разнесена по берегам. Почти треть всех запасов приходилась на долю корчей. С 1984 г. по 1995 г. с акватории Саяно-Шушенского водохранилища было убрано 867 тыс. м³ древесины, однако ее запасы на плаву практически не уменьшаются [313] (рис. 28.9).

Схожая ситуация фиксируется на Братском, Усть-Илимском, двух Вилюйских (рис. 28.10), других сибирских водохранилищах. Наблюдения за изменением объемов плавающей древесной массы в Братском водохранилище показывали, что несмотря на ежегодное ее частичное освоение (табл. 28.2), к 1985 г. на акватории оставалось 2,6 млн м³ древесины. Ее объем пополняется за счет размыва залесенных берегов, выноса из впадающих в водохранилище рек, деятельности лесопромышленных предприятий, расположенных на берегах, транспорта леса плотами.

Проблема очистки рек и водохранилищ от плавающей, затопленной и разнесенной по берегам древесины в 1985 г. была установлена на правительственном уровне принятием соответствующей комплексной программы. Но

мероприятие оказалось убыточным и реализовать программу в условиях рыночной экономики не удалось [315].

Таблица 28.2

Объемы освоения плавающей древесины на Братском и Усть-Илимском водохранилищах до 1985 г. [315]

Годы	Собрано древесины по водохранилищам, тыс. м ³			
	Братское		Усть-Илимское	
	всего	нарастающий итог	всего	нарастающий итог
До 1976		2 638		73
1976	279	2 917	25	98
1977	192	3 109	32	130
1978	140	3 249	36	166
1979	154	3 403	76	242
1980	323	3 726	92	334
1981	220	3 946	100	434
1982	344	4 290	107	541
1983	456	4 746	90	631
1984	353	5 099	108	739
1985	394	5 493	109	848

Скопление плавающей древесной массы в запанях и заливах сверх допустимого объема может явиться причиной некоторого ухудшения качества воды. На основании экспериментальных работ считается, что при соотношении древесины и воды 1:250 в водоемах не создаются неблагоприятные условия для обитания и развития водных организмов. Такое объемное соотношение принималось при организации лесосплава. При этом соотношении количество экстрагируемых веществ в воде колеблется около 1,6 – 2,0 мг/л и нетоксично для рыб и планктона. Максимальное количество этих веществ от затопленной и плавающей древесины поступает в первые 2 – 4 года нахождения ее в воде, по прошествии же 15 – 20 лет оно снижается в 4 – 5 раз. Как показывают исследования, в общем балансе поступлений загрязняющих веществ в водохранилища загрязнение от плавающей древесины не существенно. Так, например, в Саяно-Шушенском водохранилище оно не превышает 3 % [315].

В Сибирском федеральном университете имеется методика прогнозирования поступления древесной массы при наполнении и эксплуатации водохранилищ Ангаро-Енисейского региона [312; 314; 315]. С помощью этой методики на основе инвентаризации ДКР, проведенной в 2007 г., делался прогноз для водохранилища Богучанской ГЭС на р. Ангаре (см. раздел 26.1). По прогнозу на акватории водохранилища через год после его заполнения

до НПУ могло плавать от 1,1 млн м³ до 1,3 млн м³ древесины [314]. Данных о фактическом объеме древесины, плавающей в Богучанском водохранилище, пока нет.

Очистка водохранилищ ГЭС от плавающей древесной массы не только повышает безопасность гидротехнических сооружений и улучшает экологическую обстановку на водохранилищах, но позволяет вовлечь в производство миллионы кубометров бесхозной древесины, таким образом сохранить от вырубки тысячи гектаров леса [314].

28.4. Защита водохранилищ от воздействия судоходства

Судоходство вносит свой вклад в загрязнение рек и водохранилищ, требующий нейтрализации. Иллюстрацию этому дает ситуация, сложившаяся в Волжском бассейне.

На водных путях Волжского бассейна по состоянию на 2005 г. эксплуатировались или находились на отстое более 5 тыс. судов, принадлежащих более чем тысяче судоходных компаний. Судоходство обслуживали 27 портов, имевших более 100 специализированных причалов, пристаней, дебаркадеров и других плавсредств. Строительство, ремонт и отстой судов осуществляли около 20 заводов и баз отстоя флота. Всего в судоходстве было занято более 1,5 тыс. водопользователей.

На транспортных судах и других плавсредствах за навигацию образуется примерно 3 млн м³ сточных вод, около 250 тыс. м³ нефтесодержащих вод, 24 тыс. т мусора и других отходов. В портах в водные объекты попадают загрязнения, связанные с переработкой грузов (рис. 28.11). Общее количество вредных веществ, не считая минерально-строительных материалов, составляет только по действующим нормам убыли порядка 100 тыс. т, а количество мыльевых сточных вод – около 10 млн м³. Сотни тысяч тонн различных грузов разгружаются портами в водоохраных зонах на необорудованные берега (см. рис. 9.3, 9,4, 9,6). На судостроительных, судоремонтных заводах, базах отстоя флота, наряду с загрязнениями, характерными для любых производственных предприятий (производственные, атмосферные, хозяйственные сточные воды, мусор, твердые отходы), в водные объекты и водоохраные зоны вносятся загрязнения за счет хранения выведенных из эксплуатации судов, списанного тяжелого оборудования и различных конструкций. По данным Волжской межрегиональной природоохранной прокуратуры в Волжском бассейне было брошено 2 300 судов, на конец 2010 г.

1491 судно утилизировано на металлолом, но 649 судов, почти все бесхозные, оставались брошенными (рис. 28.12). Общее количество крупногабаритных отходов в Волжском бассейне более 100 тыс. т.

С помощью специальных мероприятий должна осуществляться охрана водных объектов от воздействия судоходства.

Предотвращение загрязнения воды нефтесодержащими стоками и мусором с судов частично обеспечивается с помощью судовых устройств по очистке сточных вод, но в основном эти загрязнения передаются для очистки, утилизации на берег (рис. 28.13, 28.14). Количество береговых приемно-очистных станций к навигации 2005 г. в Волжском бассейне уменьшилось по сравнению с 1994 г. с 56 до 30, в связи с чем около половины сточных вод и треть мусора с судов сбрасывались без очистки в водные объекты. Во многих портах отсутствуют устройства для приема остатков сухих грузов и промывной воды после мойки трюмов сухогрузных судов, поэтому около четверти загрязненных промывных вод сливаются в акватории портов или в воду по пути следования судов, если мойка производится в балластных рейсах. Единичны в портах суда-сборщики мусора с поверхности воды (рис. 28.15). Списанные или выведенные из эксплуатации на длительный отстой суда находятся на акваториях портов, судоремонтных заводов и баз технического отстоя флота в большинстве случаев без всякой подготовки. Никаких мероприятий по инженерной защите водных объектов от этих отходов не выполняется, за исключением вяло текущего процесса утилизации.

Таким образом, инженерная защита Волжского бассейна от воздействия судоходства на должном уровне отсутствует [726].

Немногом отлична ситуация в бассейнах других рек [114], так что по всей России требуется модернизация инженерной защиты рек и водохранилищ от воздействия судоходства.

28.5. Ликвидация вредных производств на берегах водохранилищ

В текущем десятилетии появились примеры ликвидации вреда водохранилищам от опасных производств, размещенных в прежние годы на их берегах.

Много лет вред озеру-водохранилищу Байкал наносил Байкальский



Рис. 28.11. Портовая площадка для выгрузки сыпучих стройматериалов на Химкинском водохранилище канала имени Москвы. 2017 г.



Рис. 28.12. Брошенные суда на берегу Чебоксарского водохранилища, 2005 г., и в подпертом бьефе Андреевского гидроузла на р. Москве, 2017 г.



Рис. 28.13. Судно-сборщик сточных вод, причаливающее к пассажирскому теплоходу в порту г. Самары на Саратовском водохранилище



Рис. 28.14. База приема судовых сточных вод на левом берегу р. Волги ниже г. Волгограда



Рис. 28.15. Судно-мусоросборщик: предназначено для сбора с акваторий плавающего мусора, загрузки его в контейнеры и сдачи на специализированные суда или береговым службам

целлюлозно-бумажный комбинат в г. Байкальске (см. рис. 2.7), пущенный в 1966 г., перешедший при капитализме в частную собственность. Открытый водооборот на ЦБК обеспечивал в озеро 240 тыс. т промышленных стоков ежегодно. Тяжелые фракции образовали в байкальской воде пятно площадью 32 км². Нормы диоксинов вокруг ЦБК были превышены в 40 – 50 раз. К 2013 г. Правительство РФ постановило закрыть ЦБК. В накопителях на берегу осталось 6,5 млн м³ отходов IV класса опасности, в цехах – остатки опасных химических веществ. Очистка территории должна была быть выполнена до конца 2021 г. [АН, 2019. – №30].

С 1936 г. в г. Усолье-Сибирское Иркутской области существовал комбинат «Усольехимпром». Основные химические производства, снабжавшие весь Советский Союз карбидом кальция, хлором и его производными, сырьем для которых являлось месторождение каменной соли, были запущены в период с 1956 по 2000 г. Сброс сточных вод осуществлялся в р. Ангару, но очистные сооружения с их объемом не справлялись, поэтому отходы производства затаривались в глубинные скважины, образовавшиеся при добыче соли. Предприятие пережило перестройку и обанкротилось в 2017 г. К 2020 г. территория «Усольехимпрома» площадью более 6 км² стала объектом экологического бедствия. Наибольшую угрозу представляли 17 аварийных цистерн с химическими веществами на промплощадке, скважины рассолопромысла, заполненные химотходами, подземная нефтяная линза из 14,5 тыс. т нефтезагрязненных грунтов в 10 м от р. Ангары, цех ртутного электролиза, в периметре которого зашкаливали показатели приборов, измеряющих содержание ртути. Мониторинговые данные Института геохимии Сибирское отделения РАН фиксируют ртутное загрязнение донных отложений, воды и рыб Братского водохранилища вплоть до его верхней части. По поручению Президента РФ одно из предприятий госкорпорации «Росатом» приступило к работам по обезвреживанию территории, подвергшейся химическому загрязнению. На площадке «Усольехимпрома» планируется построить экотехнопарк по переработке промышленных отходов [АН, 2021 – №26].

В рамках федерального проекта «Чистая страна», входящего в нацпроект «Экология», до 2024 г. в стране должны ликвидировать 88 подобных опасных объектов [АиФ, 2021. – №47], что скажется и на состоянии водохранилищ.

ГЛАВА 29. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОУЗЛОВ С ВОДОХРАНИЛИЩАМИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ФАЗЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

29.1. Статистика разрушения плотин

В мире известны примеры исключительно долголетней службы плотин: в Испании 10 плотинам каждой более 1 600 лет; в Китае на р. Хуанхэ плотина Шан Шуао, построенная еще до нашей эры, функционирует в наше время [373]. По данным зарубежной статистики из общего количества гидроузлов в мире около 33 % имеют плотины из бетона, 67 % – из грунтовых материалов. При этом из всего количества построенных бетонных плотин разрушилось примерно 3,5 %, грунтовых – 6,9 % [101].

Разрушение плотин определяется Международной комиссией по крупным плотинам (МККП) как разрушение или смещение части плотины или ее основания, в результате которого она теряет способность задерживать воду. Разрушение плотины приводит к изливу больших объемов воды из водохранилища, что создает серьезный риск для населения и сооружений, расположенных в нижнем бьефе.

Обзор информации о разрушении плотин в мире, опубликованный МККП в 2000 г., показал следующее:

– частота разрушения крупных (высотой более 15 м) плотин за последние десятилетия XX в. снизилась: наибольшая частота разрушений отмечена у плотин, построенных в 1910 – 1920 гг.; для плотин, построенных до 1950 г., этот показатель равен 2,2 %, после 1950 г. – менее 0,5 %;

– вероятность разрушения плотин зависит от их высоты: наиболее часто разрушались малые плотины;

– большая часть разрушений происходила в недавно построенных плотинах: около 70 % – в течение 10 лет после постройки и наиболее часто – в течение 1-го года эксплуатации;

– наиболее частыми причинами разрушения бетонных плотин являются эрозия и потеря прочности основанием (по 21 %);

– наиболее частой причиной разрушений грунтовых и каменных плотин являлся перелив воды через гребень (31 %), далее следовала внутренняя эрозия тела плотины (15 %) и ее основания (12 %);

– среди технических причин разрушений наиболее распространена недостаточная пропускная способность водопропускных устройств (22 %);

– после разрушения 36 % плотин не восстанавливались, 19 % строились снова по измененному проекту, 16 % восстанавливались по исходному проекту.

По США, в частности, из 80 тысяч малых и крупных плотин 9326 оценивались как представляющие «высокую опасность»: при их разрушении возможны человеческие жертвы и значительные экономические потери. Уровень финансирования обеспечения безопасности плотин являлся недостаточным. Известны случаи, когда вопросы безопасности имели более низкий приоритет по сравнению с поставкой воды или электричества [486].

Касательно наиболее частого разрушения грунтовых плотин переливом воды через гребень можно пояснить, что в целом для рек всего мира характерно преобладание паводочного режима, который создается за счет дождей и ливней, следовательно, время, место и величина самого паводка заранее неизвестны и к нему нельзя заблаговременно подготовиться [424].

Среднестатистические частоты разрушения грунтовых плотин высотой 15 м и более в зависимости от типа плотин составляют, 1/год: земляных – $1,2 \cdot 10^{-4}$; каменно-земляных – $1,9 \cdot 10^{-4}$; каменнонабросных – $2,0 \cdot 10^{-4}$. То же в зависимости от основных причин аварий, 1/год: обрушения откосов – $0,1 \cdot 10^{-4}$; фильтрации – $0,5 \cdot 10^{-4}$; перелива воды через гребень – $0,6 \cdot 10^{-4}$. На рис. 29.1 приведены характерные кривые обобщенного социального риска при прорыве плотин в сравнении с кривыми других техногенных, а также природных катастроф [101].

Негативными событиями проявлялся терроризм на гидроэлектростанциях, в том числе в нашей стране: в июле 2010 г. взрывом было выведено из строя оборудование Баксанской ГЭС в Кабардино-Балкарии, в сентябре того же года взорван трансформатор на Ирганайской ГЭС в Дагестане [342].

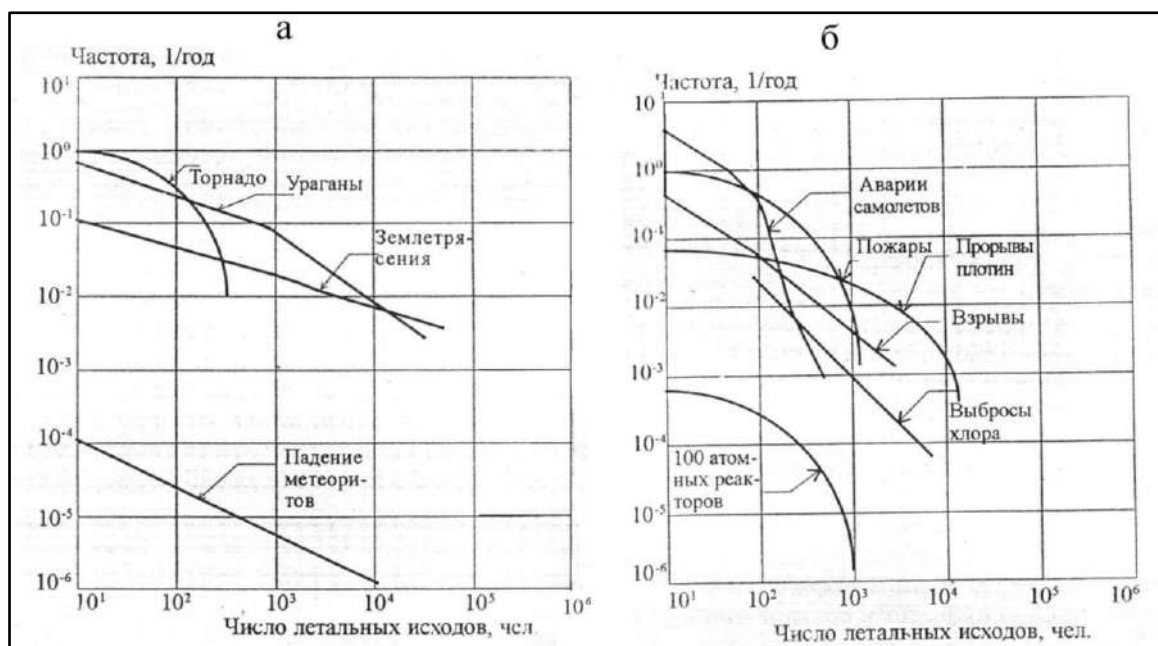


Рис. 29.1. Зависимость частоты и количества несчастных случаев, связанных с природными (а) и техногенными (б) катастрофами [101]

Существует некая опасность разрушения грунтовых плотин гидроузлов посредством террористических актов с образованием воронок взрыва на гребне. По оценкам за 2000 – 2006 гг. вероятность стать жертвой теракта для каждого жителя составляла: в Израиле – $1,1 \cdot 10^{-5}$ 1/год, в США – $4,8 \cdot 10^{-8}$ 1/год, в России от $1,91 \cdot 10^{-6}$ до $0,29 \cdot 10^{-8}$. А, например, вероятность прорыва напорного фронта Краснодарского гидроузла на р. Кубани в результате террористического акта на грунтовой плотине по тем же оценкам находится в пределах $1,33 \cdot 10^{-2}$ – $4,00 \cdot 10^{-2}$ 1/год. Она на два порядка больше вероятности аварии по природно-техногенным причинам [289]. Терроризм – это абсолютное зло. Похоже, что демократия, встречаясь с терроризмом и фанатиками, может победить только морально и посмертно [558]. Средствам массовой информации следовало бы воздерживаться от истерии: театр террора не имеет успеха без пиара. К сожалению, СМИ часто предоставляют террористам бесплатную рекламу – ведь такие репортажи продаются куда лучше, чем статьи о диабете или загрязнении воздуха [688].

Плотины гидроузлов, как и другие техногенные объекты, уязвимы для падающих крупных небесных тел (метеоритов) [34] и ядерных взрывов [527].

Отечественная школа гидротехники, по сравнению с западной и американской, отличается своей фундаментальностью. Строительная практика СССР не дала примеров крушения крупных речных гидроузлов, хотя

аварийные ситуации случались: например, с каменно-земляными плотинами Колымской (в 1988 г.) и Курейской (в 1992 г.) гидростанций [373; 677].

Крупные гидроузлы создавались в соответствии с нормативами (ГОСТами, СНиПами), предъявлявшими жесткие требования к пропускам максимальных расходов половодий и паводков и к надежности гидротехнических сооружений. В частности, для сооружений I (наивысшего) класса вероятность допускаемой гидродинамической аварии равна 0,01 % в год, т.е.

$1 \cdot 10^{-4}$ 1/год [610]. За период эксплуатации крупных гидроузлов нашей страны через многие из них пропускались расходы воды редкой повторяемости: на Волховском гидроузле в 1966 г. расход достигал 0,89 от значения, соответствующего вероятности превышения 0,1 %; на Саяно-Шушенской ГЭС в 2006 г. и Зейской ГЭС в 2007 г. имел место пропуск расходов вероятностью близкой к 1 %. Тяжелыми последствиями такие пропуски не сопровождались. Во всех гидроузлах Волжско-Камского каскада построены водосбросы (рис. 29.2) на расходы воды вероятностью превышения один раз в тысячелетие (табл. 29.1). Даже авария с выходом из строя одного–двух затворов водосбросов или турбин ГЭС не окажет заметного влияния на пропускную способность гидроузла [29]. Но дело успешного пропуска максимальных расходов через гидроузлы не только в высоком уровне развития отечественной гидротехники, а также и в особенностях водного режима российских рек. На большей части территории страны половодье на реках наблюдается в весенний период. К этому времени осуществляется предполоводная сработка водохранилищ, за счет чего создаются регулирующие емкости. Гидрологи заранее оценивают объем и максимум предстоящего половодья. Само половодье на крупных реках нарастает сравнительно плавно. Проводимыми мероприятиями обеспечивается его пропуск через гидроузлы [29; 424].

Подпорные грунтовые плотины гидроузлов Волжско-Камского каскада (рис. 29.3) также являются собой весьма надежные сооружения. Если обсуждать возможность теракта, например, появление автомобиля со взрывчаткой на гребне плотины, можно подчеркнуть, что на крупных гидроузлах каскада, разрушение которых наиболее опасно, гребни плотин шире возможной взрывной воронки (см. табл. 29.1) [29].

Но в настоящее время состояние сооружений многих гидроузлов не полностью удовлетворяет требованиям надежной эксплуатации. 38 ГЭС Российской Федерации, среди которых Волховская, Нижнесвирская, Нижнетуломская, Нива-2, Угличская, Рыбинская, Лесогорская в 2020 г. перешли

рубеж 60-летней работы. 20 ГЭС, в том числе Вилюйская, Усть-Хантайская, Саратовская, Майнская, Ириклинская, Миатлинская, Гергебильская, имеют ограничения пропускной способности сооружений.

Таблица 29.1

**Параметры подпорных и водосбросных сооружений гидроузлов
Волжско-Камского каскада [29]**

Гидроузел	Водохранилище		Водосброс		Земляная плотина			
	НПУ, м БС	полезный объем, м ³	пропускная способность, тыс. м ³ /с	число отверстий	Отметка, м БС		запас по высоте, м	ширина гребня плотины, м
					ФПУ	гребень		
Иваньковский	124	0,8	7,4	8	124,3	127	2,7	20
Угличский	113	0,8	11,9	7	113,4	116	2,6	25
Рыбинский	102	16,7	8,5	8	104	107	3	25
Нижегородский	84	3,9	15,1	12	85,5	88,5	3	12
Чебоксарский	63	0	23,4	24	68	75	7	25
Камский	108,5	9,8	21,0	24	110,2	112,5	2,3	11
Воткинский	89	3,7	17,2	8	90	93,5	3,5	18
Нижекамский	62	0	13,4	19	68	73	5	28
Жигулевский	53	33,9	70,6	78	55,3	58,8	3,5	85
Саратовский	28	1,8	53	52	31,4	32,5	1,1	20
Волгоградский	15	8,2	63,1	71	16,3	20	3,7	70
Итого		79,6						

Запаздывание или отсутствие профилактических ремонтов, эксплуатация сооружений в непроектных режимах увеличивают риск повреждения или разрушения гидроузлов [372; 373].

Так, в июне 2002 г., когда по р. Кубани прошел дождевой паводок, вызвавший катастрофическое наводнение, случилась авария с Невинномысским гидроузлом, построенным в 1948 г. для обеспечения водозабора из подпертой реки в систему Невинномысского канала (рис. 29.4). Во время паводка было повреждено гидромеханическое и электротехническое оборудование гидроузла, в результате фактически утеряна возможность управления ситуацией. На пике паводка, превысившего расчетный расход водосброса 2 250 м³/с (0,1 %), произошел перелив, была прорвана земляная плотина и по левому берегу в обход бетонной плотины рекой промыто новое русло с расходом около 1 000 м³/с [632]. Проран потом был засыпан.



Рис. 29.2. Работающая водосливная плотина Жигулевского гидроузла при пропуске половодья 2011 г., на пике которого 4 мая среднесуточный расход воды составил $24702 \text{ м}^3/\text{с}$ [samara.psati.ru]



Рис. 29.3. Земляная плотина Нижегородского гидроузла

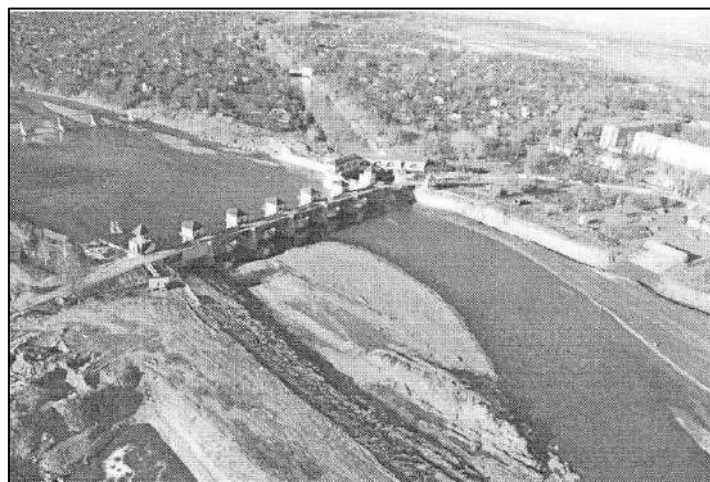


Рис.29.4. Невинномысский гидроузел на р. Кубани: вид со стороны верхнего бьефа; справа водозабор и Невинномысский канал. 2005 г. [461]



Рис. 29.5. Техногенное наводнение в нижнем бьефе Киселевского гидроузла на р. Какве, вызванное прорывом плотины (В. Суворин)



Рис. 29.6. Следы опасного повышения уровня воды в малом водохранилище почти до гребня плотины, оставшиеся на верхнем откосе

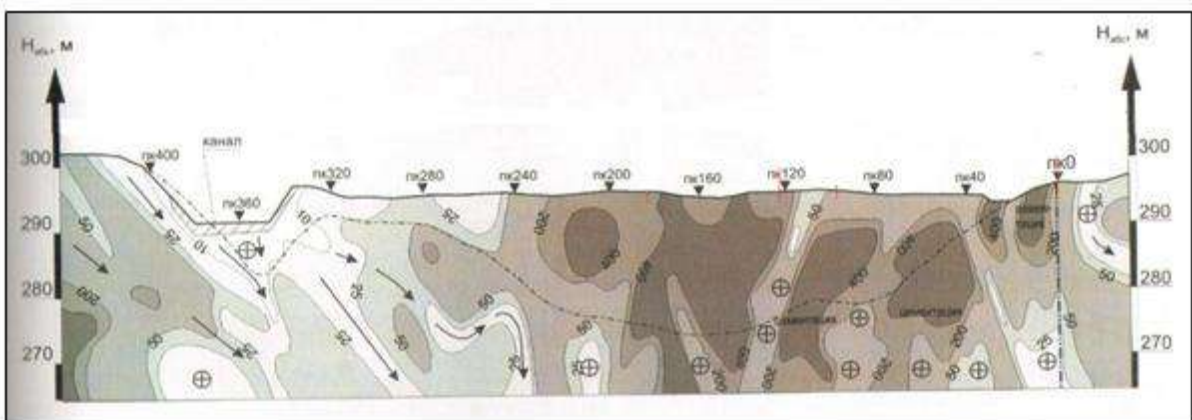


Рис. 29.7. Разрушившаяся водосбросная плотина гидроузла № 3 Тезянской шлюзованной системы на р. Тезе. 2009 г.

а



б



в



Рис. 29.8. Плотина Иреляхского гидроузла на р. Ирелях: а – вид с левого берега водохранилища, 2011 г.; б – геоэлектрический разрез 2003 г. вдоль оси плотины, стрелками и знаками + обозначены фильтрационные потоки параллельные и ортогональные оси плотины, штриховая линия – контур мерзлотной завесы; в – аварийная ситуация при выходе сосредоточенной фильтрации на низовой откос у подошвы плотины (С.И. Панов)

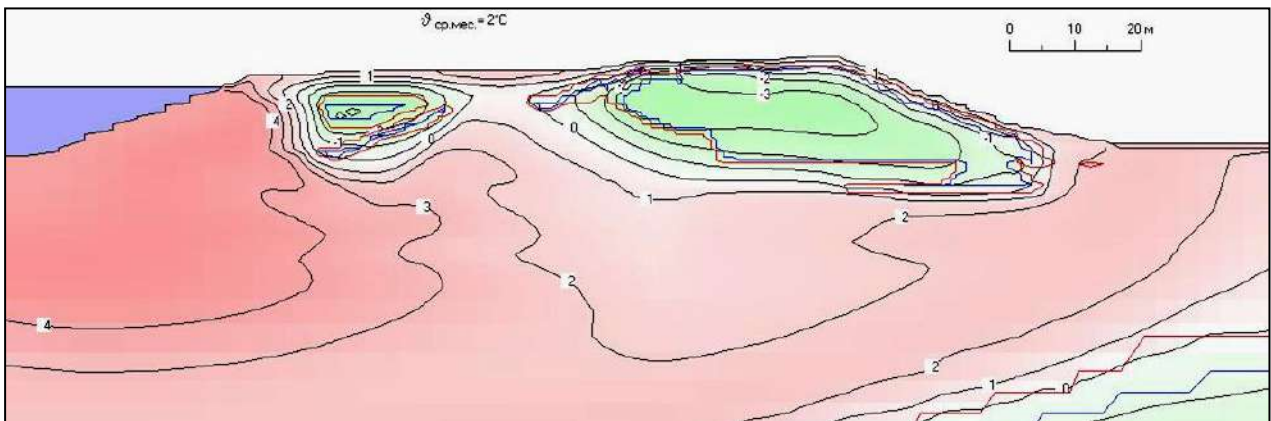


Рис. 29.9. Плотина Сытыканского гидроузла с мерзлотной завесой: виды на плотину (а) и на ее гребень (б) со стороны правого берега, 2011 г.; в – прогнозное температурное поле в поперечном сечении плотины на 2030 г. при работе существующих колонок СОУ, показаны изотермы в °С, плотина теряет проектное мерзлое состояние [207]

Число разрушений малых гидроузлов в России намного меньше, чем за ее рубежами, главным образом вследствие уже известной особенности водного режима российских рек. Тем не менее, аварии случаются. В конце прошлого века они произошли на гидроузлах водохозяйственного назначения в Башкортостане, Свердловской и Калужской областях, в Калмыкии, Волгоградской области [373].

Киселевский гидроузел на р. Какве в Свердловской области построен в 1977 г., длина земляной плотины 1920 м, высота до 18 м. 14 июня 1993 г. во время паводка в результате перелива воды через гребень прорвало плотину, волной излива были затоплены 1200 домов, разрушены железнодорожный и 5 автомобильных мостов, погибли 15 человек (рис. 29.5).

Основная причина разрушений малых гидроузлов – перелив воды через гребни грунтовых плотин – может быть вызвана недостаточной пропускной способностью или неисправностью водосбросов, прорывом выше расположенных плотин, другими обстоятельствами. Довольно частая причина аварий – ошибки эксплуатационного персонала. Распространенная ошибка – запаздывание с началом сработки водохранилища при наступлении паводочного периода. Если плотина и не оказывается прорванной (рис. 29.6), то приходится пропускать через гидроузел большие расходы воды, которые сами по себе вызывают затопления в нижнем бьефе. Бывают разрушения из-за некачественного проектирования и строительства [424]. В июне 2009 г. из-за просадки плиты флютбета разрушилась новая, построенная год тому назад из сборного железобетона, водосбросная плотина гидроузла № 3 Тезьянской шлюзованной системы в Ивановской области. Произошло аварийное опорожнение водохранилища (рис. 29.7).

В области вечной мерзлоты строили и строят небольшие гидроузлы для водоснабжения и мелиорации с грунтовыми плотинами талого и мерзлого типов. При этом, например, в условиях центральной Якутии 40 % средненапорных плотин подвержены авариям в первые 5 лет эксплуатации. Аварии и разрушения плотин происходят, в основном, из-за нарушений температурного режима [326; 699]. Так, у мерзлой плотины на р. Ирелях (см. рис. 24.29), введенной в эксплуатацию в 1964 г. для водоснабжения г. Мирного, породы основания оттаяли на глубину ниже мерзлотной завесы, в них появились очаги сосредоточенной фильтрации воды (рис. 29.8), что привело к необходимости реконструкции замораживающей системы с увеличением ее глубины на проблемных участках. Грунтовая плотина на р. Сытыкан у г. Удачного, также мерзлого типа, работает с 1976 г., замораживающая

система из колонок СОУ имеет глубину до 52 м. Основание постепенно оттаивает (рис. 29.9), плотина теряет проектное мерзлое состояние, без инженерных мероприятий по обеспечению ее безопасности уже не обойтись [207; 699].

Вероятность разрушения подпорных сооружений малых гидроузлов в Российской Федерации возросла в период перестройки экономики в связи с отсутствием у части объектов собственников, способных обеспечить надлежащую эксплуатацию [127; 372; 605].

29.2. Понятие ущерба

Как показывает мировая практика, от возникновения ущерба в процессе функционирования гидроэнергетических, водохозяйственных, водно-транспортных объектов, в том числе в результате возникновения инцидентов или аварий, никто не застрахован. Ситуация усугубляется физическим и моральным износом производственных фондов.

Экономистами Института проблем рынка РАН исследован и конкретизирован смысл понятия «ущерб» [646]. Изучение более 100 научно-методических и правовых документов, так или иначе затрагивающих термин «ущерб», позволило сделать вывод о неоднозначной трактовке понятий «ущерб», «вред», «убыток», причем смысловые несовпадения в различных источниках присутствуют как в содержательной трактовке каждого понятия в отдельности, так и между данными понятиями.

Термин «ущерб» имеет много синонимов: вред, потеря, убыток, урон, недостача, порча (имущества), ухудшение, повреждение, снижение, сокращение, пропажа, убыль, утрата, расходы, затраты, изъян, негатив (негативное изменение), обеднение, штраф, пеня, неустойка, кража, страдания, упущенная выгода, не(до)получение, загрязнение, истощение, искажение, повреждение, уничтожение, умаление, подрыв (репутации), антиполезность (бесполезность), антиэффективность (отрицательный эффект) и т.д. Конечно, не всегда по смыслу эти понятия полностью совпадают, но в большинстве случаев при употреблении того или иного синонима подразумевается категория ущерба.

Ущерб всегда измеряется в стоимостных единицах и является экономической величиной. Любой вид ущерба может быть оценен только

человеком и для человека, а также объединений людей – предприятий, организаций, или экономике, где главным звеном также выступает человек.

Ущерб какому-либо компоненту природной среды возникнуть не может, поэтому необходимо использовать неэкономические термины: вред, негативные изменения, потери. Ущерб возникает только для человека в результате вреда, нанесенного воде, воздуху и т.д. Поэтому корректнее говорить не «ущерб окружающей среде или природе», а «ущерб от загрязнения окружающей среды» или «ущерб в результате негативного воздействия на окружающую среду».

Экономический ущерб или ущерб экономике – это совокупность эффектов от негативного воздействия для экономики страны, выраженная в стоимостной форме. Ущерб экономике и субъекту экономики не всегда одинаков. Данное обстоятельство можно прояснить на примере возникновения ущерба в результате природного явления: пусть ураганом повреждена ЛЭП. Ущерб энергетикам будет складываться из стоимости восстановления ЛЭП и недополученной прибыли из-за потери выработанной электроэнергии, которая не была доставлена потребителю, а также (возможно) не выработанной за время аварии электроэнергии. Ущерб потребителю, например предприятию, заключается в разности стоимости произведенной в результате вынужденного простоя собственной продукции и платы за недополученную электроэнергию. Теперь обратимся к ущербу всей экономике страны в результате данной аварии. Реальный ущерб экономике будет складываться из недополученных доходов в виде уменьшения величины налоговых отчислений в бюджет в результате недовыработки продукции, снижения платы за энергопотребление и, в случае задействования государственных служб (спасения, скорой помощи), стоимости дополнительных расходов этих служб. Ущерб всей экономике не всегда равен сумме ущербов экономическим субъектам. Поэтому необходимо разграничивать по смысловому содержанию термины «ущерб» (с позиции субъекта экономики как участника экономических отношений) и «экономический ущерб» (ущерб для всей экономики в целом).

Таким образом, правила корректного употребления термина «ущерб» могут быть сформулированы следующими 5-ю пунктами.

1. Необходимо разграничивать понятия «ущерб», «убыток», «вред». Ущерб – это утрата или повреждение объекта, здоровья, а также дополнительные расходы по восстановлению имущественных или физических утрат в результате какого-либо инцидента, включая моральный ущерб. Понятие

«убыток» более широкое и включает, помимо понятия «ущерб», не(до)использованные блага, возможности, в том числе недополученные доходы или упущенную выгоду, а также при наличии лица, виновного в причинении вреда, – доходы, которые оно получило вследствие этого инцидента. Термин «вред» – более универсальный и содержательно может включать понятийный аппарат как ущерба, так и убытков.

2. Ущерб – категория экономическая. В отличие, например, от вреда, всегда имеет денежные единицы измерения.

3. Человек – единственный объект возникновения ущерба.

Применительно к другим объектам окружающей среды – например, различному оборудованию, природе – следует использовать термин «вред».

4. Необходимо различать термины «ущерб» и «экономический ущерб». Экономический ущерб или ущерб экономике – это совокупность эффектов от негативного воздействия для экономики страны, выраженная в стоимостной форме. Ущерб субъекту экономики – совокупность эффектов (последствий) от негативного воздействия, выраженных с позиции субъекта экономики как участника экономических отношений.

5. Говоря об ущербе от какого-либо негативного воздействия, корректнее употреблять выражение «экономический ущерб», но при этом дополнять: «от (в результате) какого-либо происшествия (инцидента)». Например, говоря об ущербе экономике от химического загрязнения, корректнее говорить не «экологический ущерб», а «экономический ущерб от (в результате) загрязнения окружающей среды».

Правильность употребления термина «ущерб» и его синонимов в той или иной жизненной ситуации помогает предотвратить возникновение казусов при методическом и практическом определении категории ущерба [646].

29.3. Предупреждение гидродинамических аварий

Речные гидроузлы с водохранилищами являются потенциальными источниками гидродинамических аварий.

Для целей Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [665] используется понятие «авария» в следующей трактовке: **авария** – опасное техногенное происшествие, создающее на объекте, определенной территории или акватории угрозу жизни и

здоровью людей и приводящее к разрушению или повреждению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного или транспортного процесса, нанесению ущерба в результате воздействия на окружающую среду. Под **гидродинамической аварией** понимается авария на напорном гидротехническом сооружении (плотине), обуславливающая распространение с большой скоростью воды и создающая угрозу возникновения техногенной чрезвычайной ситуации [101]. **Чрезвычайная ситуация** – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии гидротехнического сооружения, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или вред окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [610].

Гидродинамические аварии на речных гидроузлах различают двух типов: разрушение (повреждение) напорного фронта гидроузла с образованием прорана и развитием **волны прорыва**; образование волны вытеснения в результате обрушения в водохранилище большой массы грунта либо каких-то других экстраординарных событий. Последние – единичны.

На первых порах при разрушении плотины зарождающаяся волна носит прерывистый характер с обрушением фронта. Затем она принимает очертание более или менее правильной волны. В условиях, если ширина прорана примерно равна ширине реки в нижнем бьефе, скорость движения гребня волны находится в такой зависимости от напора на плотине (для средних и крупных рек):

напор, м	5	10	25	50
скорость, м/с	6	12	26	51.

Обычно земляные и каменно-земляные плотины если разрушаются, то не по всей длине. Чаще всего возникает проран шириной 0,20 – 0,25 от длины плотины. Ориентировочное значение удельного расхода воды на 1 пог. м ширины прорана в этом случае такое [424]:

напор, м	5	10	25	50
расход, м ² /с	11	31	125	252.

Волна прорыва при неблагоприятном стечении обстоятельств (высокие уровни в водохранилище, большие объемы воды и напоры, узкая речная долина, сочетание аварии с естественным паводком и др.) может обладать большой разрушительной силой. Скорость ее перемещения весьма велика и в близости к источнику осуществить эвакуационные и другие спасательные

мероприятия практически невозможно, так что **последствия гидродинамической аварии** могут оказаться катастрофическими [101].

Страшный пример дало разрушение земляной плотины энергетического гидроузла Байньцао на р. Жухэ в Китае. Высота плотины 24,5 м, длина 118 м, объем водохранилища 375 млн м³, год постройки 1952. Катастрофа случилась 7 августа 1975 г. Из-за переполнения водохранилища во время ливня произошел прорыв плотины с возникновением волны прорыва высотой 3 – 7 м и шириной 10 км. Ниже по течению снесло еще несколько плотин. Было разрушено 5960000 домов, погибло 26000 человек, пострадало 11 млн человек.

При прорыве плотины Пензенского водохранилища на р. Суре (глубина 16 м, объем 560 млн м³) в зоне затопления может очутиться 75 тыс. человек [371; 562].

В случае гидродинамической аварии на Нижегородском гидроузле затопление может охватить территорию в 2 800 км², где расположены около 190 населенных пунктов с населением примерно 550 тысяч человек [109].

В ОАО «Институт Гидропроект» расчетным путем оценены параметры волны прорыва при гипотетическом разрушении плотин Волгоградского и Саратовского водохранилищ (рис. 29.10). В зону затопления могут попасть важнейшие хозяйственные объекты – атомный энергокомбинат в низовьях р. Волги, нефтеперерабатывающие и химические предприятия, судостроительный завод, предприятия обрабатывающей промышленности, аэропорты, сухопутные средства транспорта и связи, газо- и нефтепроводы, будет нарушена работа водозаборов и ирригационных каналов, пострадают сельскохозяйственные земли Волго-Ахтубинской поймы [372].

Помилуй Бог Россию от таких аварий.

Под **безопасностью гидротехнических сооружений** понимается свойство гидротехнических сооружений, позволяющее обеспечивать защиту жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов [661].

Проблема обеспечения безопасности гидротехнических сооружений, как и других техногенных объектов, актуальна и насущна, и ее актуальность в дальнейшем будет только нарастать одновременно с ростом зависимости цивилизации от технических достижений.

В Российской Федерации безопасности гидротехнических сооружений уделяется значительное внимание, свидетельством чему являются, прежде всего, Федеральные законы «О безопасности гидротехнических сооруже-

ний», принятый в 1997 г. [661], и «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», вступивший в силу в 2010 г. [665]. Последствия возможных гидродинамических аварий учитываются при назначении класса гидротехнических сооружений (табл. 29.2).

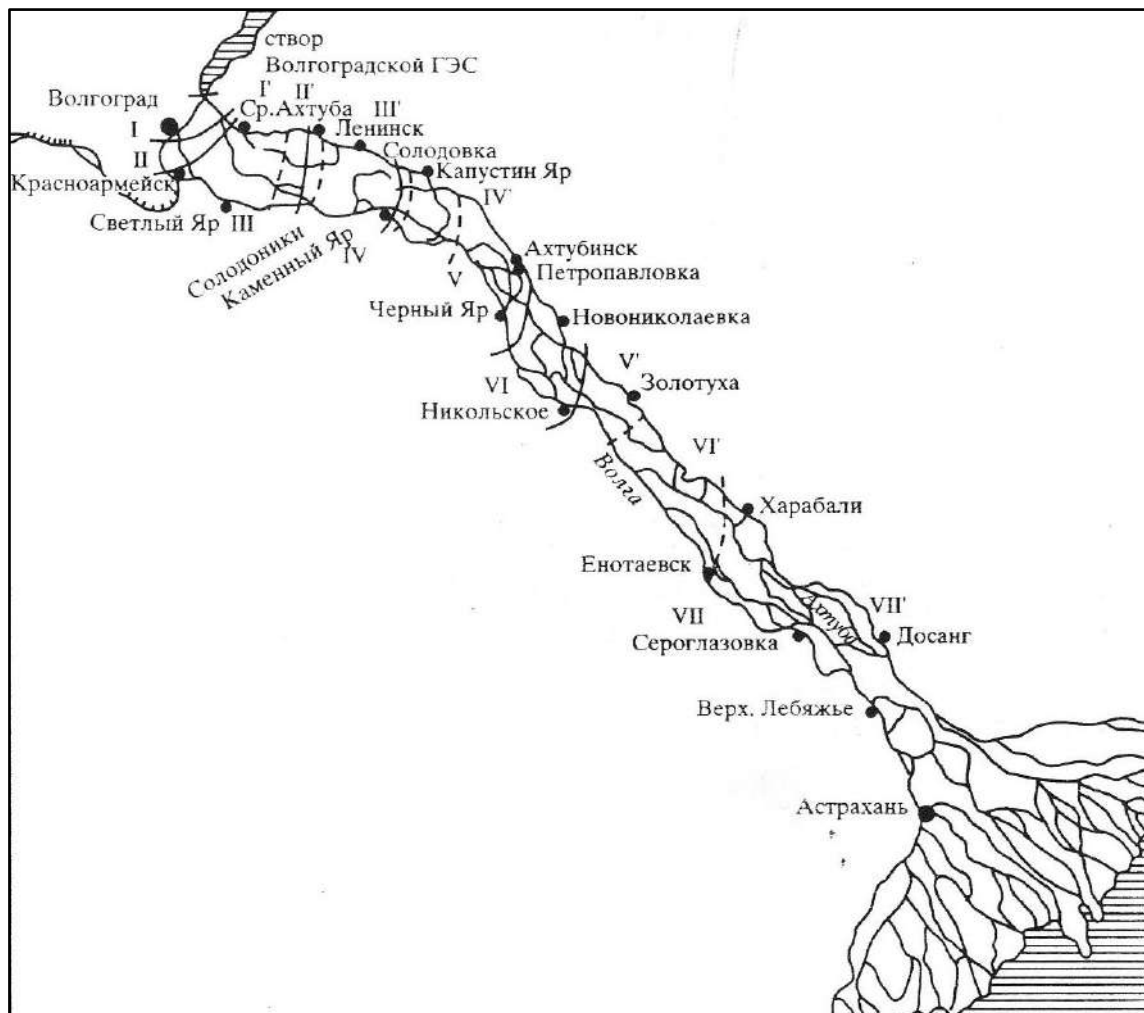


Рис. 29.10. Зоны различной степени опасности при гипотетическом разрушении плотин Волгоградской и Саратовской гидроэлектростанций: сплошные линии – границы зон при разрушении Волгоградского гидроузла (зоны I – VII); пунктирные линии – то же при разрушении Волгоградского и Саратовского гидроузлов (зоны I' – VII'); последствия в обоих случаях: I, I' – катастрофические; II, II' – близкие к катастрофическим; III, III' – значительные; IV, IV' – близкие к значительным; V, V' – ощутимые; VI, VI' – близкие к ощутимым; VII, VII' – незначительные [372]

Срок службы должен составлять для сооружений I и II классов не менее 100 лет, III и IV классов – не менее 50 лет.

С целью обеспечения безопасной эксплуатации, безопасности населения и территорий проводится стандартный **мониторинг гидротехнических сооружений** [169], который включает: контрольные наблюдения за

состоянием гидротехнических сооружений, их оснований и береговых примыканий; создание и ведение базы данных наблюдений; сопоставление измеренных показателей с их критериальными значениями; оперативную оценку состояния гидротехнических сооружений [170]. Раз в пять лет **безопасность гидротехнических объектов декларируется** [488; 596].

Таблица 29.2

Класс гидротехнических сооружений в зависимости от последствий возможных гидродинамических аварий [610]

Класс гидротехнических сооружений	Число людей, которые могут пострадать от аварии	Число людей, условия жизни которых могут быть нарушены при аварии	Территория Распространения чрезвычайной ситуации, возникшей в результате аварии
I	Более 3 000	Более 20 000	Два и более субъектов РФ
II	От 500 до 3 000	От 2 000 до 20 000	Один субъект РФ (два и более муниципальных образований)
III	До 500	До 2 000	Одно муниципальное образование
IV	–	–	Одно муниципальное образование

Существенную помощь в организации и проведении мониторинга обеспечивает использование современных информационно-диагностических систем. Такие системы, разработанные НИИЭС (рис. 29.11) и представляющие информацию в графическом виде (рис. 29.12), к 2010 г. были установлены на 52 энергетических и транспортных объектах Российской Федерации, в том числе на всех гидроузлах Волжско-Камского каскада, Волго-Донского судоходного канала, Красноярской, Зейской, других гидроэлектростанциях [62], многих объектах водоснабжения, и работа продолжается.

На основе данных мониторинга делается заключение о состоянии гидротехнических сооружений и об уровне их безопасности. Требования по обеспечению безопасности изложены в Федеральном законе [661]. К ним относятся: обеспечение допустимого уровня риска аварий; непрерывность эксплуатации; обеспечение необходимой квалификации обслуживающего персонала; проведение комплекса мероприятий по снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций и др.

Оценка безопасности гидротехнического сооружения проводится сравнением определенного (рассчитанного) риска с допустимым уровнем

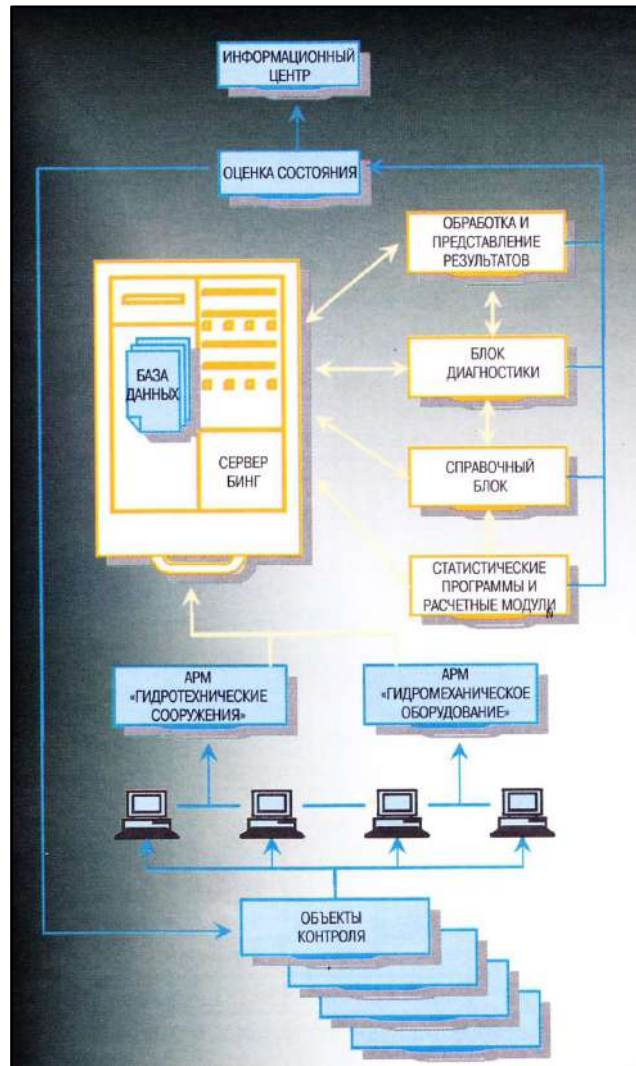


Рис. 29.11. Принципиальная схема информационно-диагностической системы контроля безопасности гидротехнических сооружений [62]

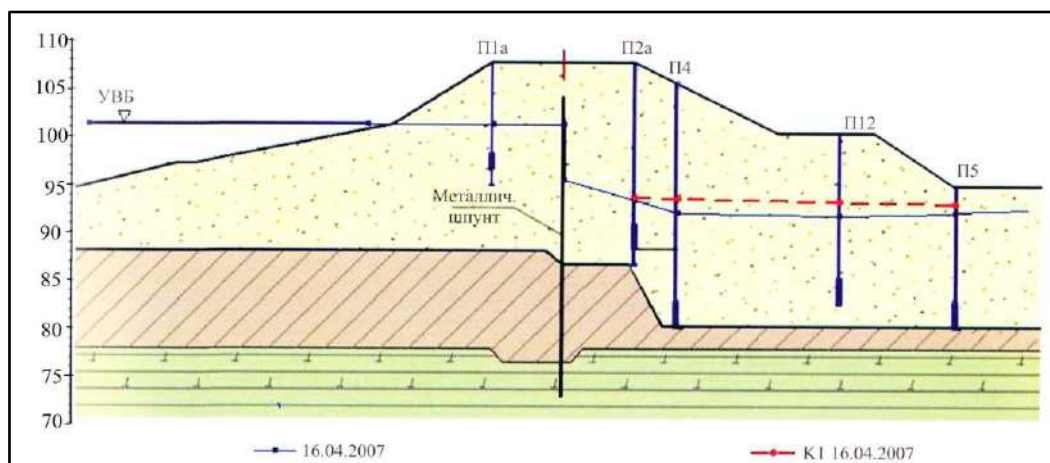


Рис. 29.12. Депрессионная кривая в плотине №14 Рыбинского гидроузла, отраженная информационно-диагностической системой по показаниям пьезометров 16.04.2007 г. [62]

риска аварии [170; 488], который для напорных гидротехнических сооружений I-III классов не должен превышать значений, приведенных в табл. 29.3 [610]. Например, расчетная вероятность аварии на Братской ГЭС по наиболее вероятному сценарию (обрушение участка правобережной земляной плотины) составляет $4,4 \cdot 10^{-5}$ 1/год, т.е. ниже допустимого значения вероятности возникновения аварии и на напорных гидросооружениях I класса $5 \cdot 10^{-5}$ 1/год [672]. Для сооружений IV класса обобщенный риск возникновения аварий рекомендован от $6 \cdot 10^{-3}$ 1/год [596].

Таблица 29.3

Допускаемые значения вероятностей возникновения аварий на напорных гидротехнических сооружениях [610]

Класс сооружения	Вероятность возникновения аварии
I	$5 \cdot 10^{-5}$
II	$5 \cdot 10^{-5}$
III	$3 \cdot 10^{-3}$

Правильная оценка состояния гидротехнических сооружений – это многоплановая экономическая задача, позволяющая ранжировать гидротехнические сооружения по степени опасности и в конечном счете решить вопрос об экономической эффективности инвестиций в реализацию превентивных мероприятий, исключающих ущерб от возможной аварийной ситуации или аварии, в том числе, связанной с прорывом напорного фронта [126]. Ключевым элементом обеспечения безопасности как крупных, так и малых эксплуатируемых гидроузлов является выделение финансирования для их профилактики, своевременного ремонта и реконструкции [486].

29.4. Моделирование волны прорыва

В целях обеспечения безопасности гидроузлов, населения и территорий в их нижних бьефах должно осуществляться прогнозирование возможных последствий гидродинамических аварий (волны прорыва) на водоподпорных гидротехнических сооружениях [610].

В гидротехнике известны **приближенные методы** таких прогнозов, основанные на аналитических зависимостях [274; 424; 504]. Современным представителем этих методов является выражение для определения

максимальной глубины затопления в нижнем бьефе низконапорного гидроузла при прорыве грунтовой плотины [273]:

$$h_{\max} = 2,5W^{-0,05} \cdot H_0^{0,98} \cdot n_0^{0,02} \cdot Q_0^{0,05} \cdot x^{-0,33},$$
 где h_{\max} – искомая глубина, м; W – объем водохранилища до начала аварии, м³; H_0 – глубина водохранилища у плотины до начала аварии, м; n_0 – шероховатость русла верхнего бьефа; Q_0 – расход воды в нижнем бьефе до начала аварии, м³/с; x – расстояние от створа плотины до створа наблюдения, м; величина раскрытия прорана не рассматривается, но считается, что она соответствует максимально возможному разрушению плотины. Указанное выражение применимо к гидроузлам с объемом водохранилища от 50 до 5 000 тыс. м³, глубиной воды в верхнем бьефе у плотины от 2 до 20 м, длиной водохранилища от 0,8 до 2 км; при отсутствии подпора в нижнем бьефе; при расстоянии створа наблюдений от 0,5 до 50 км от створа плотины. Оно дает среднюю относительную ошибку аппроксимации 12 %, позволяет с приемлемой для предварительных оценок точностью оперативно отразить зону затопления на топографической карте [273]. Для определения интенсивности расширения прорана в земляной плотине имеется зависимость, подтвержденная результатами экспериментов: $B = t \cdot K_p (h^{2,5} / \Omega)$, где $B(t)$ – ширина прорана, м, в момент времени t , с; Ω – площадь поперечного сечения плотины, м²; $h(t)$ – разность уровня воды в верхнем бьефе и отметки основания плотины; K_p – коэффициент интенсивности размыва, м^{0,5}/с, зависящий от материала тела плотины, для песчаных грунтов близок к 0,07 м^{0,5}/с [53; 504].

Между тем, детальное прогнозирование гидродинамической аварии – сложная многофакторная задача, решение которой базируется на **численном гидродинамическом моделировании**. На первом этапе рассчитывается динамика развития прорана в грунтовой плотине; на втором этапе проводится совместное численное моделирование течений в водохранилище и нижнем бьефе на основе решений одномерных (для систем русел) или двумерных (плановых) уравнений Сен-Венана. Оно позволяет исследовать реальные объекты со сложной батиметрией и очертаниями в плане, с учетом дорог, мостов, берегоукреплений и других сооружений в нижнем бьефе, получая в качестве выходных параметров глубины и скорости течения. При подготовке исходных данных и отображении результатов задействуются системы спутникового позиционирования (GPS), ГИС-технологии, космические снимки. Наибольшее развитие прикладное гидродинамическое моделирование получило в ОАО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» (НИИЭС) [54]. Здесь разработан комплекс программ «BOR» [56] и «Ущерб от паводков» [55]. Начиная с 2001 г. выполнялись

расчеты волн прорыва для многих гидроузлов, в том числе Красноярского, Новосибирского, Камского, Угличского, Рыбинского, Горьковского, Куйбышевского, Саратовского, Цимлянского, Краснодарского [54]. Программы собственной разработки имеются во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева («Волна прорыва»), МГУ («SV-1») [716], Институте гидродинамики СО РАН и Новосибирском ГАСУ [35], Нижегородском ГАСУ [561; 565]. Некоторые организации, например ОАО «Мособлгидропроект» [475], Пермский госуниверситет [355] пользуются зарубежными программными продуктами.

Покажем два примера из практики НИИЭС [53] и ННГАСУ [561].

Моделирование волны прорыва при разрушении плотины Краснодарского гидроузла на р. Кубани. Земляная плотина гидроузла высотой 21 м с шириной гребня 8 м на отметке 37,35 м БС и откосами заложением 1:3,5 подпирает водохранилище объемом 2,91 млрд м³ при НПУ – 33,65 м БС. В нижнем бьефе – насыпь с железнодорожным мостом пролетом 290 м. Уровень безопасности гидроузла классифицировался как «пониженный». Исходной при моделировании назначена в пойменной части плотины воронка размерами в плане 20 × 20 м и глубиной 5 м. Рис. 29.13 отражает динамику модельного развития прорана. В течение первого часа развитие прорана можно еще остановить, затем процесс делается необратимым (как выстрел из ружья).

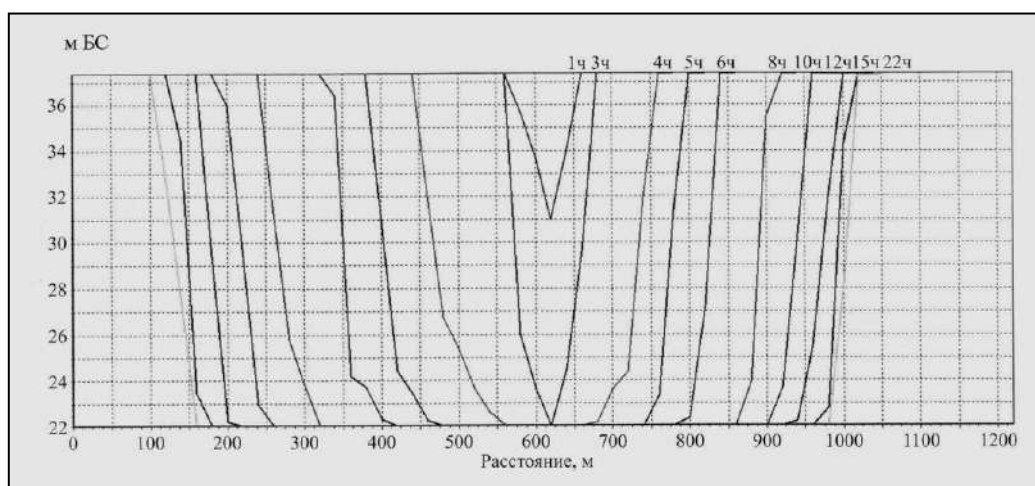


Рис. 29.13. Продольный разрез по створу модельного прорана в плотине Краснодарского гидроузла [53]

За 3 часа происходит врезка прорана до основания плотины, затем проран развивается только в ширину, за 16 часов достигая максимума – 940 м. При раскрытии прорана возникает волна прорыва с максимальным

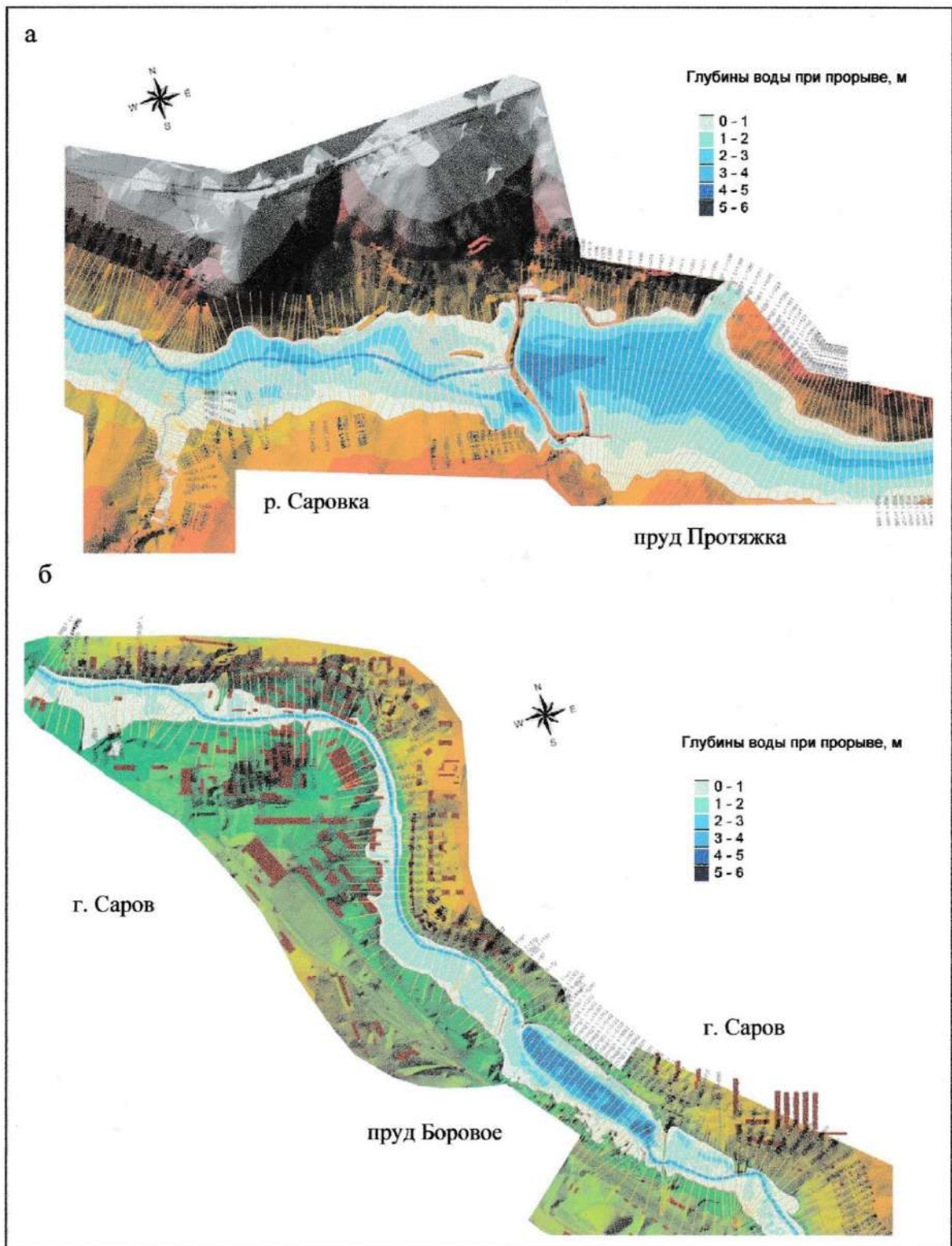


Рис. 29.14. Глубины максимального затопления долины р. Саровки при аварийном прорыве плотины гидроузла Протяжка: а – в нижнем бьефе гидроузла; б – в нижнем течении реки на участке г. Сарова [561]

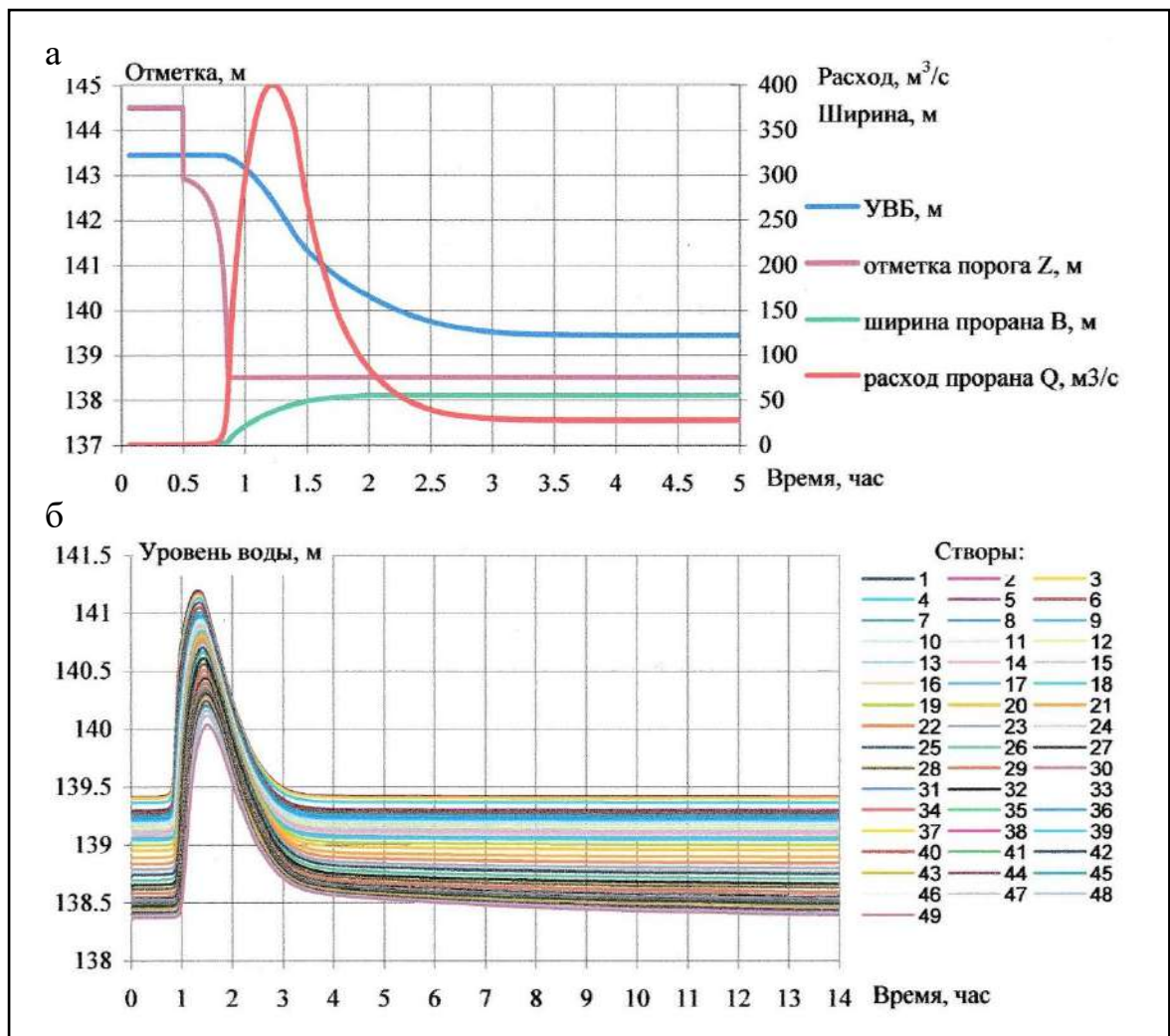


Рис. 29.15. Расчетные параметры гидродинамической аварии на гидроузле Протяжка: а – изменение параметров прорана в плотине; б – колебание уровня воды в створах нижнего бьефа на длине 1 км [561]



Рис. 29.16. Богатырь. Художник В.М. Васнецов. 1870-е гг.

расходом 23 500 м³/с, которая постепенно затапливает левобережную пойму и скатывается в русло. Перед железнодорожной насыпью через 9 часов возникает подпор, еще через 4 часа происходит перелив через нее в пониженной части и размыв насыпи на длине 1,5 км. Происходит затопление окраин г. Краснодара и левобережных поселков глубиной около 3 м (план затопления на книжную страницу не уместился). Результаты моделирования, выполнявшегося в ОАО «НИИЭС», использованы при планировании перспективной застройки г. Краснодара и обосновании проекта реконструкции Краснодарского гидроузла [53].

Модель аварии гидроузла Протяжка на р. Саровке в г. Сарове. Гидроузел Протяжка – верхний на р Саровке [589] (см. рис. 8.11). Высота земляной плотины 6,5 м, объем поддерживаемого пруда 670 тыс. м³. Ниже по течению реки на 3,617 км от створа гидроузла расположено водопропускное сооружение в насыпи железной дороги, на 8,918 км – гидроузел Боровое с прудом, на 9,715 км – автост, на 10,940 км – устье р. Саровки при впадении ее в р. Сатис (рис. 29.14). Смоделирован прорыв плотины в половодье 5 % обеспеченности: на рис. 29.14 приведен план зоны затопления, а на рис. 29.15 – расчетные параметры аварии. Зона затопления частично захватывает промышленные объекты и жилую застройку г. Сарова в районе устьевого участка реки [561]. Авария без прорыва напорного фронта случалась на гидроузле Протяжка в апреле 2001 г. Тогда, при переполнении пруда из-за наложившегося на половодье ливня, по пониженной части левого берега был промыт овраг, но разрушение плотины усилиями эксплуатационной службы удалось предотвратить. После этого гидроузел был реконструирован [589].

Достоверность гидродинамического моделирования зависит от адекватности исходных данных. При прогнозировании зон затопления используются топографические карты местности масштабов от 1:200000 до 1:25000, лоцманские карты русел судоходных рек масштаба 1:10000 [53]. Карты бывают старые, а сечение рельефа на них редкое. Верификация методов численного моделирования гидродинамических аварий проводилась на лабораторных опытах [53] и, в единичных случаях, на примерах аварийных ситуаций с малыми гидроузлами [561; 589]. Поэтому результаты моделирования надо всегда понимать как приблизительные.

К изложенному об обеспечении безопасности гидроузлов добавим, что въезды на крупные плотины охраняются [29] (рис. 29.16).

ГЛАВА 30. О СПУСКЕ ВОДОХРАНИЛИЩ

30.1. Примеры и последствия спуска водохранилищ

В конце 1980-х гг. известные ученые, правда далекие от гидротехники, а также представители либеральной интеллигенции и экологических организаций крайнего толка, предложили спустить водохранилища Волжско-Камского каскада, по крайней мере самые «вредные»: Рыбинское, Куйбышевское, Чебоксарское. Предложения были порождены сильно преувеличенными в их представлении негативными экологическими последствиями создания водохранилищ.

В ответ на эти предложения, подхваченные СМИ, вопрос рассматривался специализированными институтами и даже на правительственном уровне [29; 123]. Выяснилось, что исследованием проблемы спуска больших водохранилищ ни в одной стране всерьез никто не занимался. Имеются лишь немногие примеры спуска небольших водохранилищ, в основном по причинам, связанным со старением плотин.

В США к 2000 г. были демонтированы 28 плотин высотой более 15 м по причинам обеспечения безопасности, восстановления рыбных промыслов, финансовым и др. Одной из них стала плотина Гранжвилл с гидроэлектростанцией мощностью 10 МВт на р. Клируотер-Крик в штате Айдахо, построенная в 1903 г. и разобранная в 1963 г. Демонтаж был обусловлен чрезмерным заилением водохранилища и блокированием пути проходных рыб в связи с разрушением рыбопропускного сооружения в 1949 г. Река размывала и вынесла накопившиеся в водохранилище осадки в течение 6 месяцев без ощутимых воздействий на районы, расположенные ниже по течению. Восстановился путь миграции лосося и радужной форели по основному руслу, что позволило местному индейскому племени вернуться к рыбному промыслу, которого оно было лишено на протяжении многих лет [486].

В Германии на р. Линах у г. Форенбах в 1923 г. построена многоарочная арочная железобетонная плотина высотой 25 м, образовавшая водохранилище длиной около 1,5 км и шириной 120 м, обеспечившее работу

деривационной ГЭС мощностью 460 кВт. В 1970-е гг. из-за опасности разрушения плотины водохранилище было спущено. Его ложе покрылось мелколесьем (рис. 30.1). ГЭС работала на бытовом стоке реки. В начале 2000-х гг. в г. Форенбах образовалось акционерное общество, поставившее целью реконструировать плотину. Это удалось. В 2009 г. водохранилище вновь наполнили.

В СССР произошел единственный случай вывода из эксплуатации гидроэлектростанции заметных размеров. Ей стала деривационная Ульбинская ГЭС мощностью 27 МВт на р. Тихой в Казахстане, пущенная в 1937 г. В 1979 г. паводком была разрушена входящая в состав гидроузла ряжевая переливная Тишинская плотина, спущено Тишинское водохранилище объемом 6,7 млн м³, площадью зеркала 2,3 км², в 1985 г. вышел из строя деревянный турбинный водовод, станцию вывели из эксплуатации. В 2014 – 2018 гг. ГЭС восстановили [568].

В России случались опорожнения малых водохранилищ для удаления накопившихся донных отложений, вследствие аварий на гидроузлах, из-за недостатка воды и т.п. [426; 605; 606].

На рис. 30.2 можно видеть осушенное для очистки ложе малого водохранилища на р. Куве в Пермском крае [426].

На р. Железнице близ г. Выксы Нижегородской области с конца XVIII в. эксплуатировалось Досчатинское водохранилище площадью зеркала 4,5 км², объемом 7,5 млн м³. На гидроузле дважды случались аварии с прорывом напорного фронта – в 1881 г. и в 2001 г. Последняя привела к полному спуску водохранилища. Через четыре года после этого ложе водоема имело пустынный вид (см. рис. 15.9). В 2005 г. на гидроузле была выполнена реконструкция водосброса с целью повторного заполнения водохранилища. Но весной 2006 г. напорный фронт в районе нового водосброса был прорван. С тех пор водохранилище остается незаполненным.

На Верхне-Макаровском водохранилище, входящем в систему водоснабжения г. Екатеринбург, площадь длительно осушенной в маловодье 2010 г. части ложа составила 5,26 км² из 13,5 км² общей площади. Каких-либо техногенных отходов в донных отложениях водохранилища обнаружено не было. О состоянии ложа летом 2010 г. можно судить по рис. 30.3 [491].

В г. Урюпинске Волгоградской области из-за аномальной жары в 2010 г. пересох самый крупный городской водоем – оз. Лебяжье (Самодуровское) площадью 9 га. Погибла рыба. Разлагающиеся водоросли и высыхающий ил своим зловонием отравили воздух, доставив многие неудобства живущим



Рис. 30.1 Плотина и спущенное водохранилище на р. Линах в Германии, 2005 г.



Рис. 30.2. Водохранилище на р. Куве в г. Кудымкаре, осушенное для очистки от донных отложений. 2007 г. [426]



Рис. 30.3. Состояние частично осушенного ложа Верхне – Макаровского водохранилища в маловодное лето 2010 г. [491]



Рис. 30.4. Высохшее оз. Лебяжье в г. Урюпинске. 2010 г.

поблизости горожанам (рис. 30.4).

Когда донные отложения водохранилища обильно загрязнены, следует ожидать лавинообразного загрязнения сбрасываемой из него при опорожнении воды. Такое наблюдалось при спуске одного из малых водохранилищ на р. Исети в Свердловской области. Гидроузел построен в XIX в., в 1948 г. реконструирован. Объем водохранилища 1,25 млн м³, площадь – 0,81 км². Оно использовалось для водоснабжения промышленного узла, от него же принимало сточные воды, прошедшие частичную очистку. В донных отложениях толщиной более 1 м накопились до сравнительно высокого содержания органические вещества, металлы, нефтепродукты. Аварийное состояние сооружений гидроузла заставило принять решение об опорожнении водохранилища. Опорожнение провели в ноябре 2009 г. за 15 дней. При этом

в сбрасываемой воде были зафиксированы концентрации загрязнителей до следующих величин (в мг/л): аммония – 6,8; нефтепродуктов – 3,28; легко-окисляемых растворенных органических веществ – 132; суммы растворенных органических веществ (ХПК) – 430; ионов железа – 37; взвешенных веществ – 11 200; фосфора – 5,2. По существу, в нижнем бьефе проявились условия, весьма схожие с чрезвычайной ситуацией вследствие аварийного сброса загрязняющих веществ в реку [491].

По последствиям спуска Волжско-Камских водохранилищ оказалось возможным сформулировать лишь самые общие предварительные соображения.

1. Из Единой энергетической системы в европейской части страны будет изъято 11,7 млн кВт установленной мощности и свыше 36 млрд кВт.ч среднегодовой выработки электроэнергии. Система будет лишена частотного и аварийного резервов. Возмещение энергоотдачи потребует миллиардных капиталовложений в тепловые и атомные станции, добычу угля, нефти, газа, железнодорожный транспорт и т.д. Дополнительные годовые выбросы в атмосферу составят: 90 тыс. т золы, 80 тыс. т оксида азота, 130 тыс. т оксида серы и т.п.

2. По существу весь грузооборот Единой глубоководной системы придется переводить на железнодорожный и автомобильный транспорт, т.к. современные суда с глубокой осадкой надо будет изъять. Миллиардные суммы, вложенные в гидроузлы, портовые хозяйства, судоходные пути будут омертвлены. Не смогут осуществляться речным транспортом перевозки транзитных грузов между странами Азии и Западной Европы по волжскому международному коридору.

3. Потребуется полное переустройство водоснабжения и транспортного обеспечения десятков городов, тысяч сельских населенных пунктов и промышленных предприятий. Тысячи домов отдыха, санаториев, пансионатов нужно будет перебазировать и переустроить. Неисчислимое количество самых различных хозяйственных объектов, находящихся в нижних бьефах гидроузлов, окажутся в зонах затопления во время высоких половодий и паводков.

4. Реки Волга и Кама превратятся в сточные канавы, так как к сточным водам, попадающим сейчас в водохранилища, прибавятся загрязнения, покоящиеся на их дне. Переместившиеся с речным стоком в низовья Волги и Северный Каспий миллионы тонн загрязнений, покуда осевшие в водохранилищах, погубят там все живое.

5. Освобожденные от воды земли будут представлять собой весьма мозаичную картину песчаных и илистых площадей с вкрапленными в них отдельными участками плодородных почв. На значительных массивах проявятся затопленный лес, невыкорчеванные пни и т.п. Это будет пустынная территория без населенных пунктов, представляющая существенную угрозу для окружающих местностей в связи с пылевыносом. На освоение осушенных земель потребуются десятки лет и огромные капиталовложения.

Очевидно, что спуск водохранилищ Волжско-Камского каскада, всех или некоторых, а также снижение отметок НПУ, не только не решит никаких экологических и экономических проблем, но приведет к полному разрушению создававшихся многими десятилетиями хозяйственных систем, потребует колоссальных капиталовложений на переустройство всего и вся и тем самым резко ухудшит социальную, экологическую и экономическую ситуацию не только в регионе, но и в России в целом.

Остановить гидростроительство на реках не удавалось ни в одной стране мира. Поэтому надо думать не о спуске волжско-камских водохранилищ, а о том, как постепенно устранять недостатки каскада [6; 29; 123], что по мере необходимости и возможностей сейчас и делается.

Но временное полное или частичное опорожнение больших водохранилищ может понадобиться в далекой перспективе для капитального ремонта плотин или других подпорных сооружений гидроузлов в случае катастрофической угрозы жизни людей на берегах нижних бьефов. В проектируемых гидроузлах, отлично от построенных, это обстоятельство надо учитывать [343].

30.2. Аральская картина

Впечатляющая картина трагических последствий частичного осушения сложилась вокруг Аральского моря.

Аральское море – второй по величине после Каспийского моря бессточный водоем мира. До 1965 г. море колебалось в своих естественных границах: его уровень опускался не ниже 52,30 м БС в 1917 г. и поднимался не выше 54,10 м БС в 1934 г. Среднегодовой отметке его уровня 53,00 м БС соответствовала площадь зеркала 64 000 км² и объем воды 1 020 км³ при средней глубине 20 – 25 м и максимальной глубине 67 м в западной части. Море было пресноводным: минерализация воды не превышала 7 – 9 г/л. В нем водились промысловые виды рыб. Рыболовство являлось важной

отраслью экономики региона. Начиная с 1965 г., после безмерного развития хлопководства в среднеазиатских республиках бывшего СССР при превышении проектных норм водоотбора из рек Сырдарьи и Амударьи, когда сток этих рек в море был почти полностью прекращен, уровень моря стал понижаться с интенсивностью около 0,7 м/год. В 1980-х гг. уровень воды находился вблизи отметки 40 м БС, площадь моря сократилась до 40 000 км², объем уменьшился до 400 км³. Минерализация воды достигла 22 г/л и море потеряло рыбохозяйственное значение [647]. Дальнейшее привело к тому, что в 1990 г. северная часть Аральского моря, за счет выступившего естественного грунтового порога на его дне, отделилась от основной южной части и к 2000 г. уровень в ней понизился до отметки 36 м БС [325] (рис. 30.5).

В регионе сложилась катастрофическая ситуация. Причиненный ущерб экономике оценивается в 1,25 – 2,5 млрд долларов ежегодно. Осушенная территория представляет собой пустыню (рис. 30.6). Загрязняющие вещества, которые раньше поглощались морем, и соль, оставшаяся на обнажившемся дне, теперь развеваются в виде пыли, что вызвало проблемы со здоровьем местного населения [486].

Еще в 1980-х гг. было ясно, что для стабилизации уровня Аральского моря необходимо подавать непосредственно в него, а не в дельты впадающих рек, 30 км³ воды ежегодно. Такой объем воды вместе с естественными осадками на акваторию моря мог бы приостановить процесс его высыхания. А для восстановления уровня моря на отметке 53,00 м БС требуется подавать в него 80 км³/год воды в течение примерно 20 лет [647]. Но осуществить такое в современных условиях вряд ли возможно.

В 2000-е гг. предпринимаются усилия по смягчению негативных последствий высыхания Аральского моря, включая мероприятия Международного фонда спасения Арала, который объединяет государства, находящиеся на его водосборной площади, – Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан [486].

В период с 2001 г. по 2005 г. по линии водораздела между малым северным и большим южным бассейнами Аральского моря Казахстаном была построена Кокаральская грунтовая плотина длиной 18 км и максимальной высотой 8 м. Дополнительно произведены мероприятия по улучшению систем орошения из р. Сырдарьи, впадающей в северную часть моря. В результате река стала транспортировать к морю намного больше воды. Вследствие заполнения северной части моря водой из Сырдарьи, уровень в ней к



Рис. 30.5. Уменьшение размеров Аральского моря в период с 1960 по 2002 гг. [325]



Рис. 30.6. Обнаженное дно Аральского моря



Рис. 30.7. План водохранилищ Коккаральского и Сарышыганак в северной части Аральского моря по проекту института Казгипроводхоз: плотина САМ – существующая Коккаральская плотина; 1 – проектируемая плотина Сарышыганак; 2 – водопроводный канал от р. Сырдарьи в водохранилище Сарышыганак; 3 – судоходный канал к пристани г. Аральска; 4 – электроснабжение; 5 – водозабор из реки; 6 – сооружение Тущибас; 7 – сбросное сооружение; 8 – эксплуатационная дорога вдоль канала; 9 – дорога к г. Аральску; 10 – водовыпуск в плотине; 11 – судоходный шлюз; 12 – поселок службы эксплуатации; 13 – автодорожный мост; 14 – граница затопления при НПУ = 52 м БС [325]

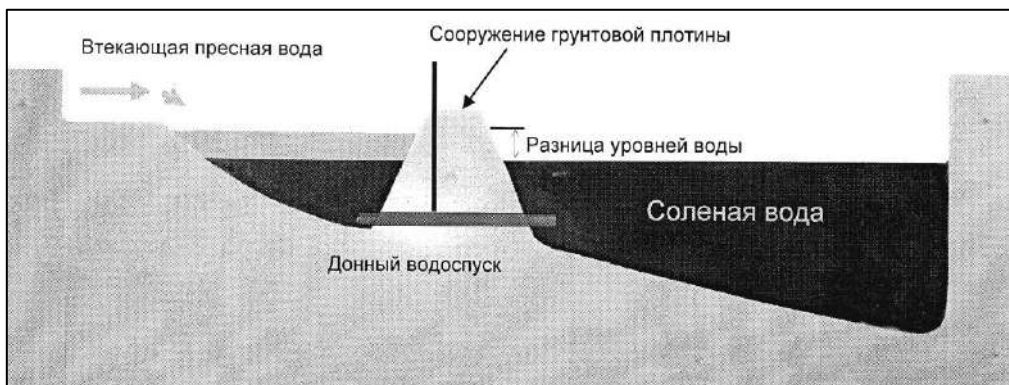


Рис. 30.8. Принцип опреснения соленого водоема [325]

2007 г. поднялся с отметки 36,00 до отметки 42,00 м БС. Произошло снижение концентрации солей в воде до 8,5 г/л.

Однако, достигнутое повышение уровня в северной части моря оказалось недостаточным, чтобы подвести воду до г. Аральска для восстановления здесь рыболовства, судоходства, улучшения экологических и социальных условий. По этой причине правительство Казахстана решило построить вторую подпорную грунтовую плотину – недалеко от селения Сарышиганак в самом узком месте северной части моря. Таким образом фактически будет образован каскад из водохранилищ Кокаральского с НПУ = 42 м и Сарышиганак с НПУ = 50 – 52 м. Для наполнения водохранилища Сарышиганак запроектирован подводящий канал от низовья р. Сырдарьи длиной около 80 км на расход 50 – 100 м³/с (рис. 30.7). Также в обеих плотинах германскими специалистами предлагается устроить донные водовыпуски для слива солевой воды из нижних слоев с целью опреснения водохранилищ (рис. 30.8) [325], превратив последние в сосуды жидкостями разных плотностей [438]. Проект пока не реализован.

Устройство искусственных бьефов в меньшей северной части Аральского моря не повлияет на процесс высыхания его большей южной части, который продолжается и будет продолжаться со всеми негативными экономическими, экологическими и социальными последствиями для региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*Природу побеждают, только
повинуясь ее законам.
Ф. Бэкон (1561 – 1626)*

Для глубокого освоения любой проблемы нужно много времени, а главное – возможность свободно распоряжаться этим временем [688]. Автор, стараясь поспевать за прогрессом, избегает держать в голове скачущие стандарты, курс доллара, цену за баррель, погоду на неделю, зимние распродажи, мессенджеры, фейсбук, банковские проценты, скидочные карты, кэшбек и справляться со всем этим в условиях пробок, форс-мажоров и зависающих компьютеров [558]. Поэтому, за пределами основной служебной нагрузки находил время для подготовки рукописи данного научно-технического издания. Если спросить: зачем ему это было нужно? – ни зачем не нужно, просто интересно. Наука не всегда бизнес, все-таки это больше творчество.

Авангардная научная мысль настаивает на необходимости «покорить космическое пространство» чтобы найти места, пригодные для жизни людей. Это стратегия на сотни и даже тысячи лет. Но будущее непредсказуемо, даже относительно близкое ни единым намеком нам не откроется [549; 690]. Сдается, что часть ученых нового времени переоценивает человеческие способности, уповая на якобы неограниченные возможности прогресса. Но обязательно есть те, кто утверждает, что деньги лучше потратить на решение земных проблем, чем вкладывать их, возможно, в бесплодные поиски новой планеты [690]. Автор – среди них. У него ординарный ум и недостаточно сильное воображение и, видимо поэтому, есть ощущение, что лучше бы к нам из космоса никто не прилетал и мы далеко не полетим, а людям уготовано жить на Земле. На самом деле надо бы Землю обустраивать, не нарушая равновесия в ее сферах.

Однако, мы нарушаем это равновесие самыми разными способами. Забираем из природной среды все больше и больше ресурсов, а возвращаем в нее мусор и токсины, меняющие состав почв, вод и атмосферы [688].

Например, имея в России огромное количество неиссякаемой и экологически чистой водной энергии, предпочитаем сжигать уголь и газ [725]. Давно очевидно, что без положительных сдвигов в деле охраны природы шансы будущих поколений на развитие в привычном мире весьма проблематичны.

Нет гарантий, что мы достаточно мудры, чтобы постичь устройство всепланетной замкнутой экосистемы или изменить свое поведение в соответствии с этим пониманием [549]. Уже вчера мы должны были бы приступить к реабилитации природной среды. В деле предотвращения деградации природы многое зависит от правительств, корпораций и даже отдельных людей. Типичный сознательный пролетарий не позволит себе бросить непогашенный окурок в лесу. Угроза исходит со стороны технологий. У коммунистов (прежде) и у капиталистов (теперь) возникает соблазн поставить на первое место сиюминутные интересы и убедить себя, что об экологии они позаботятся позже – или оставят эти заботы другим [688].

Считается, что России крайне необходима роботизированная цифровая экономика, поскольку это веление прогресса, мировой тренд.

Станки-роботы с ЧПУ пошли в мир с московской выставки «Станки – 72», потом мы отстали [АН, 2020. – №42]. Цифровой прорыв требует «чистой» электроэнергии. Такую можно получить лишь на гидроэлектростанциях. Стоит надеяться, что твердая поступь российских реформ приведет не только к газификации западной Европы и Китая, но когда-то, возможно, реализует и мечты российских гидроэнергетиков о гидроэлектрификации нашей страны.

В этой связи автор показал в книге роль и поведение водохранилищ России, помещенных в современную окружающую среду, заместив пробел в обобщающих публикациях последних десятилетий по этой проблеме. Причем, мнение автора не всегда совпадало с его точкой зрения.

В XVIII в., по некоторым сведениям, жил человек, который прочитал все книги, написанные к его времени. Сегодня индивидуальность мышления осталась мифом. Ни один человек не может считать себя специалистом более чем в одной узкой области знаний [690]. Людям больше свойственно мышление групповое. У ученых тоже нет иммунитета против группового мышления, так как мы не в состоянии все исследовать сами [688]. Книгу автор собрал на базе знаний о водохранилищах многих ученых и инженеров разных специальностей: в списке использованных источников более 700 наименований. Книга – о водохранилищах в России, поэтому использованные источники информации все российские. Иностранные специалисты о

наших водохранилищах почти не пишут (больше читают). Некоторую часть материала, в основном в виде новых решений рядовых, но сравнительно трудоемких задач гидроэнергетического и водохозяйственного строительства, составили результаты исследований автора вместе с коллегами по работе. Полагаем, что наши простые или намеренно упрощенные примеры позволяют подготовить заинтересованного читателя к серьезным исследованиям.

За этим мы оставляем тему взаимодействия водохранилищ с окружающей средой тем, кто захочет и сможет ее продолжить с сознанием, что трудности получения в дальнейшем новых результатов могут быть преодолены только с помощью натуральных наблюдений и математического моделирования процессов, сопутствующих водохранилищам в их жизненном цикле.

Ну а насколько нам удалось быть убедительными, осмысливая проблему и представляя водохранилища России в российской же окружающей их среде, и удалось ли вообще, – судить читателю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авакян А. Б., Бойченко В. К., Ланцова И. В., Салтанкин В. П., Яковлева В. Б. Рекреационное использование водохранилищ: проблемы и решения. – Москва: Наука, 1990. – 152 с.
2. Авакян А. Б. Взгляд на каскад из Института водных проблем РАН / Экология и жизнь, 2000. – № 1 – С. 48 – 51.
3. Авакян А. Б. Водохранилища в современном мире / Россия и современный мир, 1998. – Вып. 4(21). – 9 с.
4. Авакян А. Б. Вопросы создания и рационального использования водохранилищ / Воды суши: проблемы и решения. – Москва: ИВП РАН, 2004. – С. 414 – 435.
5. Авакян А. Б., Подольский С. А. Влияние водохранилищ на животный мир / Гидротехническое строительство, 2002. – № 6. – С. 36 – 40.
6. Авакян А. Б. Что делать с волжскими водохранилищами / Природа, 1992. – № 2. – 11 с.
7. Авакян А. Б., Шарапов В. А. Водохранилища гидроэлектростанций СССР. – Москва : Энергия, 1977. – 400 с.
8. Автомобильные дороги Севера / Под ред. И. А. Золотаря. – Москва : Транспорт, 1981. – 248 с.
9. Агеева Е. Ю., Кочетова Е. А. Анализ типовой городской жилой застройки и пути ее гуманизации / Приволжский научный журнал, 2019. – № 4. – С. 203 – 207.
10. АИС ГМВО [Электронный ресурс] : автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов; Северо-Кавказский филиал РосНИИВХ. – Режим доступа: <https://gmvo.skniivh.ru/>.
11. Аксенов В. И., Ничкова И. И., Никулин В. А., Пецура С. С., Линников О. Д. Замкнутые системы – основное направление развития водного хозяйства промышленных предприятий / Водное хозяйство России, 2011 – № 2. – С. 93 – 101.
12. Александровский А. Ю., Черненко Г. Ф., Литвин Н. К. Оптимизация управления режимами работы гидроэлектростанций на примере Ангаро-Енисейского каскада ГЭС / Гидротехническое строительство, 1989. – № 8. – С. 37 – 39.
13. Алексеев В. Р. В краю вечного холода: записки географа-мерзлововеда. – Новосибирск : ГЕО, 2010. – 393 с.
14. Алексеев В. Р. Криология Сибири. – Новосибирск: ГЕО, 2008. – 483 с.
15. Алексеев В. Р. Мы живем на вечной мерзлоте. – Якутск: Институт мерзлотоведения СО РАН, 2011. – 36 с.
16. Алексеев В. Р. Наледеведение: словарь–справочник. – Новосибирск: СО РАН, 2007. – 438 с.
17. Алибеков А. Б., Бобылев С. Н., Хазиахметов Т. Р. Подходы к оценке экосистемных услуг в гидроэнергетике / Гидротехническое строительство, 2017. – № 1. – С. 12 – 17.
18. Алиев Р. Изнанка белого. Арктика от викингов до папанинцев. – Москва: Паулсен, 2019. – 408 с.
19. Алмазов Б. А., Новиков В. Т., Манжолла А. П. Казаки / Серия «Иллюстрированная история отечества». – Санкт-Петербург: Золотой век; Диамант, 1999. – 88 с.

20. Анадырская ТЭЦ. Плотина на р. Казачке. План водохранилища. – Иркутск: Промэнергопроект, Иркутское отделение, 1964. – № 14569.
21. Анисимов А. Н., Бобылев В. Н., Лапшин А. А. Уровневая система высшего образования. Опыт реализации и проблемы развития. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2017. – 320 с.
22. Анисимов Н. И. Гидроэлектрические силовые установки. – Москва: Транспечать НКПС, 1939. – 528 с.
23. Арефьев Н. В., Беллендир Е. Н., Иванов Т. С. Оптимизация инженерной защиты земель с помощью дамб обвалования при создании водохранилищ / Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2011. – Т. 261. – С. 111 – 117.
24. Артамонов К. Ф., Гребенников П. С. Натурные исследования Орто-Токойского водохранилища / Заиление водохранилищ и борьба с ним. – Москва: Колос, 1970. – С. 186 – 192.
25. Арэ Ф. Э., Балобаев В. Т., Босиков Н. П. Особенности переработки берегов термокарстовых озер Центральной Якутии / Озера криолитозоны Сибири. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 39 – 53.
26. Арэ Ф. Э. Основы прогноза термоабразии берегов. – Новосибирск: Наука, 1985. – 176 с.
27. Арэ Ф. Э. Разрушение берегов арктических приморских низменностей. – Новосибирск: ГЕО, 2012. – 291 с.
28. Асарин А. Е., Бестужева К. Н. Резервы увеличения выработки электроэнергии на ГЭС Волжско-Камского каскада / Гидротехническое строительство, 2003. – № 7. – С. 2 – 7.
29. Асарин А. Е. Взгляд на каскад из Гидропроекта / Экология и жизнь, 2000. – № 1. – С. 51 – 54.
30. Асарин А. Е. Конференция «HUDRO–2009» / Гидротехническое строительство, 2010. – № 2. – С. 55 – 56.
31. Асарин А. Е. Наводнения на р. Лене: причины и пути смягчения / Безопасность энергетических сооружений. – Москва: НИИЭС, 2003. – Вып. 11. – С. 186 – 200.
32. Асарин А. Е., Полад-Заде П. А., Семенов А. Н. Водные ресурсы России и их использование / Гидротехническое строительство, 2007. – № 6. – С. 4 – 8.
33. Асарин А. Е., Ткачев К. В. Руслловые деформации в нижнем бьефе Волгоградского гидроузла и возможности их ограничения / Гидротехническое строительство, 2014. – № 12. – С. 54 – 58.
34. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра / Под ред. Б. М. Шустова, Л. В. Рыхловой. – Москва: Физматлит, 2010. – 384 с.
35. Атавин А. А., Букреев В. И., Васильев О. Ф., Дегтярев В. В., Яненко А. П. Гидродинамические аспекты нештатных и аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2009. – 327 с.
36. Бабешко В. А. О некоторых проблемах механики в сейсмологии / Актуальные проблемы механики: современная механика и развитие идей В. Г. Шухова: сборник трудов Института проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН. – Москва: Наука, 2011 – С. 52 – 80.
37. Бабинский З., Беркович К. М. О соотношении транспорта взвешенных и влекомых наносов / Семнадцатое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: доклады и сообщения. – Краснодар, 2002. – С. 65 – 68.
38. База данных HYDROLARE [Электронный ресурс]: ГГИ. – Режим доступа : <http://www.hydrolare.net/>.

39. Балагуров Б. Ф., Нисар-Мухамедова Г. Н. Прогнозирование ледотермического режима бьефов Адычанского гидроузла / Ледотермические проблемы в северном гидротехническом строительстве и вопросы продления навигации: материалы конференций и совещаний по гидротехнике. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1989. – С. 28 – 32.
40. Балобаев В. Т. Геотермия мерзлой зоны литосферы севера Азии. – Новосибирск: Наука, 1991. – 194 с.
41. Балонишникова Ж. А., Цыценко К. В., Крамарева Л. С. Использование водных ресурсов в бассейне озера Ханка / Водное хозяйство России, 2019. – № 3. – С. 38 – 70.
42. Баранов А. Е., Куприянов В. П., Онопченко Г. Ф. Противопаводковая эффективность Юмагузинского гидроузла / Безопасность энергетических сооружений. – Москва : НИИЭС, 2003. – Вып. 11. – С. 352 – 359.
43. Баринов А. Н., Гелашвили Д. Б., Красильников В. М., Соболев С. В. Об оценке фрактальных параметров водохранилищ Верхней Волги / Приволжский научный журнал, 2019. – № 1. – С. 89 – 98.
44. Басова В. В. Сравнительный анализ точности материалов дистанционного зондирования Земли / Труды научного конгресса 20-го международного научно-промышленного форума «Великие реки–2018». – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2018. – Т. 1. – С. 395 – 398.
45. Беднарук С. Е., Мотовилов Ю. Г. Технология информационной поддержки при управлении каскадами водохранилищ / Гидротехническое строительство, 2017. – № 7. – С. 22 – 35.
46. Бедрицкий А. И., Вильфанд Р. М., Киктев Д. Б., Ривин Г. С. Суперкомпьютерные технологии численного прогноза погоды в Росгидромете / Метеорология и гидрология, 2017. – № 7. – С. 10 – 23.
47. Бедрицкий А. И. Климатические ресурсы России / Проблемы гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей природной среды бассейнов великих рек сборник материалов конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки 1999–2004». – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2005. – С. 428 – 433.
48. Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Хандожко Л. А., Шаймарданов М. З. Гидрометеорологическая безопасность и устойчивое развитие России. – Москва: Гидрометцентр, 2009. – 12 с.
49. Бедрицкий А. И. Повышение гидрометеорологической безопасности в бассейне реки Волги / Проблемы гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей природной среды бассейнов великих рек: сборник материалов конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки 1999–2004». – Санкт-Петербург Гидрометеоиздат, 2005. – С. 72 – 80.
50. Бедрицкий А. И. Роль гидрометеорологической информации и данных о загрязнении природной среды в обеспечении устойчивого развития регионов бассейнов великих рек (на примере бассейна Волги) / Проблемы гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей природной среды бассейнов великих рек: сборник материалов конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки 1999–2004». – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2005. – С. 65 – 71.
51. Безносков В. Н., Демиденко Н. А., Кучкина М. А., Макаревич П. Р., Прищепин Б. Ф., Суздалева А. Л. Прогнозируемые экологические и социально-экологические последствия строительства Северной и Мезенской ПЭС / Гидротехническое строительство, 2009. – № 7. – С. 34 – 41.
52. Белевцов А. А. Оценка изменения максимальных расходов воды реки Амур под влиянием Зейского водохранилища / Водное хозяйство России, 2017. – № 6. – С. 74 – 85.

53. Беликов В. В., Васильева Е. С., Прудовский А. М. Численное моделирование волны прорыва плотины Краснодарского водохранилища / Гидротехническое строительство, 2010. – № 5. – С. 38 – 47.
54. Беликов В. В., Ковалев С. В. Численные исследования при решении гидравлических задач / Гидротехническое строительство, 2009. – № 8. – С. 61 – 67.
55. Беликов В. В., Милитеев А. Н., Кочетков В. В. Комплекс программ «Ущерб от паводков» для расчета зон затопления и ущербов от наводнений и паводков / Российское агентство по патентным и товарным знакам. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2003612595. – Москва, 2003.
56. Беликов В. В., Милитеев А. Н., Кочетков В. В. Комплекс программ для расчета волн прорыва «BOR» / Российское агентство по патентным и товарным знакам. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2001610638. – Москва, 2001.
57. Беломорско-Балтийский канал имени Сталина. История строительства / Под ред. М. Горького, Л. Авербаха, С. Фирина. – Москва: ОГИЗ, 1934. Факсимильное издание, 1988. – 494 с.
58. Беляков А. А. Проблемы реконструкции рек России в связи с организацией транспортных коридоров / Гидротехническое строительство, 2006. – № 4. – С. 38 – 44.
59. Белобородов А. В. Изменение морфометрических параметров крупных равнинных водохранилищ: причины и последствия (на примере Камского водохранилища) / Водное хозяйство России, 2019. – № 4. – С. 72 – 92.
60. Белов А. Н., Горохов Е. Н., Шапкин В. М. Прогноз температурного состояния гидротехнических сооружений гидроузла на ручье Уэся-Лиендокит (Республика Саха) / Приволжский научный журнал, 2010. – № 4. – С. 94 – 98.
61. Берг Е. В. Сведения о весенних половодьях на реках Волге и Оке в районе г. Горького в XVIII и XIX столетиях / Ученые записки ЛГУ, 1955. – Вып. 199. – С. 3 – 64.
62. Бердичевский Г. Ю., Щербина В. И., Галямина М. С., Поляк Л. Е. Информационно-диагностическая система – обязательный элемент контроля технического состояния гидротехнических сооружений / Гидротехническое строительство, 2009. – № 8. – С. 14 – 18.
63. Бердышев В. Д. Проблема борьбы с заилением водохранилищ / Заиление водохранилищ и борьба с ним. – Москва: Колос, 1970. – С. 310 – 317.
64. Березовская Н. Я. Анализ современного состояния водных ресурсов бассейна реки Дон и меры по их эффективному использованию / Труды конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки–2007». – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2007. – С. 136 – 137.
65. Бернштейн С. М. Ловля рыбы на водохранилищах. – Москва: Воениздат, 1967. – 160 с.
66. Бессонов О. А., Казьмина Л. Н., Молодкин П. Ф. Динамика переформирования берегов Цимлянского водохранилища / Водные ресурсы, 1994. – Т. 21. – № 2. – С. 218 – 224.
67. Бестужева А. С. Проблемы экологического здоровья водохранилищ / Вестник МГСУ, 2006. – № 2. – С. 70 – 77.
68. Бик И. ван, Лаукс П. Планирование и управление водохозяйственными системами. Введение в методы, модели и приложения / перевод с англ. под ред. М. В. Селиверстовой; Федеральное агентство водных ресурсов. – Москва: Юстицинформ, 2009. – 660 с.
69. Биологический энциклопедический словарь. – Москва: Советская энциклопедия, 1989. – 864 с.

70. Битюков В. П. В нижнем бьефе Новосибирской ГЭС на р. Обь / Гидротехническое строительство, 1989. – № 10. – С. 25 – 28.
71. Битюрин А. К., Прокопович В. С., Козлов А. П. / Под ред. С. В.Соболя Расчеты устойчивости грунтовых откосов на ЭВМ. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2000. – 50 с.
72. Битюрин А. К., Соболев С. В., Февралев А. В. Изменение температурного поля долин водотоков после создания водохранилищ в условиях криолитозоны / Колыма, 1993. – № 27. – С.15 – 19.
73. Бишофф Ю. Куда все это девать? / ГЕО, 2012. – № 10. – С. 107 – 121.
74. Биянов Г. Ф. Плотины на вечной мерзлоте. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 176 с.
75. Близняк Е. В. О проектировании и строительстве плотин в условиях вечной мерзлоты / Гидротехническое строительство, 1937. – № 9. – С. 14 – 16.
76. Богословский П. А. О строительстве земляных плотин в районах распространения многолетнемерзлых грунтов / Труды ГИСИ им. В. П. Чкалова. – Горький, 1958. – Вып. 29. – С. 3 – 94.
77. Болгов М. В., Шаталова К. Ю., Харламов М. А., Муравьев В. П., Соболев С. В., Соболев И. С., Февралев А. В., Сидоров Н. П., Красильников В. М., Хохлов Д. Н. Моделирование проточности Волго-Ахтубинской поймы в условиях изменения антропогенного воздействия / Гидротехническое строительство, 2017. – № 6. – С. 55 – 60.
78. Большеротов А. Л. Система оценки экологической безопасности строительства. – Москва : АСВ, 2010. – 216 с.
79. Большие плотины России / Председатель редакционной коллегии Р. М. Хазиахметов. – Москва : НП «Гидроэнергетика России», 2010. – 224 с.
80. Борзунов В. В., Мусаев А. Ш., Кадушкина Е. А. Оптимизация проектных решений и усовершенствования конструкций основных сооружений Нижне-Бурейской ГЭС / Гидротехническое строительство, 2017. – № 4. – С. 2 – 15.
81. Бортин Н. Н., Горчаков А. М. Трансформация стока реки Зeya водохранилищем Зейской ГЭС и ее влияние на водный режим нижнего бьефа / Водное хозяйство России, 2009. – №5. – С. 110 – 128.
82. Босиков Н. П. Современный термокарст на Лено-Амгинском междуречье / Инженерно-геологическое изучение термокарстовых процессов и методы управления ими при строительстве и эксплуатации сооружений : материалы IV научно-методического семинара. – Санкт-Петербург : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1998. – С. 8 – 12.
83. Брагарь Б. С. Трансформация статистических связей, используемых для планирования межнавигационных расходов в условиях посадки уровня в нижнем бьефе Камской ГЭС / Гидротехническое строительство, 2009. – № 2. – С. 47 – 51.
84. Брагинец О. Н., Иванов Л. В. Новые технические средства, способствующие улучшению ледовых условий на замерзающих акваториях / Исследование влияния сооружений гидроузлов на ледовый и термический режимы рек и окружающую среду : материалы конференций и совещаний по гидротехнике. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1991. – С. 109 – 114.
85. Брызгалов Г. Я. Северное оленеводство – производитель экологически чистых продуктов и сырья / Экология и безопасность жизнедеятельности : сборник материалов IV международной научно-практической конференции. – Пенза : ПГСХА, 2004. – С. 16 – 18.

86. Бубер Л. Л., Трошина М. В., Ивасенко С. П. Компьютерная модель управления половодным стоком в среднем течении р. Белой / Гидротехническое строительство, 2008. – № 2. – С. 60 – 64.
87. Бузин В. А., Киселев А. А. Условия формирования и количественные характеристики затора, сформировавшегося зимой 1988–89 гг. в нижнем бьефе Нижне-Камской ГЭС / Исследования влияния сооружений гидроузлов на ледовый и термический режимы рек и окружающую среду : материалы конференций и совещаний по гидротехнике. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1991. – С. 96 – 102.
88. Бурдин Е. А. Великий исход: начало. Подготовка территории Рыбинского и Угличского водохранилищ к затоплению (1936–1940 гг.) / История науки и техники, 2011. – № 2. – С. 44 – 59.
89. Бурдин Е. А. Волжский каскад ГЭС: триумф и трагедия России. – Москва : Российская политическая энциклопедия, 2011. – 398 с.
90. Бурлаков В. М. Районирование Вилюйского водохранилища. Типизация и классификация его берегов / Влияние ГЭС на окружающую среду : сборник научных трудов. – Якутск : ЯФ СО АН СССР, 1987. – С. 34 – 42.
91. Бурова В. Н. Абразионный риск на морях и водохранилищах России: сравнительная характеристика / Оценка и управление природными рисками : материалы общероссийской конференции «Риск–2000». – Москва : Анкил, 2000. – С. 261 – 264.
92. Буторин Н. В., Зиминова Н. А., Курдин В. П. Донные отложения верхневолжских водохранилищ. – Ленинград : Наука, 1975. – 158 с.
93. Бухарцев В. Н. О территориальном перераспределении водных ресурсов (новый взгляд на старую проблему) / Приволжский научный журнал, 2019. – № 4. – С. 167 – 172.
94. Быков Л. С. Опыт эксплуатации крепления откосов канала имени Москвы / Материалы конференции «Инженерные методы защиты земляных гидротехнических сооружений от разрушающего действия волн». – Киев : АСИА УССР, 1962. – С. 79 – 88.
95. Васильев А. А., Остроумов В. Е., Губин С. В., Сороковиков В. А. Моделирование и прогноз термоабразии морских берегов российской Арктики на ближайшие десятилетия / Криосфера Земли, 2007. – Т. XI. – № 2. – С. 60 – 67.
96. Васильев Ю. С. Влияние плотин и водохранилищ на окружающую среду / Проектирование и строительство больших плотин. – Москва : Энергоиздат, 1982. – Вып. 7. – 144 с.
97. Васильев Ю. С., Кукушкин В. А. Использование водоемов и рек в целях рекреации. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. – 230 с.
98. Васильев Ю. С., Хрисанов Н. И. Инженерная защита водохранилищ гидроэнергоузлов от затоплений и подтоплений / Гидротехническое строительство, 1987. – № 10. – С. 21 – 23.
99. Васильев Ю. С., Хрисанов Н. И. Экологические аспекты гидроэнергетики. – Ленинград : ЛГУ, 1984. – 248 с.
100. Векслер А. Б., Доненберг В. М. Влияние русловых переформирований в нижних бьефах гидроузлов на условия их эксплуатации / Макеевские чтения, 2008. – Москва : Географический факультет МГУ, 2009. – С. 38 – 47.
101. Векслер А. Б., Ивашинцов Д. А., Стефанишин Д. В. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. – Санкт-Петербург : ВНИИГ им Б. Е. Веденеева, 2002. – 592 с.
102. Великанов А. Л. Реалии великой реки / Экология и жизнь, 2000. – № 1. – С. 40 – 43.

103. Великин С. А., Соболев И. С., Соболев С. В., Хохлов Д. Н. Результаты инструментальных наблюдений и адаптивного прогноза термоабразии берегов Вилуйского водохранилища / Гидротехническое строительство, 2013. – № 6. – С. 2 – 8.
104. Великин С. А., Соболев И. С., Хохлов Д. Н. Экспедиционные исследования переформирования берегов Вилуйского водохранилища в криолитозоне / Приволжский научный журнал, 2012. – № 4. – С. 9 – 15.
105. Вендров С. Л. Проблемы преобразования речных систем. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1970. – 235 с.
106. Вендров С. Л., Дьяконов К. Н. Водоохранилища и окружающая природная среда. – Москва : Наука, 1976. – 136 с.
107. Венецианов Е. В. Разработка и апробация методов количественной оценки диффузного загрязнения водных объектов в бассейне Волги в рамках приоритетного проекта «Оздоровление Волги» / Труды научного конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки-2019». – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2019. – Т. 1. – С. 64 – 68.
108. Вечный двигатель. Волжско-Камский гидроэнергетический каскад: вчера, сегодня, завтра / Под общ. ред. Р. М. Хазиахметова. – Москва : Фонд «Юбилейная летопись», 2007. – 352 с.
109. Видение Волги. Междисциплинарная инициатива ЮНЕСКО по устойчивому развитию Волжско-Каспийского бассейна. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2004. – 144 с.
110. Вода или нефть? Создание единой водохозяйственной системы / Д. В. Козлов, И. П. Айдаров, Л. Д. Раткович, И. С. Румянцев и др. Под общ. ред. Д. В. Козлова. – Москва : МППА БИМПА, 2008. – 456 с.
111. Вода России. Вода в государственной стратегии безопасности / Под науч. ред. А. М. Черняева, РосНИИВХ. – Екатеринбург : АКВА-ПРЕСС, 2001. – 528 с.
112. Вода России. Водоохранилища / Под науч. ред. А. М. Черняева, РосНИИВХ. – Екатеринбург : АКВА-ПРЕСС, 2001. – 700 с.
113. Вода России. Малые реки / Под науч. ред. А. М. Черняева, РосНИИВХ. – Екатеринбург : АКВА-ПРЕСС, 2001. – 804 с.
114. Вода России. Речные бассейны / Под науч. ред. А. М. Черняева, РосНИИВХ. – Екатеринбург : АКВА-ПРЕСС, 2000. – 536 с.
115. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года / Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации № 1235-р от 27.08.2009.
116. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз / Под ред. Е. С. Нестерова. – Москва : Гидрометеорологический науч.-исслед. центр Российской Федерации, 2016. – 376 с.
117. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И. А. Шикломанова. – Санкт-Петербург : ГГИ, 2008. – 600 с.
118. Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный Закон Российской Федерации № 73-ФЗ от 03.06.2006 (редакция от 03.08.2018).
119. Водопользование и национальная безопасность / Беляков А. А., Венецианов Е. В., Комаров И. К. и др. – Москва : Альманах «Вымпел», 1997. – 296 с.
120. Водоохранилища / Авакян А. Б., Салтанкин В. П., Шарапов В. А. – Москва : Мысль, 1987. – 325 с.
121. Водоохранилища Верхней Волги / Рук. авт. коллектива В.С. Дементьев. – Нижний Новгород : ВВБВУ, 2008. – 156 с.
122. Водоохранилища и их воздействие на окружающую среду / Отв. ред. Г. В. Воропаев, А. Б. Авакян. – Москва: Наука, 1986. – 368 с.

123. Возрождение Волги – шаг к спасению России / Под ред. И. К. Комарова. – Москва – Нижний Новгород : Экология, 1996. – 464 с.
124. Войцеховский А. И., Ромейко В. А. Тунгусский метеорит: 100 лет великой загадке. – Москва : Вече, 2008. – 432 с.
125. Волга. – Самара: Агни, 2010. – 176 с.
126. Волков В. И., Каганов Г. М. О терминологии нормативно-правовых документов, связанных с обеспечением безопасности гидротехнических сооружений / Гидротехническое строительство, 2010. – № 3. – С. 44 – 48.
127. Волков Г. А. Правовой режим прудов и обводненных карьеров: кто собственник? / Экологическое право, 2012. – № 5. – С. 24 – 27.
128. Волосухин В. А., Мельников В. В. Азово-Каспийский водный путь: история, проблемы, перспективы. – Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2008. – 241 с.
129. Волынчиков А. Н. Богучанская ГЭС – пусковой объект российской гидроэнергетики / Гидротехническое строительство, 2010. – № 9. – С. 30 – 37.
130. Воробьев А. С., Магомедов З. А., Онищенко А. А. Комбинированная очистка Чирюртского водохранилища от наносов / Гидротехническое строительство, 1989. – № 28. – С. 34 – 37.
131. Воробьев Ю. Л. Актуальные проблемы гражданской защиты / Материалы XI международной научно-практической конференции по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. – Москва: МЧС, 2006. – С. 11 – 21.
132. Воронков О. К., Моторин Г. А., Михайловский Г. В. Изучение и схематизация геологического строения скальных оснований инженерных сооружений методом сейсморазведки / Геофизические методы исследования мерзлых толщ. – Якутск, 1976. – С. 118 – 138.
133. Воронков О. К. Основание Саяно-Шушенской ГЭС: строение, свойства, состояние / Гидротехническое строительство, 2010. – № 7. – С. 8 – 13.
134. Вотяков И. Н. Физико-механические свойства грунтов Якутии. – Новосибирск: Наука, 1975. – 175 с.
135. Всемирная декларация. Роль водохранилищ в обеспечении устойчивого развития / World Declaration. Water storage for Sustainable Development. ICOLD, ICID, IHA, IWRA: approved on 5-th June 2012. – Kyoto (Japan), 2012.
136. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – Москва: Планета, 2014. – 60 с.
137. Габриелян В. Г. Потенциал инновационных светотехнических решений в национальных инициативах по энергосбережению / Актуальные проблемы инновационного развития. Выбор инновационных приоритетов: материалы заседания Межведомственной рабочей группы в рамках Международного энергетического форума, Москва, 17 декабря 2009 г. – Тверской ИнноЦентр, 2010. – Информационный бюллетень № 12. – С. 46 – 50.
138. Гагаринский А. Р. Ядерная энергия и общество / Росэнергоатом, 2010. – № 5. – С. 52 – 57.
139. Гапеев А. М., Кононов В. В. Строительство судоходных гидротехнических сооружений в России (к 200-летию начала подготовки инженеров в области гидротехнического строительства) / Гидротехническое строительство, 2009 – № 10. – С. 11 – 17.
140. Гвелесиани Л. Г., Магомедов З. А., Шмальцель Н. П. Каскад Чирюртских ГЭС имени В. И. Ленина в Дагестанской АССР / Гидротехническое строительство, 1970 – № 5. – С. 1 – 5.

141. Гелашвили Д. Б., Копосов Е. В., Лаптев Л. А. Экология Нижнего Новгорода. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2008. – 530 с.
142. Гелашвили Д. Б., Крылов В. Н., Романова Е. Б. Зоотоксикология: биоэкологические и медицинские аспекты. – Нижний Новгород: ННГУ, 2015. – 770 с.
143. Гелашвили Д. Б., Чупрунов Е. В., Сомов Н. В., Марычев М. О., Нижегородцев А. А., Маркелов И. Н., Якимов В. Н. Псевдосимметрия в живой природе. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2016. – 363 с.
144. Геологический словарь. – Москва: Недра, 1973. –Том 1.–486 с. Том 2.–456 с.
145. Герасимова С. Г., Гиргидов А. А., Иванов Т. С. Применение технологии воздушного лазерного сканирования в изысканиях для гидроэнергетического строительства / Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2009. – Т. 256. – С. 117 – 124.
146. Гидротехнические сооружения комплексных гидроузлов / Под общей ред. П. С. Непорожного. – Москва: Энергия, 1973. – 288 с.
147. Гидроэлектростанции малой мощности / В. В.Елистратов, Я. И. Бляшко, А. Е. Андреев.– Санкт-Петербург : СПбГТУ, 2005. – 432 с.
148. Гидроэлектростанции Советского Союза / Справочник. – Москва: Гидропроект имени С. Я. Жука. – Часть I, 1967. – 292 с.; Часть II, 1969. – 252 с.
149. Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов СССР / Под общ. ред. П. С. Непорожного. – Москва: Энергия, 1970. – 320 с.
150. Гидроэнергетика СССР в период Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. / Гидротехническое строительство, 1985 – № 5. – С. 1 – 6.
151. Гинко С. С. Катастрофы на берегах рек. Речные наводнения и борьба с ними. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. – 128 с.
152. Гнетов Е. А., Горохов Е. Н., Кривоногова Н. Ф., Соболев И. С., Соболев С. В., Федоров Д. К. Трансформация чаши водохранилища в вечномерзлых грунтах за длительный период эксплуатации по изысканиям и прогнозу / Приволжский научный журнал, 2013. – № 4. – С. 91 – 99.
153. Гнетов Е. А. Модель температурно-криогенного режима ложа водохранилища в криолитозоне с учетом осадки дна при оттаивании в трехмерных условиях / Приволжский научный журнал, 2016. – № 4. – С. 85 – 89.
154. Гнетов Е. А. Эксплуатационный температурно-криогенный режим ложа водохранилища в криолитозоне с учетом осадки дна при оттаивании в трехмерных условиях / Автореферат дисс... канд. техн. наук. – Москва, 2016. – 24 с.
155. Гоголев Е. С. Влияние мерзлого состояния грунтов на разрушение берегов водохранилищ криолитозоны / Натурные и лабораторные исследования гидротехнических сооружений: сборник научных трудов. – Москва: МГМИ, 1987. – С. 102 – 108.
156. Гоголев Е. С., Красавин А. Н. Разрушение пологих берегов и увеличение объема водохранилищ, расположенных в районах Крайнего Севера / Энергетическое строительство, 1984. – № 11. – С. 42 – 45.
157. Гоголев Е. С., Соболев С. В. Расчет оттаивания вечномерзлого грунта ложа водохранилища с учетом осадки / Известия вузов. Энергетика, 1986. – № 5. – С. 102 – 104.
158. Гоголев Е. С., Красавин А. Н. Экспериментальные исследования переработки пологих льдистых берегов водохранилищ / Инженерное мерзлотоведение в гидротехническом строительстве: материалы конференций и совещаний по гидротехнике. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1984. – С. 228 – 231.
159. Гоголев Е. С. Прогноз предельного развития береговой зоны водохранилищ в районах распространения льдистых грунтов / Инженерное мерзлотоведение в гидротехнике: материалы конференций и совещаний по гидротехнике. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1989. – С.187 – 190.

160. Гольдин А. Л., Хорьков В. И., Ивашинцев Д. А., Давидеико В. М., Кривоногова Н. Ф., Митбрейт Ю. Б., Ботвинов Б. Г., Игольников Г. А. Проблемы проектирования и строительства грунтовых плотин в районах распространения многолетней мерзлоты и высокой сейсмичности / Инженерное мерзлотоведение в гидротехнике: материалы конференций и совещаний по гидротехнике. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1989. – С. 4 – 11.
161. Гордиенко И. И. Самовольное строительство в пределах береговой полосы / Труды научного конгресса Международного научно-промышленного форума «Великие реки–2019». – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2019. – Том 1. – С. 192 – 195.
162. Гормаш А. В., Оньков И. В., Чернопазов В. А., Кривенко М. А. Опыт использования космических снимков IKONOS и Quickbird для решения задач муниципального хозяйства г. Перми / Геоматика, 2010. – № 1. – С. 52 – 57.
163. Города под водой / Автор-составитель В. И. Ерохин. – Москва: «Гранд-Холдинг», 2010. – 112 с.
164. Горохов Е. Н., Копосов Е. В., Соболев С. В., Ларионов В. И., Козлов М. А., Маленов А. А. Обеспечение экологической безопасности нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» / Приволжский научный журнал, 2011. – № 3. – С. 158 – 164.
165. Горохов Е. Н., Логинов В. И., Гнетов Е. А. Программа «Temperature Regime with Bottom Settlement 3D v. 1.0 (TRBS–3D v. 1.0)» / Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2016619309. – Москва, 2016.
166. Горохов Е. Н., Логинов В. И., Соболев И. С., Гнетов Е. Н. Программа «Bottom Settlement v. 2.0» / Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014611920. – Москва, 2014.
167. Горохов Е. Н., Соболев И. С., Логинов В. И., Гнетов Е. А. Виртуальная модель температурно-криогенного режима основания и оседания ложа водохранилища в криолитозоне / Приволжский научный журнал, 2013. – № 4. – С. 37 – 47.
168. Гороховский В. А. Архитектурные решения гидроэлектростанций / Гидротехническое строительство, 2017. – № 3. – С. 26 – 28.
169. ГОСТ Р 22.1.11-2002. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг состояния водоподпорных гидротехнических сооружений (плотин) и прогнозирование возможных последствий гидродинамических аварий на них. Общие требования.
170. ГОСТ Р 22.2.09-2015. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Экспертная оценка безопасности и риска аварий гидротехнических сооружений. Общие положения.
171. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения.
172. ГОСТ 19185-73. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения.
173. ГОСТ 17.1.5.02-80. Охрана природы. Гидросфера. Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов.
174. ГОСТ 17.1.1.02-77. Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов.
175. ГОСТ 17.1.3.01-76. Охрана природы. Гидросфера. Правила охраны водных объектов при лесосплаве.
176. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». – Москва: НИА-Природа, 2019. – 290 с.
177. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Республике Мордовия в 2014 г. – Саранск, 2015. – 196 с.
178. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». – Москва: Министерство природных ресурсов и экологии РФ; НПП «Кадастр», 2019. – 844 с.
179. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1998 г.» – Москва, 1999. – 498 с.

180. Готлиб Я. Л., Жидких В. М., Сокольников Н. М. Тепловой режим водохранилищ гидроэлектростанций. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1976. – 203 с.
181. Гречищев Е. К. Формирование берегов ангарских водохранилищ. – Новосибирск: Наука, 1976. – 72 с.
182. Гречищев С. Е., Чистотинов Л. В., Шур Ю. А. Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз. – Москва: Недра, 1980. – 383 с.
183. Гречушникова М. Г., Школьный Д. И. Оценка эмиссии метана водохранилищами России / Водное хозяйство России, 2019. – № 2. – С 58 – 71.
184. Григорьев Е. Г. Водные ресурсы России: проблемы и методы государственного регулирования. – Москва: Научный мир, 2007. – 240 с.
185. Григорьев Н. Ф. К образованию дрейфующих островов из талых и мерзлых торфяников и формированию берегов на Хантайском водохранилище / Методы комплексных исследований сплошных гидросистем. – Томск: Томский университет, 1980. – С. 17 – 24.
186. Григорян С. С., Красс М. С., Гусева Е. В., Геворкян С. Г. Количественная теория геокриологического прогноза. – Москва: МГУ, 1987. – 266 с.
187. Гришина И. Н., Ежков А. Н., Соболев И. С., Суслов М. С., Хохлов Д. Н. Расчетный прогноз устойчивости береговых склонов нагорной части города Нижнего Новгорода при разных уровнях Чебоксарского водохранилища / Исследование актуальных геологических проблем Приволжья: сборник научных трудов. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2009. – С.304 – 352.
188. Громов Ю. А., Соболев И. С., Соболев С. В. Адаптивный метод экстраполяции данных наблюдений и прогнозирования характеристик абразии берегов эксплуатируемых водохранилищ / Водное хозяйство России, 2013. – № 1. – С. 78 – 90.
189. Громов Ю. А., Соболев И. С. Синтез динамической модели процесса по измеренным характеристикам неоднородных объектов в задачах гидротехнического строительства / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки, 2012. – № 4. – С. 120 – 126.
190. Губарев В. Г. Академик Михаил Кузьмин: взгляд в глубины Байкала / Наука и жизнь, 2008. – № 6. – С. 2 – 7.
191. Губарев В. Г. Член-корреспондент РАН Дмитрий Матишов: вместе с океаном в жизни и в науке / Наука и жизнь, 2008. – № 3. – С. 16 – 10.
192. Гулый С. А. Анализ работы плотины, перешедшей из мерзлого на талый тип эксплуатации (на примере плотины АрГРЭС на р. Мянундже) / Проблемы инженерного мерзлотоведения: материалы IX международного симпозиума 3–7 сентября 2011 г., г. Мирный. – Якутск: СО РАН, 2011. – С. 237 – 242.
193. Гуньяев Я. Э., Сегал Г. Я. Волногасящее действие кустарниковой растительности / Инженерные методы защиты земляных гидротехнических сооружений от разрушающего действия волн. – Киев: АСИА УССР, 1962. – С. 188 – 194.
194. Гуревич В. М. Применение метода натуральных моделей для прогнозирования переработки термоабразионных берегов водохранилищ / Береговые процессы в криолитозоне. – Новосибирск: Наука, 1984. – С. 105 – 110.
195. Гуськов С. В., Файн И. И. Роль ускоренного освоения гидроэнергетических ресурсов бассейна Енисея в развитии ТЭК Сибири / Гидротехническое строительство, 1987 – № 12. – С. 1 – 6.
196. Данилевский Н. Ю. Кубенское озеро / Исследования о состоянии рыболовства в России.– Санкт-Петербург: Министерство государственных имуществ, 1862.–11 с.
197. Дарвин Чарлз. Происхождение видов путем естественного отбора / Пер. с шестого англ. издания. – Ленинград : Наука, 1991. – 539 с.

198. Двинских С. А., Китаев А. Б. Гидрология Камских водохранилищ. – Пермь: Пермский гос. ун-т, 2008. – 266 с.
199. Дебольский В. К. Волжские берега / Экология и жизнь, 2000. – № 1. – С. 44 – 47.
200. Дегтярев В. В., Долженко Ю. А., Шлычков В. А. Гидротехническое строительство водных путей Якутского транспортного узла. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2007. – 352 с.
201. Демин А. П. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России: современные и перспективные оценки / Водное хозяйство России, 2010. – № 4. – С.11 – 26.
202. Демин А. П. Водные ресурсы и продовольственная безопасность: партнерство России и стран Азии / Водное хозяйство России, 2017. – № 3. – С. 40 – 54.
203. Денисова А. И., Нахшина Е. П., Новиков Б. И., Рябов А. К. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды. – Киев: Наукова Думка, 1987.– 164 с.
204. Джон Б., Дербишир Э., Янг Г., Фейрбридж Р., Эндрюс Д. Зимы нашей планеты / Пер. с англ. – Москва: Мир, 1982. – 336 с.
205. Дмитриев Ю. А. Беломорско-Балтийский водный путь (от замыслов до воплощения). Сборник документальных материалов. – Петрозаводск : Республиканская типография им. П.Ф. Анохина, 2003. – 256 с.
206. Дмитриевский П. М., Добряков Ю. П. Ангаро-Енисейский каскад гидроэлектростанций / Гидроэнергетика и комплексное гидротехническое строительство за 50 лет Советской власти: труды Гидропроекта. Сборник шестнадцатый.– Москва : Энергия, 1969. – С. 301 – 314.
207. Долгих С. Н., Соболев С. В., Горохов Е. Н., Соболев И. С., Шулаков Н. Ю., Горохов М. Е., Белов А. Н., Логинов В. И. Прогнозное математическое моделирование грунтовых гидротехнических сооружений акционерной компании «Алмазы России – Саха» / Приволжский научный журнал, 2007. – № 3. – С. 35 – 41.
208. Дьяконов Д. Ликвидация неперспективных деревень / Секретные архивы, 2019. – № 13. – С. 40 – 41.
209. Егоров В. А. Рокадные дороги /Охота и рыбалка XXI век, 2010. – № 10 – С. 82 – 87.
210. Егоров Г. Существующий и перспективный флот / Морские вести России, 2017. – № 9. – 6 с. (www.morvesti.ru).
211. Егоров И. Е., Егорова М. И. Процессы современной экзогенной геодинамики на берегах Воткинского водохранилища / Вестник Удмуртского университета, 2007. – № 11. – С. 75 – 80.
212. Егоров И. Е., Егорова М. И. Современные тенденции изменения береговой зоны Воткинского водохранилища / Вестник Удмуртского университета, 2008. – Вып. 2. – С. 81 – 87.
213. Егоров С. П. Город Чебоксары. Объекты инженерной защиты. История строительства и краткая характеристика, 1975–2000 гг. – Чебоксары: Принт-Люкс, 2010. – 112 с.
214. Ежков А. Н., Суслов М. С. Исследование облегченных конструкций для защиты подводных грунтовых откосов / Исследование актуальных геологических проблем Приволжья : сборник научных трудов. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2009. – С. 385 – 416.
215. Еник Я. Иллюстрированная энциклопедия лесов.–Прага: Артия, 1987.–432 с.
216. Епишин В. К., Экзарьян В. Н. Прогноз процесса формирования берегов водохранилищ. – Москва: Энергия, 1979. – 112 с.

217. Ерахтин Б. М., Ерахтин В. М. Строительство гидроэлектростанций в России. – Москва: АСВ, 2007. – 732 с.
218. Ерахтин Б. М., Соболев И. С., Соболев С. В. Развитие гидроэлектроэнергетики Севера для будущей России / Ноосферизм. Арктический взгляд на устойчивое развитие России и человечества в XXI веке: материалы Первого Международного Ноосферного Северного Форума в форме коллективной монографии, Санкт-Петербург, 20–24 октября 2007 г.). – Санкт-Петербург – Кострома: КГУ им. Н. А. Некрасова, 2007. – Кн. 2. – С. 278 – 294.
219. Ерахтин Б. М., Соболев И. С., Соболев С. В., Февралев А. В. Использование гидроэнергетического потенциала северных рек для гидроэлектрификации страны / Приволжский научный журнал, 2007. – № 3. – С. 13 – 34.
220. Ермолаев А. И. К вопросу о разработке единой типологической классификации берегов водохранилищ / Водохранилища и их воздействие на окружающую среду. – Москва : Энергия, 1976. – С. 121 – 127.
221. Ермолаев А. И. Классификация термоабразионных берегов водохранилищ и прогнозирование их переработки / Береговые процессы в криолитозоне. – Новосибирск: Наука, 1984. – С. 85 – 92.
222. Ефремов Ю. В., Нгуен Ба Нгюк. Водохозяйственный комплекс в низовьях р. Кубань: назначение, структура, проблемы / Восемнадцатое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов : доклады и сообщения. – Курск, 2003. – С. 126 – 128.
223. Жамагорцян В. Н. О заилении Ахпаринского водохранилища / Заиление водохранилищ и борьба с ним. – Москва: Колос, 1970. – С. 180 – 185.
224. Жданов А. М., Дороднова К. М., Гамаженко В. С. Вопросы проектирования и строительства берегоукрепительных сооружений. – Москва: Желдориздат, 1952. – 128 с.
225. Желнина Е. А. Определение водоохраных зон, прибрежных полос водохранилищ на примере Горьковского водохранилища / Тез. докл. ОАО «Кировводпроект» по результатам выполнения гос. контракта № 23/2011. – Пенза: Бассейновый совет ВВБВУ, 2013. – С. 11 – 14.
226. Жиндарев Л. А., Хабизов А. Ш., Тризно А. К. Динамика песчаных берегов морей и внутренних водоемов. – Новосибирск: Наука, 1998. – 271 с.
227. Жиркевич А. Н., Асарин А. Е. Вероятный максимальный паводок (РМФ): основные сведения и проблемы применения методики его расчета в России / Гидротехническое строительство, 2010. – № 4. – С. 30 – 36.
228. Жмачинский В. И., Котов Ю. С. Анализ и оценка эффективности перевозок судами смешанного «река–море» плавания / Труды конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки–2007». – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2007. – С. 185 – 190.
229. Заирова В. А., Орищук Р. Н., Созинов А. Д., Радченко С. В. Основные предпосылки реализации проекта строительства Канкунской ГЭС / Гидротехническое строительство, 2010 – № 2. – С. 2 – 7.
230. Заключенные на стройках коммунизма. ГУЛАГ и объекты энергетики в СССР. Собрание документов и фотографий. – Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 2008. – 448 с.
231. Законнов В. В., Гершевский П. М., Законнова А. В., Кашубский М. П. Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги. Сообщение 3. Оценка изменения морфометрических характеристик в результате накопления донных отложений в Угличском водохранилище / Водное хозяйство России, 2016. – № 6. – С. 61 – 72.

232. Законнов В. В., Законнова А. В., Касьянова В. В. Формирование наносов в зонах переменного подпора водохранилищ Волги / Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : труды второй международной научно-практической конференции. – Пермь: Пермский гос. ун-т, 2009. – Т. 1. – С. 30 – 35.
233. Законнов В. В., Зиминова Н. А. Распределение и накопление донных отложений в водохранилищах Нижней Волги / Формирование и динамика полей гидрологических и гидрохимических характеристик во внутренних водоемах и их моделирование. – Санкт-Петербург, 1993. – С. 40 – 46.
234. Законнов В. В., Иванов Д. В., Законнова А. В. Пространственно-временная трансформация донных отложений водохранилищ Средней Волги / Водные ресурсы, 2007. – Т. 34. – № 3. – С. 1 – 9.
235. Законнов В. В., Иванов Д. В., Хасанов Р. Р., Законнова А. В., Маланин В. В., Марасов А. А. Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги. Сообщение 6. Донные отложения Куйбышевского водохранилища и их картирование с использованием геоинформационных технологий / Водное хозяйство России, 2019. – № 2. – С. 72 – 89.
236. Законнов В. В., Иконников Л. Б., Законнова А. В. Формирование берегов и донных осадков Чебоксарского водохранилища / Водные ресурсы, 1999. – Т. 26. – № 4. – С. 418 – 426.
237. Законнов В. В., Костров А. В., Законнова А. В. Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги / Водное хозяйство России, 2017. – № 4. – С. 60 – 74.
238. Законнов В. В. Осадкообразование в водохранилищах Волжского каскада / Автореферат дисс... доктора географических наук. – Москва: Институт географии РАН, 2007. – 52 с.
239. Законнов В. В. Пространственно-временная неоднородность распределения и накопления донных отложений верхневолжских водохранилищ / Водные ресурсы, 1995. – Т. 22. – № 3. – С. 362 – 371.
240. Замарин Е. А., Журавлев Г. И., Кобек С. И., Кременецкий Н. Д. Сельскохозяйственные гидротехнические сооружения. – Москва: Госстройиздат, 1957. – 290 с.
241. Заповедники России / Ред. группа: А. Голосовская, К. Михайлов, Е. Евлахович и др. – Москва: Мир энциклопедий Аванта, Астрель, 2009. – 180 с.
242. Зарубаев Н. В. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. – Ленинград: Стройиздат, 1976. – 224 с.
243. Землянов И. В., Горелиц О. В., Павловский А. Е., Шикунова Е. Ю. Использование геоинформационных технологий для оценки современных морфологических характеристик водных объектов / Исследование океанов и морей: труды Государственного океанографического Института. – Москва: ГОИН, 2009. – Вып. № 212. – С. 258 – 269.
244. Землянов И. В., Горелиц О. В., Павловский А. Е., Шикунова Е. Ю. Уточнение морфологических характеристик водохранилищ Волжско-Камского каскада / Тезисы доклада на научно-техническом совете Верхне-Волжского бассейнового водного управления. – Москва: ГОИН, 2010. – 10 с.
245. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. – Москва: АН СССР, 1962. – 710 с.
246. Зиминова Н. А., Законнов В. В., Курдин В. П. О ходе процесса осадконакопления в Ивановском водохранилище / Биология внутренних вод: информ. бюл., 1979. – № 41. – С. 65 – 68.
247. Зиновьев А. Т., Кудишин А. В., Атавин А. А. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006611428 «Гидроледотермика 1DH (Полынья)». – Москва, 26.04.2006.

248. Золотарев Г. С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки / Труды лаборатории гидрогеологических проблем. – Москва: АН СССР, 1955. – Т. 7. – С. 38 – 57.
249. Иваненкова С. А., Комаров Ю. С. Инженерно-геологические условия Нижней Волги / Гидротехническое строительство, 2009. – № 4. – С. 34 – 36.
250. Иванов А. А., Михайлов В. Н., Багрицкий Д. В. Причины, хроника событий и последствия наводнения в низовье реки Кубани зимой 2001–2002 гг. / Безопасность энергетических сооружений. – Москва : НИИЭС, 2003. – Вып. 11. – С. 275 – 282.
251. Иванов А. Хребет России. – Санкт-Петербург: Азбука-классика, 2010. – 272 с.
252. Иванов В. В., Коротаев В. Н., Чернов А. В. Деформации русла в нижнем бьефе Волжской ГЭС / Восемнадцатое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов : доклады и сообщения. – Курск, 2003. – С. 141 – 142.
253. Иванов В. Г., Крапивина И. И. Переработка береговой линии водохранилищ / Гидротехническое строительство, 2007. – № 12. – С. 22.
254. Иванов М. С., Бурлаков В. М. Криогенное строение многолетнемерзлых пород бассейна среднего течения р. Вилюя / Научно-технический отчет. – п. Чернышевский: ВНИМС, 1986. – 255 с.
255. Иванов Н. С., Гаврильев Р. И. Теплофизические свойства мерзлых горных пород. – Москва: Наука, 1965. – 190 с.
256. Игнатов К. М. Неустойчивость рельефа Нижегородской губернии / Вып. V. – Москва, 1914. – 24 с.
257. Измайлова А. В., Ульянова Т. Ю. Информационная система «Озера Земли» / Водное хозяйство России, 2014. – № 6. – С. 21 – 48.
258. Иконников Л. Б. Динамика берегов в нижних бьефах гидроузлов. – Москва: Наука, 1981. – 76 с.
259. Иконников Л. Б. Прогноз разрушения берегов при повышении уровня Чебоксарского водохранилища / Гидротехническое строительство, 1990. – № 2. – С. 11 – 13.
260. Иконников Л. Б. Формирование берегов водохранилища. – Москва: Наука, 1972. – 96 с.
261. Ильина Н. Д. Опыт эксплуатации креплений откосов земляных гидротехнических сооружений Волго-Донского судоходного канала имени В. И. Ленина / Инженерные методы защиты земляных гидротехнических сооружений от разрушающего действия волн. – Киев: АСИА УССР, 1962. – С. 82 – 100.
262. Инженерно-географические проблемы проектирования и эксплуатации крупных равнинных водохранилищ / Отв. ред. С. Л. Вендров. – Москва: Наука, 1972. – 240 с.
263. Инструкция по проектированию гидротехнических сооружений в районах распространения вечномерзлых грунтов / ВСН 30-83 Минэнерго СССР. – Ленинград: Энергия, 1983. – 100 с.
264. Инструкция по учету условий пропуски льда при проектировании, строительстве и эксплуатации гидроузлов / ВСН 10-76 Минэнерго СССР. – Ленинград: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1977. – 18 с.
265. Информация по Новосибирскому водохранилищу / Письмо Верхне-Обского БУ в ННГАСУ № 05/11/0481 от 05.04.2013. – Новосибирск, 2013. – 2 с.
266. Исаев А. И., Карпова Е. И. Рыбное хозяйство водохранилищ. – Москва: Агропромиздат, 1989. – 255 с.

267. Исаков Ю. А. Общий очерк фауны района Рыбинского водохранилища / Рыбинское водохранилище. – Москва: Московское общество испытателей природы, 1953. – С. 86 – 88.
268. История транспорта России / Под общ. ред. Т. Л. Пашковой. – Москва : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2019. – 374 с.
269. Иудин А. И., Иудина С. А. Замок Шереметевых. Золотая мечта дворянства. – Нижний Новгород : Книги, 2010. – 336 с.
270. Каган А. А., Кривоногова Н. Ф. Водоохранилища и землетрясения / Гидротехническое строительство, 2009. – № 2. – С. 28 – 31.
271. Каган А. А., Кривоногова Н. Ф. Прогнозирование переформирования берегов водохранилищ в области развития многолетнемерзлых грунтов / Гидротехническое строительство, 1991. – № 4. – С. 11 – 14.
272. Каган А. А., Кривоногова Н. Ф. Прогнозирование термокарстового процесса в инженерных целях / Инженерно-геологическое изучение термокарстовых процессов и методы управления ими при строительстве и эксплуатации сооружений : материалы IV научно-методического семинара. – Санкт-Петербург : ВНИИГ, 1998. – С.18 – 26.
273. Каганов Г. М., Волков В. И., Секисова И. А. Приближенная оценка глубины затопления территории в нижнем бьефе при прорыве напорного фронта низконапорных гидроузлов / Гидротехническое строительство, 2010. – № 4. – С. 22 – 26.
274. Каганов Г. М., Волков В. И., Секисова И. А. Сравнение параметров волны прорыва, определенных различными методами / Гидротехническое строительство, 2010. – № 1. – С. 31 – 37.
275. Калинин В. Г., Ковязина И. А. К оценке осадконакопления на Камском водохранилище / Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии : труды III Всероссийской науч. конференции. – Барнаул, 2017. – Т. 2. – С. 95 – 100.
276. Калинин Э. В. Инженерно-геологические расчеты и моделирование. – Москва : МГУ, 2006. – 256 с.
277. Каменский Р. М. Термический режим плотины и водохранилища Вилюйской ГЭС. – Якутск : Институт мерзлотоведения СО АН СССР, 1977. – 92 с.
278. Канал имени Москвы: 50 лет эксплуатации / Под ред. Л. С. Быкова и А. С. Матросова. – Москва : Стройиздат, 1987. – 240 с.
279. Карнович В. Н., Космаков И. В. Особенности теплового режима р. Енисей после зарегулирования / Исследование влияния сооружений гидроузлов на ледовый и термический режимы рек и окружающую среду : материалы конференций и совещаний по гидротехнике. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1991. – С. 23 – 30.
280. Карнович В. Н., Судакова Н. В., Белло Т. В. Анализ ледотермического режима бьефов Вилюйских ГЭС по данным натурных наблюдений / Ледотермические проблемы в северном гидротехническом строительстве и вопросы продления навигации : материалы конференций и совещаний по гидротехнике. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1989. – С.28 – 32.
281. Карпенко Л. В. Причины и прогноз всплывания торфа в Богучанском водохранилище / Водное хозяйство России, 2010. – № 6. – С. 48 – 57.
282. Карпов Б. Н. Инженерная защита города Горького. – Горький: Волго-Вятское книжное изд-во, 1979. – 191 с.
283. Каталог водохранилищ СССР – Москва: Союзводпроект, 1988. – 276 с.
284. Катасонов В. Ю. Экономика Сталина / Институт русской цивилизации. – Москва: Кислород, 2016. – 340 с.

285. Катцов В. М. Глобальные изменения климата: причины и возможные последствия / Поиск – НН, 2012. – № 1 – С. 18 – 19.
286. Качугин Е. Г. Геологическое изучение динамики берегов водохранилищ. – Москва: Наука, 1975. – 148 с.
287. Качугин Е. Г. Рекомендации по изучению переработки берегов водохранилищ / Инженерно-геологические исследования и прогнозы переработки берегов водохранилищ. – Москва : Геолтехиздат, 1959. – С. 3 – 89.
288. Каякин В. В. Современные задачи и практика инженерно-геологических изысканий при проектировании крупных водохранилищ / Гидротехническое строительство, 1989. – № 10. – С. 28 – 32.
289. Каякин В. В. Оценка вероятности риска террористически актов на гидротехнических сооружениях / Гидротехническое строительство, 2009. – № 4. – С. 15 – 18.
290. Квитко Е. Кто ест черную икру / Саквояж. – Москва: Российские железные дороги, май 2010. – С. 24 – 26.
291. Китаев А. Б. Изменение составляющих водного баланса Камского и Воткинского водохранилищ в связи с их заилением / Актуальные вопросы гидрологии и гидроэкологии : материалы научно-практической конференции. – Пермь: Пермский гос. ун-т, 2016. – С. 32 – 35.
292. Клюева В. А., Долженко Г. П. Осадконакопление в водохранилищах бассейна Нижнего Дона. – Ростов-на-Дону: Ростовский ун-т, 1983. – 142 с.
293. Книга о вкусной и здоровой пище. – Москва: Пищепромиздат, 1953. – 400 с.
294. Коблев И. Н., Кривошей В. А., Шестаков В. Я. Волго-Донской судоходный канал. – Москва : ОМ-Паблишинг, 2008. – 400 с.
295. Ковалев А. Я. Гигант на Ангаре. – Москва : Стройиздат, 1970. – 240 с.
296. Когодовский О. А., Фриштер Ю. И. Гидроэнергетика Крайнего Северо-Востока. – Москва : Энергоатомиздат, 1996. – 300 с.
297. Кожевникова Т. Е., Сахарова Н. Б. Ледотермический режим в бьефах плотины Колымской ГЭС в период начальной эксплуатации / Гидротехническое строительство, 1990. – № 2. – С. 34 – 36.
298. Козлов Д. В. Волновые процессы в водоемах и водотоках с ледяным покровом. – Москва : МГУП, 2001. – 225 с.
299. Козлов Д. В. Лед пресноводных водоемов и водотоков. – Москва : МГУП, 2000. – 263 с.
300. Коломиец А. М., Зайцева Л. П., Соболев С. В., Соболев И. С., Хохлов Д. Н., Красильников В. М. Динамика абразионных берегов Чебоксарского водохранилища / Гидротехническое строительство, 2012. – № 12. – С. 29 – 33.
301. Комплексные исследования Воткинского водохранилища и оценка его влияния на природу / Под ред. С. А. Двинских и А. Б. Китаева. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 2007. – 250 с.
302. Кондратьев Н. Е. Расчеты береговых переформирований на водохранилищах / Практическое руководство. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1960. – 64 с.
303. Коновалова О. А., Парамонов В. К., Потемин П. В., Соболев И. С. Определение размеров эксплуатируемых водохранилищ для оценки объемов воды и площадей затопления / Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : труды международной научно-практической конференции 26–28 мая 2009 г. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 2009. – Т. I. – С. 58 – 62.
304. Константинов И. П. Динамика берегов водохранилища Вилюйской ГЭС в период наполнения и начальной эксплуатации / Береговые процессы в криолитозоне. – Новосибирск : Наука, 1984. – С. 38 – 50.
305. Концерн Росэнергоатом / Проспект. – Москва, 2009. – 58 с.

306. Копосов Е. В., Гришина И. Н. Особенности формирования подземного стока в зоне влияния крупных равнинных водохранилищ. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2007. – 288 с.
307. Копосов Е. В., Соболев И. С. Значение водохранилищ для обеспечения водными ресурсами экономики России / Вестник Волжского регионального отделения РААСН. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2012. – Вып. 15. – С. 89 – 98.
308. Копосов Е. В., Соболев И. С., Ежков А. Н. Прогнозирование абразионной и оползневой опасности побережий волжских водохранилищ / Вестник МГСУ, 2013. – № 6. – С. 170 – 176.
309. Копосов Е. В., Соболев С. В., Февралев А. В. Экологическая, социальная и экономическая эффективность использования водной энергии малых рек. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2009. – 260 с.
310. Копосов Е. В., Хромова Т. С., Кшуманева Т. В., Салов А. Г. Исследование пространственно-временного развития оползневого процесса на примере Сурско-Волжского склона г. Васильсурска / Исследование актуальных геоэкологических проблем Приволжья : сборник научных трудов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2009. – С. 353 – 378.
311. Коробченков А. А., Матвеев В. С. Зейское водохранилище и борьба с наводнениями в Приамурье. – Хабаровск : Книжное изд-во, 1973. – 72 с.
312. Корпачев В. П. Влияние размыва берегов водохранилищ ГЭС на засорение их древесной массой / Вестник КрасГАУ, 2008. – № 4. – С. 91 – 96.
313. Корпачев В. П., Губин И. В., Андрияс А. А., Пережилин А. И. Оценка запахов плавающей древесной массы на акватории водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС / Гидротехническое строительство, 2010. – № 10. – С. 50 – 52.
314. Корпачев В. П., Губин И. В., Андрияс А. А., Пережилин А. И. Прогноз всплывания древесной массы и оценка объемов органических веществ растительного происхождения в ложе водохранилища Богучанской ГЭС / Гидротехническое строительство, 2010. – № 12. – С. 28 – 32.
315. Корпачев В. П., Миронов Г. С. Экология лесопользования. – Красноярск : Сибирский гос. технологический ун-т, 2007. – 212 с.
316. Косолапов А. Е., Беспалова Л. А., Ивлиева О. В., Дандара Н. Т., Скрипка Г. И. Оценка современных экзогенных процессов в береговой зоне Таганрогского залива / Водное хозяйство России, 2009. – № 6. – С. 4 – 22.
317. Костерин Н. В., Васильев А. В. Бурейская ГЭС выходит на проектную мощность / Гидротехническое строительство, 2008. – № 2. – С. 2 – 4.
318. Коцюк Д. В. Ихтиофауна Зейского водохранилища / Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : труды международной научно-практической конференции. – Пермь: ПГУ, 2009. – Т. 2. – С. 299 – 304.
319. Красильников В. М., Соболев И. С. Уточнение морфометрических параметров водохранилищ на базе цифровых моделей рельефа / Вестник МГСУ, 2012. – № 10. – С. 272 – 280.
320. Красильников В. М., Соболев И. С. Цифровые модели рельефа ложа и берегов водохранилищ Верхней Волги / Свидетельство о регистрации базы данных № 2014620960. – Москва, 2014.
321. Красильников В. М., Соболев С. В. Фрактальные параметры Рыбинского водохранилища на реке Волге / Приволжский научный журнал, 2018. – № 4. – С. 87 – 94.
322. Красильников В. М. Цифровой рельеф ложа и берегов водохранилищ в составе гидродинамической модели Верхней Волги / Приволжский научный журнал, 2013. – № 4. – С. 47 – 49.

323. Красильников В. М., Тарарин А. М. Верификация гидродинамической модели участка реки Волги с применением материалов дистанционного зондирования Земли из космоса / Приволжский научный журнал, 2008. – № 4. – С. 94 – 98.
324. Кривоногова Н. Ф., Свительская Л. И., Федоров Д. К. Особенности переработки берегов водохранилищ в криолитозоне / Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2009. – Т. 255. – С. 25 – 33.
325. Кромер Р. Гравиметрическое опреснение соленых водоемов на примере озера Ван в Турции и Аральского моря в Казахстане / Приволжский научный журнал, 2010. – № 1. – С. 171 – 178.
326. Кроник Я. А. Анализ аварийности и безопасности геотехнических систем в криолитозоне / Материалы пятой конференции геокриологов России; МГУ им. М. В. Ломоносова 14–17 июня 2016 г. – Москва: Университетская книга, 2016. – Т. 1. – С. 104 – 113.
327. Кроник Я. А., Оникиенко Т. С. Переформирование чаши и берегов искусственных водохранилищ в криолитозоне / Инженерная геология, 1980. – № 3 – С. 120 – 129.
328. Крупеник Н. Лед в Арктике никогда не растает / Наука и жизнь, 2008. – № 12. – С. 30 – 31.
329. Крутикова К. В., Шевчук А. В. SWOT-анализ системы управления водными ресурсами / Водное хозяйство России, 2019. – № 4. – С. 57 – 71.
330. Кудояров Л. И., Оникиенко Т. С. Влияние изменений мерзлотных условий в чаше водохранилищ на функционирование северных ГЭС / Гидротехническое строительство, 1990. – № 2. – С. 8 – 11.
331. Кудояров Л. И., Павлич М. П., Радченко В. Г., Турчина В. А., Шадрин Г. С. Плотины из грунтовых материалов в районах Крайнего Севера и вечной мерзлоты. – Ленинград: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1973. – 132 с.
332. Кузнецов Г. И., Белецкая Н. В., Озерский Д. А. Накопители промышленных отходов. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2008. – 180 с.
333. Кузнецова И. А., Черная Л. В. Оценка загрязнения нефтепродуктами водных объектов в районе падения отделяющихся частей ракет-носителей «Союз» на территории Северного Урала / Водное хозяйство России, 2011. – № 2. – С. 83 – 91.
334. Куницкий В. В., Разумов С. О., Кузьмин Г. П., Чжан Р. В. Геокриологические условия территории Эвенкийского гидроузла на реке Нижняя Тунгуска. Прогнозная оценка влияний при строительстве водохранилища. – Якутск: Институт мерзлотоведения СО РАН, 2011. – 6 с.
335. Куперман В. Л., Мызников Ю. Н., Торопов Л. Н. Гидроэнергетическое строительство на Севере. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 304 с.
336. Курдин В. П. Основные положения о процессах образования и распределения грунтов в верхневолжских водохранилищах / Труды совещания Ихтиологической комиссии АН СССР, 1961. – Вып. 10. – С. 53 – 60.
337. Кусковский В. С., Тржцинский Ю. Б. Влияние сибирских водохранилищ на геологическую среду / Гидротехническое строительство, 1990. – № 2. – С. 13 – 15.
338. Кутателадзе С. С. Анализ подобия и физические модели. – Новосибирск : Наука, 1986. – 297 с.
339. Лавров С. А. Закономерности формирования испарения с поверхности суши и воды под влиянием климатических изменений / Водное хозяйство России, 2019. – № 1. – С. 4 – 23.
340. Лагута А. А., Погорелов А. В. Особенности заиления Краснодарского водохранилища. Опыт оценки по данным батиметрических съемок / Географический вестник = Geographical bulletin, 2018. – № 4. – С. 54 – 66.

341. Лапин Г. Г. О некоторых итогах и планах энергетики / Гидротехническое строительство, 2008. – № 1. – С. 2 – 4.
342. Лапин Г. Г. О темпах развития гидроэнергетики в России / Гидротехническое строительство, 2011. – № 1. – С. 2 – 6.
343. Лапин Г. Г. Планы и реальность / Гидротехническое строительство, 2010. – № 1. – С. 2 – 4.
344. Лапин Г. Г. Правда и мифы о приливных электростанциях / Гидротехническое строительство, 2009. – № 9. – С. 49 – 55.
345. Ларионов А. Д. О необходимости подъема уровня воды в Чебоксарском водохранилище / Гидротехническое строительство, 1990. – № 5. – С. 6 – 8.
346. Ларионов А. Д., Проблемы подтопления берегов крупных равнинных водохранилищ / Гидротехническое строительство, 1992. – № 7. – С. 11 – 15.
347. Лебедев В. В. Гидрологические и водохозяйственные расчеты для проектирования сооружений водоснабжения. – Москва – Ленинград : Стройиздат, 1965. – 396 с.
348. Левачев С. Н., Языков С. В., Есиновский В. А., Мельник Г. В. Судоходные каналы «Евразия» и «Волго-Дон 2» / Гидротехническое строительство, 2010. – № 11. – С. 39 – 44.
349. Лемешев М. Я., Максимов А. А., Маслов Б. С. Мировой опыт пока ничему не учит (О разрухе в водохозяйственном комплексе России). – Москва : Типография Россельхозакадемии, 2011. – 110 с.
350. Леонтьев И. О. Количественный анализ эволюции профиля абразионного берега / Проблемы развития морских берегов. – Москва : Наука, 1989. – С. 30 – 37.
351. Леонтьев И. О. Моделирование эволюции берегов российской Арктики / Океанология, 2004. – Т. 44. – № 3. – С. 457 – 468.
352. Леонтьев И. О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. – Москва : ГЕОС, 2001. – 272 с.
353. Леонтьев И. О., Кошелев К. Б., Марусин К. В., Шибких А. А. Программные продукты для математического моделирования и прогнозирования береговых процессов волновой природы / Создание искусственных пляжей, островов и других сооружений в береговой зоне морей, озер, водохранилищ. – Новосибирск : СО РАН, 2009. – С. 27 – 34.
354. Лепихин А. П., Любимова Т. П., Паршакова Я. Н., Тиунов А. А., Перепелица Д. И. К проблеме оценки последствий крупномасштабной добычи нерудных строительных материалов на поверхностные водные объекты / Водное хозяйство России, 2014. – № 3. – С. 108 – 119.
355. Лепихин А. П., Тиунов А. А. Особенности построения гидродинамических моделей для наиболее техногенно нагруженных участков камских водохранилищ / Современные проблемы водохранилищ и водосборов : труды международной научно-практической конференции. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 2009. – Т. 1. – С. 71 – 77.
356. Ливинский А. П., Редько И. Я. Внедрение МЭК как основы эффективного способа решения проблем развития малой энергетики / Гидротехническое строительство, 2009. – № 8. – С. 67 – 69.
357. Лифанов И. А. Водоохранилища гидроэлектростанций. – Москва : Госэнергоиздат, 1955. – 72 с.
358. Лобченко Е. Е., Минина Л. И., Ничипорова И. П., Первышева О. А. Динамика качества воды Цимлянского водохранилища (за период с 1979 по 2014 годы) / Водное хозяйство России, 2016. – № 6. – С. 74 – 92.
359. Лошак В. К., Аполлонов Ю. Е., Колосов М. А. Использование возобновляемых источников энергии в условиях устойчивого развития в бассейнах рек Волга, Дон, Лена, Нижняя Тунгуска и улучшения экологической обстановки / Международный

научно-промышленный форум «Великие реки–2001». Генеральные доклады, тезисы докладов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2002. – С. 181 – 183.

360. Лукин А. А., Дубинина В. Г. Экологические последствия предлагаемых вариантов строительства второй нитки Волго-Донского водного пути или канала «Евразия» / Водное хозяйство России, 2009. – № 2. – С. 90 – 103.

361. Лучников А. И., Ляхин Ю. С., Лепихин А. П. Опыт применения беспилотных летательных аппаратов для оценки состояния поверхностей берегов водных объектов / Водное хозяйство России, 2018. – № 1. – С. 37 – 46.

362. Львовский В. А., Иванов В. М., Чумаков В. В. Противонаводковые ГЭС в бассейне р. Амур / Гидротехническое строительство, 2017. – № 3. – С. 33 – 38.

363. Львовский В. А., Юркевич Б. Н. Перспективы освоения гидроэнергетических ресурсов Сибири и Дальневосточного федерального округа Российской Федерации / Гидротехническое строительство, 2017. – № 3. – С. 14 – 19.

364. Любомиров А. С. Развитие берегов термокарстового озера в приморской части Нижне-Анадырской низменности / Изучение берегов водохранилищ Сибири. – Новосибирск : Наука, 1977. – С. 73 – 78.

365. Ляпин В. Е. О регулировании температурного режима нижних бьефов высоконапорных гидроузлов / Гидротехническое строительство, 1989. – № 9. – С. 41 – 45.

366. Мажбиц Г. Л., Буланов Е. П. Обоснование изменения схемы пропуска паводков через Волжскую (Волгоградскую) гидроэлектростанцию / Безопасность энергетических сооружений. – Москва : НИИЭС, 2003. – Вып. 11. – С. 359 – 369.

367. Мажбиц Г. Л. Волгоградский филиал ОАО «НИИЭС»: некоторые итоги работы / Гидротехническое строительство, 2009. – № 8. – С. 50 – 51.

368. Макаров А. А. Возможности и стратегические приоритеты инновационного развития энергетики / Инновации, 2010. – № 12. – С. 3 – 6.

369. Макаров С. О. «Ермак» во льдах. Описание постройки и плавания ледокола «Ермак» и свод научных материалов, собранных в плавании. – Санкт-Петербург : Типография Сибирского акционерного общества печатного дела в России, 1901. – 507 с.

370. Максимчук В. Л. Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ. – Киев : Будівельник, 1981. – 112 с.

371. Малик Л. К. Причины и последствия наводнений / Безопасность энергетических сооружений. – Москва : НИИЭС, 2003. – Вып. 11. – С. 50 – 75.

372. Малик Л. К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности. – Москва : Наука, 2005. – 354 с.

373. Малик Л. К. Чрезвычайные ситуации, связанные с гидротехническим строительством (ретроспективный обзор) / Гидротехническое строительство, 2009. – № 12. – С. 2 – 6.

374. Малик Л. К. Энергетическая составляющая устойчивого развития общества / Гидротехническое строительство, 2008. – № 3. – С. 28 – 41.

375. Малые реки волжского бассейна / Под ред. Н. И. Алексеевского. – Москва : Московский госуд. ун-т, 1998. – 234 с.

376. Малышев Б. Н. О контролируемых количественных и качественных показателях состояния противопаводковой системы Нижней Кубани / Прочность и жесткость сооружений гидротехнического и мелиоративного строительства : труды Академии водохозяйственных наук. – Москва, 1999. – С. 9 – 11.

377. Мархилевич О. К. Применение методов моделирования геофильтрации при проектировании гидротехнических сооружений / Гидротехническое строительство, 2009. – № 4. – С. 61–72.

378. Марьин В. А. Ветровое волнение в речных озеровидных бьефах. – Москва : Водный транспорт, 1939.

379. Матарзин Ю. М., Мацкевич И. К. Вопросы морфометрии и районирования водохранилищ / Вопросы формирования водохранилищ и их влияние на природу и хозяйство. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 1970. – Вып. 1. – С. 27– 45.
380. Махиня А. П. Экологические аспекты охраны окружающей среды при проектировании водохранилищ / Гидротехническое строительство, 1989. – № 8. – С. 29 – 34.
381. Медведева М. С. Функционально-планировочные аспекты формирования архитектуры центров экологических исследований и образования / Приволжский научный журнал, 2019. – № 2. – С. 145 – 152.
382. Меерсон А. Б. Братское водохранилище. – Иркутск : Книжное изд-во, 1956. – 58 с.
383. Мерзликина Ю. Б. Прохорова Н. Б., Поздина Е. А. Классификация отраслевых водохозяйственных мероприятий: необходимость и проблемы реализации / Водное хозяйство России, 2009. – № 5. – С. 49 – 65.
384. Методика оценки вероятностного ущерба от вредного воздействия вод и оценки эффективности осуществления превентивных водохозяйственных мероприятий. – Москва : ВНИИ экономики минерального сырья и недропользования, 2005. – 149 с.
385. Методика расчета водохозяйственных балансов водных объектов / Утверждена приказом МПР России № 314 от 30.11.2007.
386. Методические рекомендации по применению габионных конструкций в строительстве. – Москва : Союздорпроект, 2001. – 199 с.
387. Методические рекомендации по прогнозированию переформирования берегов водохранилищ / П 30-75/ ВНИИГ. – Ленинград : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1975. – 64 с.
388. Методические рекомендации по прогнозированию подтопления берегов водохранилищ и использованию подтопленных земель / П 71-78 / ВНИИГ. – Ленинград : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1978. – 88 с.
389. Методические указания по оценке влияния гидротехнических сооружений на окружающую среду / РД 153-34.2-02.409-2003. РАО «ЕС России». – Санкт-Петербург : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2003.
390. Методические указания по разработке правил использования водохранилищ / Утверждены Приказом Минприроды России № 17 от 26.01.2011. – Свод законов РФ, 2011. – № 26. – С. 12 – 50.
391. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям / РД 52.24.643-2002. – Санкт-Петербург : Росгидромет, 2002. – 49 с.
392. Методология обеспечения защиты урбанизированных территорий от природных и техногенных негативных воздействий / Под ред. Е. В. Копосова. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2013. – 596 с.
393. Микова К. Д., Калинин В. Г. Исследование закономерностей нарастания толщины ледяного покрова на Воткинском водохранилище / Гидрология и гидроэкология Западного Урала : сборник научных трудов. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 2006. – С. 50 – 54.
394. Мирзаев А. Я., Иванов В. И. Оптимизация отметки НПУ Колымского водохранилища / Гидротехническое строительство, 2008. – № 2. – С. 29 – 30.
395. Михайлов А. В. Волго-Донской судоходный канал имени В. И. Ленина и Цимлянский гидроузел на Дону / Гидротехническое строительство, 1970.– № 1.–С. 1 – 9.
396. Михайлов А. В. Гидросооружения водных путей, портов и континентального шельфа. Внутренние водные пути / Под общ. ред. С. Н. Левачева. – Москва: АСВ, 2004. – 448 с.

397. Михайлов А. В., Малышев Н. А., Калиманов Е. Д., Станкевич В. И., Титов С. В., Вяземский О. В. Волжско-Камский каскад / Гидроэнергетика и комплексное гидротехническое строительство за 50 лет Советской власти : труды Гидропроекта. Сборник шестнадцатый. – Москва : Энергия, 1969. – С. 241 – 300.
398. Михайлова М. А., Аладышкина А. С. Развитие возобновляемой энергетики в странах Европы / Труды научного конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки–2019». – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2019. – Т. 1. – С. 228 – 231.
399. Михалев В. В., Мацкевич И. К., Белобородов А. В. Современная морфометрия Воткинского водохранилища / Водное хозяйство России, 2011. – № 1. – С. 23 – 32.
400. Михалев В. В., Мацкевич И. К. Современная морфология Камского водохранилища / Водное хозяйство России, 2010. – № 3. – С. 4 – 18.
401. Михалев В. В., Мацкевич И. К. Современные данные по морфометрии Камского водохранилища / Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : труды Международной научно-практической конференции. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 2009. – Т. 1. – С. 86 – 91.
402. Мишин Н. Н., Львовский В. А. Преимущества строительства гидроаккумулирующих станций на примере Ленинградской АЭС / Гидротехническое строительство, 2017. – № 3. – С. 29 – 32.
403. Молдованов А. И. Динамика морфологической структуры водохранилищ и их заиление / Заиление водохранилищ и борьба с ним : сборник статей. – Москва : Колос, 1970. – С.275 – 292.
404. Молдованов А. И. Заиление прудов и водохранилищ в степных районах. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1978. – 128 с.
405. Монаков А. В. Куйбышевское водохранилище. – Ленинград : Наука, 1983. – 214 с.
406. Мониторинг водных объектов. Оценка качества воды бассейна Верхней Волги / Рук. авт. коллектива В. С. Дементьев, В. В. Соколов, Т. А. Косарикова. – Нижний Новгород : ВВБВУ, 2008. – 180 с.
407. Мониторинг и прогнозирование реформирования берегов Чебоксарского водохранилища : отчет о НИР № 2011-125 / Рук. И. С. Соболев. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2012. – 240 с.
408. Морфометрические характеристики водохранилищ, входящих в зону деятельности Енисейского БВУ: письмо Енисейского БВУ в ННГАСУ № 05-786 от 06.03.2013. – Красноярск, 2013. – 16 с.
409. Муковский В. И., Нионов Ю. С. Об опыте использования метода альголизации для улучшения качества воды Цимлянского водохранилища / Водное хозяйство России, 2010. – № 1. – С. 89 – 96.
410. Муравьев В. П., Соболев С. В., Соболев И. С., Февралев А. В., Сидоров Н. П., Красильников В. М., Хохлов Д. Н. Водопрпускное сооружение для обводнения р. Ахтубы из Волгоградского водохранилища / Приволжский научный журнал, 2015. – № 3. – С. 45 – 51.
411. Мурашов А. В., Дубинина В. Г., Александровский А. Ю. Требования рыбного хозяйства и их учет при разработке правил использования водных ресурсов водохранилищ ГЭС / Гидротехническое строительство, 2009. – № 12 – С. 28 – 32.
412. Мюллер Г., Яхья А., Людвиг А., Оттенштайн Р., Райнин В. Е., Коломийцев Н. В., Найденов В. В., Соболев С. В., Палеев А. В., Шагидуллин Р. Р., Трофанчук В. А. Тяжелые металлы и фосфор в тонкодисперсных отложениях реки Волги / Генеральные доклады, тезисы докладов научного конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки–2006». – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2006. – С. 60 – 62.

413. Мюллер Г., Яхья А, Шелер Х. Ф., Кащенко О. В., Соболев И. С. Оценка загрязненности донных отложений реки Волги на участке Горьковское – Чебоксарское водохранилища / Приволжский научный журнал, 2008. – № 2. – С. 112 – 126.
414. Мюллер Г., Яхья А., Райнин В. Е., Коломийцев Н. В., Найдено В. В., Соболев С. В. Некоторые результаты изучения загрязнения донных отложений реки Волги / Мелиорация и водное хозяйство, 2000. – № 3. – С. 40 – 44.
415. На рубеже двух веков. Нижегородское Поволжье и Волга в фотографиях М. П. Дмитриева / Фотоальбом. – Горький : Волго-Вятское книжное изд-во, 1988. – 255 с.
416. Назаренко С. Н., Губина Р. П. Изменение режима зимних уровней в нижнем бьефе гидроэлектростанций на р. Колыме / Ледотермические аспекты экологии в гидроэнергетике : материалы конференций и совещаний по гидротехнике. – Санкт-Петербург : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1994. – С. 39 – 43.
417. Назаров Н. Н. Современная переработка берегов равнинных водохранилищ / Двадцатое межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов : доклады и сообщения. – Ульяновск, 2005. – С. 76 – 87.
418. Назаров Н. Н. Эффекты накопления и формирования аккумулятивных тел в прибрежной зоне крупных водохранилищ / Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : труды международной научно-практической конференции. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 2009. – Т. 1. – С. 97 – 102.
419. Назаров Н. Н., Виноградова Н. Н. Современное переформирование берегов водохранилищ Волжско-Камского каскада / Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : труды международной научно-практической конференции. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 2009. – Т. 1. – С.102–107.
420. Найдено В. В. Великая Волга на рубеже тысячелетий. От экологического кризиса к устойчивому развитию. – Нижний Новгород : Промграфика, 2003. – Т. 1. – 432 с., Т. 2. – 368 с.
421. Найдено В. В., Соболев С. В., Горохов Е. Н., Соболев И. С., Сидоров Н. П. Практическое применение гидродинамической модели реки, разработанной в проекте «Волга-Рейн» / Сборник трудов кафедры ЮНЕСКО.– Нижний Новгород : ННГАСУ, 2005. – Вып. 5. – С. 25 – 37.
422. Найдено В. В., Соболев С. В., Сидоров Н. П., Хлыстов А. А. Развитие исследований по математическому моделированию гидродинамики рек / Тезисы докладов научного конгресса «Великие реки–2005». – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2005. – С. 379 – 382.
423. Наумов Ю. М. Кижанка – лодка Онежского озера. Исторический очерк о судостроении и судостроении Кижских шхер. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2011. – 185 с.
424. Нежиховский Р. А. Наводнения на реках и озерах. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. – 184 с.
425. Немолочнов А. Г., Левачев С. Н. Композитные шпунтовые сваи: номенклатура, опыт применения / Транспортное строительство, 2016. – № 7. – С. 8 – 11.
426. Немтин Г. Н., Зиновьева Е. Е., Лопатина И. И. Водохозяйственный комплекс Пермского края: проблемы и перспективы развития / Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : труды международной научно-практической конференции. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 2009. – Т. 1. – С. 24 – 29.
427. Немчинов М. В. Экологические проблемы строительства и эксплуатации автомобильных дорог. – Москва–Иркутск, 1997. – Часть I. – 232 с., Часть II. – 299 с.
428. Нигматуллин Р. И. Необходимые условия модернизации экономики России для выхода из кризиса / Актуальные проблемы инновационного развития. Выбор инновационных приоритетов : материалы заседания Межведомственной рабочей группы в

рамках Международного энергетического форума, Москва, 17 декабря 2009 г. – Тверской ИнноЦентр, 2010. – Информационный бюллетень № 12. – С. 37 – 45.

429. Нигматуллин Б. И. Состояние и проблемы развития электроэнергетики России / Актуальные проблемы инновационного развития. Выбор инновационных приоритетов : материалы заседания Межведомственной рабочей группы в рамках Международного энергетического форума, Москва, 17 декабря 2009 г. – Тверской ИнноЦентр, 2010. – Информационный бюллетень № 12. – С. 72 – 76.

430. Нигметов Г. М., Филатов Ю. А. Основные тенденции и характеристики чрезвычайных ситуаций, вызванных наводнениями в XIX, XX веках и начале XXI века / Безопасность энергетических сооружений. – Москва : НИИЭС, 2003. – Вып. 11. – С. 75 – 90.

431. Низконапорные гидроузлы криолитозоны Якутии: рекомендации по проектированию и строительству / Авторы-составители Р. В. Чжан, Г. И. Кузнецов, В. В. Шепелев, Г. П. Кузьмин, Д. М. Шестернев, Г. Ф. Биянов, Б. М. Козьмин, О. И. Алексеева, С. А. Великин, Г. В. Мелкозеров; отв. ред. Ю. М. Гончаров. – Якутск : Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова МО РАН, 2012. – 124 с.

432. Низконапорный гидроузел на реке Волге выше г. Нижнего Новгорода, совмещенный с мостовым переходом на автодорожном маршруте Нижний Новгород – Киров в Нижегородской области / Обоснование инвестиций. – Санкт-Петербург : ОАО «Трансмост», 2004.

433. Никаноров А. М. Государственный мониторинг загрязнения поверхностных вод суши, перспективы развития / Метеорология и гидрология, 2010. – № 1. – С. 33 – 42.

434. Никаноров А. М., Минина Л. И., Лобченко Е. Е., Ничипорова И. П. Динамика качества поверхностных вод юга России / Водное хозяйство России, 2013. – № 6. – С. 57 – 72.

435. Никитин И. Кошмар альтернативной энергетики / Тайны XX века, 2018. – № 8. – С. 3.

436. Новгородов П. Г., Александров С. П. Река Лена как источник питьевого водоснабжения населения Якутии / Труды конгресса Международного научно-промышленного форума «Великие реки–2008». – Нижний Новгород : ННГАСУ, ВЗАО «Нижегородская ярмарка», 2009. – С. 109 – 111.

437. Новоженин В. Д., Троицкий А. В. Оценка воздействия на окружающую среду и мероприятия по подготовке зон водохранилищ в современных проектах гидроэлектростанций / Гидротехническое строительство, 2001. – № 12.

438. Новый энциклопедический словарь. – Москва : Большая Российская энциклопедия, 2007. – 1456 с.

439. Носаль А. П., Шубарина А. С., Сокольников И. И. Повышение безопасности водоснабжения крупных населенных пунктов в период маловодья (на примере города Екатеринбурга) / Водное хозяйство России, 2011. – № 6. – С. 33 – 46.

440. Носкова А. Е. 185 лет гидрометеорологической службе России / Приволжский научный журнал, 2019. – № 4. – С. 208 – 216.

441. Обоснование инвестиций завершения строительства Чебоксарского гидроузла / 0272-ОИ. Этап 2. – Самара : ОАО «Инженерный центр энергетики Поволжья», 2006.

442. Об охране вечной мерзлоты в Республике Саха (Якутия) / Закон Республики Саха (Якутия) № 2006-3, № 1571-V от 22.05.2018.

443. Общее мерзлотоведение (геокриология) / Под ред. В. А. Кудрявцева. – Москва : МГУ, 1978. – 464 с.

444. Овдиенко Н. А., Яковлев Н. Н. Экологические и социально-экономические вопросы при проектировании Туруханской ГЭС / Исследование влияния сооружений гидроузлов на ледовый и термический режимы рек и окружающую среду: материалы

конференций и совещаний по гидротехнике. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1991. – С. 10 – 13.

445. Овчинников Г. И., Павлов С. Х., Тржцинский Ю. Б. Изменение геологической среды в зонах влияния ангаро-енисейских водохранилищ. – Новосибирск : Наука, 1999. – 253 с.

446. О Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2035 года / Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2017. № 1209-р.

447. Огнев А. К., Ивасенко С. П. Проблемы рационального использования водных ресурсов озера Байкал / Гидротехническое строительство, 2006. – № 12. – С. 7 – 10.

448. Одум Ю. Экология – Москва : Мир, 1986. – Т. 1. – 328 с., Т. 2. – 376 с.

449. Ожегов С. И. Словарь русского языка / Издание 18-е, стереотипное. – Москва : Русский язык, 1986. – 797 с.

450. Оловин Б. А., Колмаков Б. И., Федоряк В. И. Техногенные изменения природных условий в системе гидроузлов – среда на Крайнем Севере / Влияние ГЭС на окружающую среду в условиях Крайнего Севера : сборник научных трудов. – Якутск : ЯФ СО АН СССР, 1987. – С. 42 – 57.

451. Оникиенко Т. С. Водный баланс Хантайского водохранилища / Энергетическое строительство, 1985. – № 12. – С. 37 – 40.

452. Оникиенко Т. С. Динамика оттаивания многолетнемерзлых пород в чаше Хантайского водохранилища / Энергетическое строительство, 1985. – № 12. – С. 41 – 45.

453. Оникиенко Т. С. Динамика процесса термоабразии в прибрежной зоне Хантайского водохранилища / Энергетическое строительство, 1982. – № 27. – С. 65 – 68.

454. Оникиенко Т. С. Об изменении геокриологических условий чаши водохранилища / Проблемы инженерного мерзлотоведения в гидротехническом строительстве. – Москва : Наука, 1986. – С. 83 – 88.

455. Оникиенко Т. С. Особенности инженерно-геокриологических условий районов эксплуатируемых и проектируемых ГЭС на Крайнем Севере / Проблемы инженерного мерзлотоведения в энергетическом строительстве : сборник трудов. – Москва : МИСИ им. В. В. Куйбышева, 1987. – С. 75 – 85.

456. Оникиенко Т. С. Уточнение связи объемов и уровней водохранилища Усть-Хантайской ГЭС / Гидротехническое строительство, 1995. – № 3. – С. 19 – 23.

457. Определение границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос Ивановского водохранилища / Отчет о НИР № И-11-24; НПЦ «Кадастр». – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2011.

458. Орлов А. В., Февралев А. В. Экстремальные уровни реки Волги на участке Городец – Нижний Новгород / Генеральные доклады, тезисы докладов научного конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки–2003». – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2003. – С. 72 – 74.

459. Основные положения правил использования водных ресурсов Новосибирского водохранилища на р. Оби. – Москва : Минмелиоводхоз РСФСР, 1969.

460. Основные положения правил использования водных ресурсов Цимлянского водохранилища на р. Дон / Госземводхоз РСФСР. – Москва : Управление по регулированию и использованию водных ресурсов, 1965. – 28 с.

461. Основные положения Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов р. Кубани. – Москва : ЗАО ПО Совинтервод, 2005. – 427 с.

462. Основные правила использования водных ресурсов Рыбинского и Горьковского водохранилищ на р. Волге. – Москва : АО Институт Гидропроект, 2001. – 39 с.

463. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / Под ред. В. А. Кудрявцева. – Москва : МГУ, 1974. – 432 с.

464. Оценка последствий подъема уровня Чебоксарского водохранилища до отметки 68,0 м для г. Нижнего Новгорода и Нижегородской области / Отчет об экспертно-исследовательской работе. Общая пояснительная записка. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2007. – 140 с.
465. Остроумов С. А. Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов. – Москва : МаксПРЕСС, 2008. – 200 с.
466. Павлов А. В., Малкова Г. В. Современные изменения климата на севере России. Альбом мелкомасштабных карт. – Новосибирск : ГЕО, 2005. – 54 с.
467. Павлов А. С. История путевых и гидротехнических работ в Ленском бассейне. – Якутск, 2011. – 154 с.
468. Павлов А. С. Славная в свете и великая река Лена. – Якутск : Медиа-холдинг «Якутия», 2010. – 232 с.
469. Палкин С. В., Палкин С. С., Рыбникова Л. С. К вопросу о возможности полного водообеспечения города Екатеринбурга подземными водами / Водное хозяйство России, 2011. – № 5. – С. 75 – 88.
470. Панфилов В. С. Гидротермическая теория землетрясений – основа прогноза, системы оповещения и активной борьбы с ними / Гидротехническое строительство, 1990. – № 2. – С. 58 – 61.
471. Панфилов В. С. Техногенная сейсмичность в гидротехническом строительстве / Гидротехническое строительство, 2008. – № 4. – С. 60 – 64.
472. Папков Б. В. Становление и развитие электротехники и электроэнергетики: краткая хроника событий и фактов. – Нижний Новгород : Кварц, 2011. – 216 с.
473. Парабучев И. А. Принципы разработки новой нормативной базы инженерных изысканий для гидротехнического строительства / Гидротехническое строительство, 2009. – № 4. – С. 5 – 10.
474. Паремуд С. П., Ваксова Е. И., Николаева Л. А., Файн И. И. Современное состояние и прогноз развития гидроэнергетики России и СНГ / Гидротехническое строительство, 2010. – № 9. – С. 10 – 18.
475. Паринов И. И., Мальнев А. В. Расчеты последствий гидродинамических аварий на гидроузлах / Гидротехническое строительство, 2010. – № 8. – С. 4 – 9.
476. Пергаменщик Б. К. Проблемы и перспективы строительства АЭС / Вестник МГСУ, 2014. – № 2. – С. 140 – 152.
477. Перепелица Д. И., Лепихин А. П., Лепешкин С. А., Тиунов А. А. Оценка деформаций русла реки Камы и разработка рекомендаций по регламентации добычи нерудных строительных материалов в пределах нижнего бьефа Камской ГЭС / Водное хозяйство России, 2018. – № 6. – С. 39 – 48.
478. Перепелица Д. И., Ляхин Ю. С. Опыт использования системы водохранилищ для срезки пиков половодья (на примере Юмагузинского и Нугушского гидроузлов) / Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : труды международной научно-практической конференции – Пермь : Пермский гос. университет, 2009. – Т. 1. – С.115 – 120.
479. Перечень водохранилищ федерального подчинения / Утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации № 197 от 14.02.2009 (с изменениями от 10.09.2020 г.).
480. Периодические издания средств массовой информации / АиФ – Аргументы и факты : еженедельник [aif.ru]; АН – Аргументы недели : еженедельник [argumenti.ru]; КП – Комсомольская правда : газета [kp.ru]; НВ – Наша версия : еженедельник [versia.ru]; РФ – Российская Федерация сегодня : общественно-политический журнал Федерального Собрания – Парламента РФ [Russia-today.ru]; СГ – Союзное государство : журнал

Федерального Собрания Союзного государства России и Белоруссии [soyuzgos.ru]; ЛС – Ленинская смена : газета [lensmena.ru].

481. Пехтин В. А. Итоги работы 23-го Конгресса и 77-го Ежегодного собрания Международной комиссии по большим плотинам (ICOLD) / Гидротехническое строительство, 2009. – № 9. – С. 56 – 59.

482. Печеркин И. А. Гидродинамика побережий Камских водохранилищ. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 1969. – 307 с.

483. Печеркин И. А., Печеркин А. И., Каченов В. Н. Теоретические основы прогнозирования экзогенных геологических процессов на берегах водохранилищ. – Пермь : ПГУ, 1980. – 260 с.

484. Пивоваров Ю. П., Михалев В. П. Радиационная экология. – Москва : Академия, 2004. – 240 с.

485. Пикунов С. В. Экологическое состояние Обь-Иртышского бассейна в границах Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / Труды конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки–2011». – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2011. – С. 4 – 10.

486. Плотины и развитие: новая методическая основа для принятия решений / Отчет Всемирной комиссии по плотинам (2000 г.). – Москва : Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2009. – 200 с.

487. Погодин И., Кочкарев П. Таймырский странник / Охота и рыбалка XXI век, 2010. – № 10. – С. 66 – 76.

488. Положение о декларировании безопасности гидротехнических сооружений / Утверждено Постановлением Правительства РФ № 1303 от 06.11.1998 г. (в редакции от 09.11.2016 г.).

489. Положение о разработке, согласовании и утверждении правил использования водохранилищ, в том числе типовых правил использования водохранилищ / Утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации № 349 от 22.04.2009.

490. Пономарев В. Д., Сорокин В. А., Федосеев Ю. Г. Определение осадки при оттаивании вечномерзлого грунта / Основания, фундаменты и механика грунтов, 1979. – № 6. – С. 17 – 19.

491. Попов А. Н. К вопросу о ликвидации малых и средних водохранилищ / Водное хозяйство России, 2010. – № 3. – С. 20 – 28.

492. Пособие по выбору приоритетных действий, направленных на реабилитацию водоемов (озера, водохранилища). – Екатеринбург : РосНИИВХ, 2017. – 73 с.

493. Постоев В. С., Пятакин В. И., Угрюмов Б. И. Защита от гибели гидробионтов в проточных каналах гидромашин. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургская лесотехническая академия, 1999. – 115 с.

494. Порфирьев Б. Н., Катцов В. М., Рогинко С. А. Изменение климата и международная безопасность. – Москва : ДАРТ, 2011. – 209 с.

495. Правила использования водных ресурсов Енисейского каскада ГЭС (Саяно-Шушенская, Майнская, Красноярская). – Санкт-Петербург : Ленгидропроект, 1996.

496. Правила использования водных ресурсов Камского и Воткинского водохранилищ на р. Кама. – Санкт-Петербург : ЗАО «Гидротех», 2004. – 82 с.

497. Правила использования водных ресурсов Краснодарского водохранилища. – Краснодар : Кубаньводпроект, 2008. – 158 с.

498. Правила отнесения водных объектов к категориям водных объектов для целей установления технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием Централизованных систем водоотведения поселений или городских округов / Утверждены Постановлением Правительства РФ № 1379 от 26.10.2019. – 9 с.

499. Правила установления на местности границ водоохранных зон и границ прибрежных защитных полос / Утверждены Постановлением Правительства РФ № 17 от 10.01.2009.
500. Природные опасности России. Экзогенные геологические процессы / Под ред. В. М. Кутепова, А. И. Шеко. – Москва : КРУК, 2002. – 348 с.
501. Природоохранные мероприятия / Информационный бюллетень № 4. – Нижний Новгород : Дирекция ФЦП «Возрождение Волги», 2002. – 62 с.
502. Прогноз влияния равнинных водохранилищ на подпор, ресурсы и запасы подземных вод / Составители Гармонов И. В., Колотов И. Б., Крашин И. И.; ВСЕГИН-ГЕО. – Москва: Недра, 1984. – 157 с.
503. Проектные и современные параметры Цимлянского водохранилища / Письмо Донского БВУ в ННГАСУ № 01-14/780 от 01.03.2013. – Ростов-на-Дону, 2013. – 5 с.
504. Прудовский А. М. Образование прорана при прорыве земляной плотины / Безопасность энергетических сооружений. – Москва : НИИЭС, 1998. – Вып. 2–3. – С. 67 – 79.
505. Прыткова М. Я. Географические закономерности осадконакопления в малых водохранилищах. – Ленинград : Наука, 1986 – 86 с.
506. Прыткова М. Я. Малые водохранилища лесостепной и степной зон СССР. Осадконакопление. – Ленинград : Наука, 1979. – 172 с.
507. Прыткова М. Я. Осадконакопление в малых водохранилищах. Балансовые исследования. – Ленинград : Наука, 1981. – 152 с.
508. Пряжинская В. Г., Левит-Гуревич Л. К., Хранович И. Л., Ярошевский Д. М. Проблемы при составлении схем комплексного использования и охраны водных объектов / Водное хозяйство России, 2010. – № 6. – С. 4 – 16.
509. Пулявский Г. М., Овчинникова Г. Н., Лещиков Ф. Н., Пенигин А. В. Природные условия и особенности формирования берегов ангарских водохранилищ / Изучение берегов водохранилищ Сибири. – Новосибирск : Наука, 1977. – С. 79 – 96.
510. Пышкин Б. А. Динамика берегов водохранилищ. – Киев : Наукова думка, 1973. – 413 с.
511. Рагозин А. Л., Бурова В. Н., Егоров А. Я. Способ локального экспресс-прогноза переработки берегов водохранилищ / Патент РФ 2131958 ПНИИИС : опубликован 20.06.1999; прекратил действие 18.04.2011. – 15 с.
512. Развитие гидроэнергетики и охрана окружающей среды / Гидротехническое строительство, 1988. – № 12. – С. 1 – 25.
513. Разумов С. О. Моделирование термоабразии льдистых берегов арктических морей в стационарных климатических условиях / Криосфера Земли, 2001. – Т. V. – № 4 – С. 50 – 58.
514. Разумова Н. В., Перекрест В. В. Подверженность территории Дальневосточного федерального округа России опасным природным процессам / Геориск, 2009. – № 3. – С. 24 – 30.
515. Рассказов Л. Н., Орехов В. Г., Анискин Н. А., Малаханов В. В., Бестужева А. С. Саинов М. П., Солдатов П. В., Толстиков В. В. Гидротехнические сооружения. – Москва : АСВ, 2011. – Часть I. – 584 с. – Часть 2. – 536 с.
516. Рахматуллаев Н. Ю., Скрыльников В. А. Расчет объемов заиления водохранилищ с помощью водобалансовых кривых [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cawater-info.net/library/rus/almaty2004/skrylnikov.pdf>, 2004. – 5 с.
517. Рахматуллаев Ш. А., Бакиев М. Р., Мараш А., Ле Костюмер Ф. Использование геостатического анализа при определении объема заиления Акдарьинского водохранилища / Гидротехническое строительство, 2008. – № 6. – С. 32 – 35.

518. Рачинская А., Норкус Ф. Заиление водохранилищ в Литовской ССР / Заиление водохранилищ и борьба с ним. – Москва : Колос, 1970. – С. 293 – 302.
519. Результаты наблюдений и прогнозов перестроения абразионных берегов озерной части Горьковского водохранилища / Отчет о НИР; рук. И. С. Соболев. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2013. – 20 с.
520. Реки и озера мира: энциклопедия / Ред. коллегия В. И. Данилов-Данильян [и др.]; Ин-т водных проблем РАН, Ин-т озероведения РАН, Географический фак-т МГУ. – Москва : Энциклопедия, 2012. – 924 с.
521. Рекомендации по оценке и прогнозу размыва берегов равнинных рек и водохранилищ для строительства / ПНИИИС. – Москва : Стройиздат, 1987. – 72 с.
522. Рекомендации по расчету длины полыньи в нижних бьефах ГЭС / П 28–86 ВНИИГ. – Ленинград : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1986. – 40 с.
523. Рекомендации по термическому расчету водохранилищ / П 78–79 ВНИИГ. – Ленинград : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1979. – 74 с.
524. Ривин Г. С., Розинкина И. А. Новые высокодетальные технологии Гидрометцентра России для численного прогноза элементов погоды / Труды научного конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки–2019». – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2019. – Т. 1. – С. 244 – 247.
525. Родионов Г. А., Подоплелов Л. С. Волжско-Камский каскад гидроэлектростанций – основа комплексного использования водных ресурсов Поволжья. – Саратов : Саратовский ун-т, 1983. – 106 с.
526. Розенберг Г. С., Краснощеков Г. П. Волжский бассейн: экологическая ситуация и пути рационального природопользования. – Тольятти : Институт экологии Волжского бассейна РАН, 1996. – 249 с.
527. Розов А. Л. Действие ядерного взрыва на гидроузел и последствия его разрушения / Физика ядерного взрыва. Т. 2. Действие взрыва. – Москва : Наука; Физматлит, 1997. – С. 67 – 78.
528. Розовский Л. Б. Вопросы теории геологического подобия. Альбом аналогов для прогноза переработки лессовых берегов водохранилищ / Труды Одесского гос. ун-та. – Одесса. – 1962. – Т. 152. – Вып. 11. – 108 с.
529. Российский речной регистр. – Минтранс РФ, год основания 1913.
530. Россинский К. И. Термический режим водохранилищ. – Москва : Наука, 1975. – 168 с.
531. Россия. Водно-ресурсный потенциал / Под научной редакцией А. М. Черняева, РосНИИВХ. – Екатеринбург : Аэрокосмология, 1998. – 338 с.
532. Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях. – Москва: Гидрометеиздат, 1975. – 239 с.
533. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1986. – 85 с.
534. Румянцев А. М. Регулирование использования водных ресурсов водохранилищ. – Москва–Ленинград : Энергия, 1966. – 116 с.
535. Румянцев В. А. Готова ли Россия к выходу на мировой рынок пресной воды? / Водное хозяйство России, 2009. – № 2. – С. 4 – 13.
536. Румянцев И. С., Атабиев И. Ж., Кромер Р. К., Румянцев А. И. Научные основы совершенствования методов создания и эксплуатации водохранилищ речных гидроузлов. – Москва : МГУП, 2011. – 456 с.
537. Румянцев И. С., Кромер Р. Обводнение отработанных карьеров, их природо-приближенное обустройство и эксплуатация. – Москва : МГУП, 2008. – 206 с.
538. Румянцев И. С., Соболев И. С. Актуализация и решение научно-технической проблемы по оценке и прогнозу изменения морфометрических параметров равнинных

водохранилищ России в период эксплуатации / Приволжский научный журнал, 2014. – № 2. – С. 75 – 83.

539. Румянцев И. С., Соболев И. С., Соболев С. В. Изменение объема равнинных водохранилищ на эксплуатационной фазе жизненного цикла / Гидротехническое строительство, 2014. – № 3. – С. 2 – 9.

540. Румянцев И. С. Страницы истории российской гидротехники. – Москва : МГУП, 1999. – 211 с.

541. Румянцев И. С., Чалов Р. С., Кромер Р., Нестманн Ф. Природоприближенное восстановление и эксплуатация водных объектов. – Москва : МГУП, 2001. – 285 с.

542. Рябчун В. К. Динамика мерзлых берегов арктических водоемов / Труды IV совещания-семинара по обмену опытом строительства в суровых климатических условиях. – Воркута, 1966. – Т. X. – С. 40 – 57.

543. Саваренский Ф. П. К вопросу о переработке береговых склонов реки при ее подпоре / Гидрогеология и инженерная геология. – Москва–Ленинград : Госгеолиздат, 1935. – С. 82 – 91.

544. Савич А. И., Бугаевский А. Г., Стром А. Л. Организация сейсмологических наблюдений на гидроузлах различного уровня ответственности / Гидротехническое строительство, 2014. – № 12. – С. 17 – 24.

545. Савкин В. М. Водоохранилища Сибири, водно-экологические и водно-хозяйственные последствия их создания / Сибирский экологический журнал, 2000. – № 2. – С. 109 – 121.

546. Савкин В. М. Перспективы создания новых водохранилищ ГЭС в Сибири / Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : труды международной научно-практической конференции. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 2009. – Т. I. – С. 125 – 130.

547. Савкин В. М. Современный гидрологический режим Новосибирского водохранилища в сравнении с многолетним / Гидрология и гидроэкология Западного Урала : сборник научных трудов. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 2006. – С. 3 – 12.

548. Савкин В. М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири (при крупномасштабных водохозяйственных мероприятиях). – Новосибирск : Наука, 2010. – 152 с.

549. Саган К. Миллиарды и миллиарды. Размышления о жизни и смерти на рубеже тысячелетий / Перевод с англ. – Москва : Альпина нон-фикшн, 2018. – 296 с.

550. Салов Г. В. О негативных процессах в руслах рек в результате выборки руслообразующего аллювия / Водное хозяйство России, 2010. – № 2. – С. 57 – 67.

551. Сальва А. М. Магистральный водовод р. Лена – озеро-водохранилище Туора Кюель – р. Татта в центральной Якутии / Гидротехническое строительство, 2016. – № 3. – С. 23 – 26.

552. Самара – столица губернии. – Тольятти : Ника, 2009. – 240 с.

553. СанПин 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод.

554. СанПиН 3907-85. Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ.

555. Саров: прошлое, настоящее / Составитель А. А. Арапов. – Саранск : Красный октябрь, 1999. – 152 с.

556. Саруханов Г. Л. Переброска стока северных рек / Гидроэнергетика и комплексное гидротехническое строительство за 50 лет Советской власти : труды Гидропроекта. Сборник шестнадцатый. – Москва : Энергия, 1969. – С. 443 – 456.

557. Сарычев Г. А. Путешествие флота капитана Сарычева по северо-восточной части Сибири, Ледовитому морю и Восточному океану. – Москва : Э, 2016. – 448 с.

558. Сатановский Е. Я. Если б я был русский царь. Советы Президенту. – Москва: Э, 2017. – 448 с.
559. Сватеев Ю. И. Районирование зоны вечной мерзлоты по типам и технологии возведения грунтовых плотин / Энергетическое строительство, 1984. – № 11. – С. 30 – 32.
560. Селезнева А. В., Рахуба А. В., Пелагейкина Я. Г., Селезнев В. А., Казаков В. И. Разработка СКИОВО по бассейнам рек Большой и Малый Узень (проблемы и пути решения) / Водное хозяйство России, 2009. – № 3. – С. 79 – 94.
561. Сидоров Н. П. Математическое моделирование гидродинамической аварии в каскаде грунтовых плотин / Приволжский научный журнал, 2008. – № 4. – С. 87 – 93.
562. Сидоров Н. П. Расчет на одномерной модели речной сети зон затопления по максимальным уровням водпостов из опыта СКИОВО р. Сура / Водное хозяйство России, 2010. – № 3. – С. 42 – 56.
563. Сидоров Н. П., Соболев И. С., Горохов Е. Н. Моделирование гидродинамики участков рек и водохранилищ при антропогенном вмешательстве / Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : труды международной научно-практической конференции 26–28 мая 2009 г. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 2009. – Том I. – С. 131 – 136.
564. Сидоров Н. П., Соболев И. С., Горохов Е. Н. Моделирование изменения гидродинамических условий рек Оки и Волги на участках антропогенного вмешательства / Исследование актуальных геоэкологических проблем Приволжья : сборник научных трудов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2009. – С. 275 – 287.
565. Сидоров Н. П. Численные гидродинамические модели на высотных растрах географических информационных систем / Гидротехническое строительство, 2011. – № 5. – С. 45 – 53.
566. Синельник А. К. История градостроительства и заселения Самарского края. – Самара : Агни, 2003. – 228 с.
567. Синюкович В. Н. Водный баланс озера Байкал в условиях зарегулированного режима / Водное хозяйство России, 2011. – № 1. – С. 12 – 22.
568. Слива И. В. История гидроэнергетики России / ОАО «РусГидро». – Тверь : Тверская типография, 2014. – 304 с.
569. Сметанин В. И. Восстановление и очистка водных объектов. – Москва : Колос, 2003. – 159 с.
570. Смирнова Т. Г., Правдивец Ю. П., Смирнов Г. Н. Берегозащитные сооружения. – Москва : АСВ, 2002. – 303 с.
571. Соболев И. С., Ежков А. Н. Гидрографические исследования водохранилищ города Сарова / Труды конгресса Международного научно-промышленного форума «Великие реки–2007». – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2007. – С. 63 – 64.
572. Соболев И. С. Закономерности эволюции абразионных берегов равнинных водохранилищ / Приволжский научный журнал, 2012. – № 4. – С. 149 – 154.
573. Соболев И. С. Закономерности эволюции термоабразионных берегов водохранилищ криолитозоны / Приволжский научный журнал, 2013. – № 1. – С. 123 – 130.
574. Соболев И. С., Костров А. В., Хохлов Д. Н., Красильников В. М., Королев Н. Ю. Применение аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата для мониторинговых исследований береговой зоны водохранилища / Приволжский научный журнал, 2016. – № 4. – С. 75 – 79.
575. Соболев И. С., Красильников В. М., Хохлов Д. Н. Современные методы съемки подводного рельефа водохранилищ / Приволжский научный журнал, 2010. – № 2. – С. 34 – 40.

576. Соболев И. С. Основы инженерной оценки переформирования берегов, ложа и изменения морфометрических параметров равнинных водохранилищ в период эксплуатации / Автореферат дисс. д-ра техн. наук. – Самара, 2015. – 47 с.
577. Соболев И. С. Особенности долголетней динамики берегов малых водохранилищ на европейской территории России / Приволжский научный журнал, 2013. – № 2. – С. 65 – 67.
578. Соболев И. С., Соболев С. В., Крупинов А. С. Об измерении длины береговой линии водохранилищ / Водное хозяйство России, 2014. – № 6. – С. 30 – 43.
579. Соболев И. С., Соболев С. В., Хохлов Д. Н. Развитие береговой зоны Чебоксарского водохранилища / Известия вузов. Строительство, 2018. – № 12. – С. 121 – 131.
580. Соболев И. С., Хохлов Д. Н. Автоматизация инженерных расчетов берегоформирования на водохранилищах криолитозоны / Проблемы инженерного мерзлотоведения : материалы международного симпозиума 3–7 сентября 2011 г., г. Мирный. – Якутск : ИМ СО РАН, 2011. – С.115 – 120.
581. Соболев И. С., Хохлов Д. Н. Аналитическое описание термоденудации берегов арктических водоемов / Приволжский научный журнал, 2012. – № 1. – С. 46 – 49.
582. Соболев И. С., Хохлов Д. Н., Красильников В. М., Соболев С. В. Оценка технического состояния грунтовых сооружений инженерной защиты Костромской низины для продления срока эксплуатации / Приволжский научный журнал, 2017. – № 4. – С. 87 – 93.
583. Соболев И. С., Хохлов Д. Н. Модификация метода Е. Г. Качугина для вариантного компьютерного прогноза переформирования абразионных берегов эксплуатируемых равнинных водохранилищ / Вестник МГСУ, 2012. – № 10. – С. 281 – 288.
584. Соболев И. С., Хохлов Д. Н. Программа для инженерных прогнозов переформирования берегов водохранилищ «Берега» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013612345. – Москва, 2013.
585. Соболев И. С., Хохлов Д. Н. Развитие аналитического описания переформирования мерзлых берегов водохранилищ в криолитозоне / Приволжский научный журнал, 2010. – № 1. – С. 72 – 80.
586. Соболев И. С., Хохлов Д. Н. Развитие и автоматизация энергетических методов расчетов переформирования абразионных берегов водохранилищ / Труды конгресса Международного научно-промышленного форума «Великие реки–2016». – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2016. – С. 100 – 104.
587. Соболев С. В. Водоохранилища в области вечной мерзлоты. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2007. – 432 с.
588. Соболев С. В., Горохов Е. Н., Соболев И. С., Ежков А. Н. Температурные расчеты сооружений и водохранилищ гидроузлов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2008. – 143 с.
589. Соболев С. В., Горохов Е. Н., Соболев И. С., Ежков А. Н., Февралев А. В., Втюрин С. П. Реконструкция гидроузлов на территории города Сарова / Экология урбанизированных территорий, 2006. – № 1. – С. 57 – 61.
590. Соболев С. В., Иконников Л. Б., Соболев И. С., Хохлов Д. Н. Возобновление долгосрочных инструментальных наблюдений за переформированием абразионных берегов Горьковского водохранилища / Приволжский научный журнал, 2010. – № 2. – С. 40 – 47.
591. Соболев С. В., Соболев И. С., Иконников Л. Б., Хохлов Д. Н. Анализ переформирования абразионных берегов Горьковского водохранилища за период эксплуатации 1957–2010 гг. с прогнозом на следующее десятилетие / Гидротехническое строительство, 2011. – №12. – С. 23 – 30.

592. Соболев С. В., Соболев И. С., Потемин П. В. Натурные исследования занесения и заиления малых водохранилищ в бассейне Верхней Волги / Приволжский научный журнал, 2008. – № 4. – С. 62 – 79.
593. Соболев С. В., Соболев И. С., Потемин П. В. Формирование чаш малых водохранилищ в бассейне Верхней Волги / Исследование актуальных геоэкологических проблем Приволжья : сборник научных трудов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2009. – С. 216 – 274.
594. Соболев С. В., Сидоров Н. П., Горохов Е. Н., Соболев И. С. Прогноз зон затопления в долине р. Волги половодьями различной вероятности превышения по материалам проекта «Волга-Рейн» / Труды конгресса Международного научно-промышленного форума «Великие реки–2006». – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2006. – С. 69 – 73.
595. Соболев С. В. Термоабразия берега водохранилища при волнении / Известия вузов. Строительство, 1992. – № 1. – С. 68 – 72.
596. Соболев С. В., Февралев А. В. Безопасность гидротехнических объектов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2018. – 204 с.
597. Соболев С. В., Февралев А. В., Грачева О. А. Рекреационное использование малых водохранилищ. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2011. – 247 с.
598. Соболев С. В., Февралев А. В. Использование водной энергии малых рек. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2009. – 284 с.
599. Соболев С. В., Февралев А. В. Прогноз хронологических изменений отдачи водохранилища в условиях вечной мерзлоты / Известия вузов. Строительство, 1996. – № 2. – С. 79 – 82.
600. Соболев С. В., Февралев А. В., Соболев И. С., Сидоров Н. П., Красильников В. М. Разработка схемы комплексного использования и охраны водных объектов бассейна р. Суры / Приволжский научный журнал, 2013. – № 4. – С. 124 – 129.
601. Соболев С. В. Фрактальные параметры водных объектов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2019. – 232 с.
602. Соболев С. В., Чжан Р. В. Фрактальные параметры водохранилищ ГЭС криолитозоны / Гидротехническое строительство, 2020. – № 9. – С. 55 – 59.
603. Советский энциклопедический словарь. – Москва : Советская энциклопедия, 1982. – 1600 с.
604. Соловьев А. Н., Васильев А. В., Боярский В. М., Мусаев А. Ш. Канкунская ГЭС / Гидротехническое строительство, 2012. – № 8. – С. 19 – 22.
605. Состояние окружающей среды бассейна реки Волги (1992–2005 гг.). – Нижний Новгород : ФГУ Дирекция «Возрождение Волги», 2006. – 356 с.
606. Состояние окружающей среды и природных ресурсов Нижегородской области в 2009 году / Под общ. ред. Ю. Н. Гагарина, Т. А. Косариковой. – Нижний Новгород : Министерство экологии и природных ресурсов Нижегородской области, 2010. – 290 с.
607. Состояние радиационной безопасности на атомных станциях России и в районах их расположения. – Москва : ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2009. – 124 с.
608. Социально-экономическое обоснование сооружения Амгуэмской ГЭС. – Ленинград : Ленгидропроект, 1988.
609. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения / Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*.
610. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения / Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003.
611. СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений / Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*.
612. СП 104.13330.2016. Инженерная защита территории от затопления и подтопления / Актуализированная редакция СНиП 2.06.15-85.

613. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик / Введен Госстроем России с 01.01.2004 взамен СНиП 2.01.14-83.
614. СП 23.13330.2011. Основания гидротехнических сооружений / Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85.
615. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений / Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.
616. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах / Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88.
617. СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов / Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84*.
618. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах / Актуализированная редакция СНиП II-7-81*.
619. Справочник водохранилищ СССР. Книги I и II. Водоохранилища РСФСР. – Москва : Союзводпроект, 1988. – 323 с.
620. Справочник по гидравлическим расчетам / Под ред. П. Г. Киселева. – Москва : Энергия, 1972. – 312 с.
621. Стариков С. В. Великая река России на рубеже XIX–XX веков: Волга от Нижнего Новгорода до Казани на старинных открытках. – Йошкар-Ола : Легенда, 2009. – 368 с.
622. СТО ГГИ 52.08.31-2012. Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров.
623. СТО ГГИ 52.08.40-2017. Определение морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов с использованием технологии географических информационных систем по цифровым картам Российской Федерации и спутниковым снимкам.
624. СТО 70238424.27.140.032-2009. Гидроэлектростанции в зонах с высокой сейсмической активностью. Геодинамический мониторинг сооружений. Нормы и требования.
625. Столповицкий К. С., Чуплыгин Г. Н., Митрошин С. Г. Роль российского внутреннего водного транспорта в системе международных транспортных коридоров / Речной транспорт (XXI), 2016. – № 2. – С. 32 – 37.
626. Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2015 года / Утверждена приказом Федерального агентства по туризму № 51 от 06.05.2008 г.
627. Строительство Нижегородского низконапорного гидроузла / Проектная документация. – Самара : ООО «Техтрансстрой», 2015.
628. Строители России XX век. Электроэнергетика / Пред. ред. совета О. И. Лобов, сопред. А. И. Вольский, А. Б. Чубайс, отв. ред. О. Н. Оробей, Т. В. Шавина. – Москва : Мастер, 2003. – 1166 с.
629. Сумгин М.И., Качурин С. Л., Толстихин Н. И., Тумель В. Ф. Общее мерзлотоведение. – Москва – Ленинград, 1940. – 340 с.
630. Суханов Г. К. Братская ГЭС имени 50-летия Великого Октября / Гидроэнергетика и комплексное гидротехническое строительство за 50 лет Советской власти : труды Гидропроекта. Сборник шестнадцатый. – Москва : Энергия, 1969. – С. 459 – 482.
631. Сушков Ю. С. Транспортная инфраструктура стран центральной Европы как ориентир для прогнозирования развития транспорта в регионах России / Academia. Архитектура и строительство, 2011. – № 2. – С. 85 – 90.
632. Тарасов Н. М., Антонов В. Н., Давыдов С. А. Наводнения в бассейнах рек Северного Кавказа в 2002 году / Безопасность энергетических сооружений. – Москва : НИИЭС, 2003. – Вып. 11. – С. 7 – 14.

633. Таратунин А. А. Наводнения на территории Российской Федерации / Под ред. Н. И. Коронкевича. – Екатеринбург : РосНИИВХ, 2008. – 432 с.
634. Телегин А. И., Чуплыгин Г. Н., Шабров В. Н. ВВТ в национальной транспортной системе / Транспортное дело в России, 2019. – № 2. – С. 52 – 54.
635. Теплофизические свойства горных пород / Бабаев В. В., Будымка В. Ф., Сергеева Т. А. [и др.]. – Москва : Недра, 1987. – 156 с.
636. Тетельмин В. В., Уляшинский В. А. Техногенные воздействия и процессы в скальных основаниях плотин. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 160 с.
637. Типовые правила использования водохранилищ / Утверждены приказом Минприроды России № 330 от 24.08.2010.
638. Тишин М. И. Тепловой режим дна крупного термокарстового озера в Центральной Якутии / Мерзлотные исследования в осваиваемых районах СССР. – Новосибирск : Наука, 1980. – С. 40 – 47.
639. Томирдиаро С. В. Вечная мерзлота и освоение горных стран и низменностей. – Магадан : Книжное издательство, 1972. – 172 с.
640. Томирдиаро С. В. Лессово-ледовая формация Восточной Сибири в позднем плейстоцене и голоцене. – Москва : Наука, 1980. – 184 с.
641. Томирдиаро С. В. Природные процессы и освоение территорий зоны вечной мерзлоты. – Москва : Недра, 1978. – 144 с.
642. Томирдиаро С. В., Рябчун В. К., Голодовкина А. Д. Переработка льдонасыщенных берегов водоемов и водохранилищ на арктических и субарктических равнинах северо-востока СССР / Труды совещания по изучению берегов водохранилищ и вопросов дренажа в условиях Сибири. – Новосибирск : Наука, 1969. – С. 224 – 260.
643. Томирдиаро С. В., Рябчун В. К. Льдонасыщенные берега озер и водохранилищ Анадырской тундры и прогноз их переработки / Озера криолитозоны Сибири. – Новосибирск : Наука, 1974. – С. 53 – 60.
644. Транспортная стратегия России до 2030 года / Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации № 1734-р от 22.11.2008 г. (в редакции 2015 г.).
645. Трёмбовельский Г. Е., Матвеев В. К. Заиление Чир-Юртского водохранилища на р. Сулак / Гидротехническое строительство, 1970. – № 10. – С. 25 – 28.
646. Тулупов А. Смысл ущерба (недостатки трактовок) / Энергетика, экология, экономика, 2006. – № 21. – С. 64 – 71.
647. Турсунов А. А. Аральское море и экологическая обстановка в Средней Азии и Казахстане / Гидротехническое строительство, 1989. – № 6. – С. 15 – 19.
648. Угренинов Г. Н., Кондратьев А. Н. Натурная проверка оправдываемости прогноза деформаций берега водохранилища по методу Н.Е. Кондратьева / Двадцатое межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов : доклады и сообщения. – Ульяновск, 2005. – С. 271 – 272.
649. Уракова Е. А. Проблемы правового регулирования использования береговых полос в Российской Федерации / Труды научного конгресса Международного научно-промышленного форма «Великие реки-2019». – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2019. – Т. 1. – С. 192 – 195.
650. Усачев И. Н., Демиденко Н. А., Моносов Л. М., Моносов М. Л., Лихоманов В. А., Данилов А. И. Ильчук А. Н., Карлин Л. Н. Ледовые исследования по обоснованию проектов приливных электростанций России / Гидротехническое строительство, 2009. – № 7. – С. 22 – 29.
651. Усачев И. Н., Шполянский Ю. Б., Семенов И. В., Историк Б. Л., Соболев Ю. С., Савченко С. Н., Мариничев Н. И. Приливная энергетика России (исторический очерк) / Гидротехническое строительство, 2009. – № 8. – С. 41 – 44.

652. Уточнение морфометрических характеристик водохранилищ водораздельного бьефа канала имени Москвы / Отчет. – Москва : ГОИН, 2009.
653. Фаворский О. Н. Альтернативная энергетика / Актуальные проблемы инновационного развития. Инновационный прорыв в условиях кризиса. Возможные решения : материалы заседания межведомственной рабочей группы в рамках Саммита деловых кругов «Сильная Россия–2009». – Москва : Тверской ИнноЦентр, 2009. – Информационный бюллетень № 10. – С. 81 – 86.
654. Файг О. Зеленые сумерки Земли: проблемы экологии / Тайны XX века, 2020. – № 5. – С. 4 – 5.
655. Февралев А. В., Марков И. С. О влиянии изменения климата на температуру воды водохранилища в криолитозоне / Труды научного конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки–2019». – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2019. – Т. 1. – С. 97 – 98.
656. Федеральная гидрогенирующая компания «ГидроОГК». – Москва : ГидроОГК», 2007. – 288 с.
657. Федеральная целевая программа «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах» / Редакция от 20.06.2019, постановление Правительства РФ № 786.
658. Федеральное агентство водных ресурсов. – Москва : Министерство природных ресурсов РФ, 2006. – 24 с.
659. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 08.03.01 Строительство / Утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 481 от 31.05.2017.
660. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – специалитет по специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений / Утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 483 от 31.05.2017.
661. Федеральный закон РФ «О безопасности гидротехнических сооружений» № 117-ФЗ от 23.06.1997 (редакция от 03.07.2016).
662. Федеральный закон РФ «Об охране окружающей среды» № 713-ФЗ от 10.01.2002.
663. Федеральный закон РФ «Об экологической экспертизе» №294-ФЗ от 02.08.2019.
664. Федеральный закон РФ «О радиационной безопасности населения» № 3-ФЗ от 9.01.1996.
665. Федеральный закон РФ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» № 384-ФЗ от 30.12.2009.
666. Федерер Е. Фракталы / Пер. с англ. – Москва : Мир, 1991. – 254 с.
667. Федорова Е. А. Изменение морфометрических характеристик Новосибирского водохранилища за 50-ти летний период эксплуатации / X ежегодная конференция молодых ученых ИВЭП РАН. – Новосибирск, 2010. – С. 14 – 15.
668. Федорова Е. А. Особенности осадконакопления в котловинах водохранилищ равнинного и предгорного типа на примере Новосибирского и Красноярского водохранилищ / Автореферат дисс... канд. техн. наук. – Геленджик, 2016. – 24 с.
669. Фельдман Г. М. Термокарст и вечная мерзлота. – Новосибирск : Наука, 1984. – 264 с.
670. Ферингер А. Б., Кабанов Н. В. Усть-Среднеканская ГЭС / Гидротехническое строительство, 2012. – № 8. – С. 38 – 40.

671. Филин В. А. Видеоэкология: что для глаза хорошо, а что плохо. – Москва : Видеоэкология, 2006. – 512 с.
672. Филиппова Е. А., Гинсбург С. М., Огнев А. К., Рагозин Д. А. Надежность эксплуатации сооружений напорного фронта Братской ГЭС / Гидротехническое строительство, 2011. – № 11. – С.33 – 38.
673. Финаров Д. П. Динамика берегов и котловин водохранилищ гидроэлектростанций СССР. – Ленинград : Энергия, 1974. – 244 с.
674. Финаров Д. П. Геоморфологический анализ и прогнозирование переформирования береговой зоны и дна водохранилищ. – Ленинград : Наука, 1982. – 230 с.
675. Флексер Я. Н., Муслимов В. М. Гидравлическая очистка от наносов водохранилища Чир-Юртской ГЭС / Гидротехническое строительство, 1970. – № 10. – С. 28 – 30.
676. Формирование берегов Красноярского водохранилища / Отв. редактор В. М. Широков. – Новосибирск : Наука, 1974. – 120 с.
677. Фриштер И. Ю., Когодовский О. А. Аварии на сооружениях Колымской ГЭС в период строительства и временной эксплуатации / Гидротехническое строительство, 1995. – № 12. – С. 16 – 26.
678. Фроликова Е. Я. Режим работы водохранилищ – основное звено борьбы с заилением / Заиление водохранилищ и борьба с ним. – Москва : Колос, 1970. – С. 134 – 154.
679. Фролов Р. Д., Соболев С. В., Горохов Е. Н., Битюрин А. К., Орлов А. В. Уровненный режим свободного участка реки Волги от г. Городца до г. Нижнего Новгорода и пути решения проблемы судоходства / Сборник трудов кафедры ЮНЕСКО. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2003. – Вып. 4. – С. 88 – 94.
680. Фурман М. Ш. Гидрометеорологическое обеспечение ледовых трасс и переправ / Проблемы инженерной гляциологии. – Новосибирск : Наука, 1986. – С. 217 – 221.
681. Хабидов А. Ш. Динамика береговой зоны крупных водохранилищ. – Новосибирск : СО РАН, 1999. – 220 с.
682. Хабидов А. Ш., Жиндарев Л. А., Тризно А. К. Динамические обстановки рельефообразования и осадконакопления береговой зоны крупных водохранилищ. – Новосибирск : Наука, 1999. – 192 с.
683. Хабидов А. Ш., Леонтьев И. О., Марусин К. В., Шлычков В. А., Савкин В. М., Кусковский В. С. Управление состоянием берегов водохранилищ. – Новосибирск : СО РАН, 2009. – 239 с.
684. Хазиахметов Р. М. О концепции прогноза развития гидроэнергетики России в первой половине XXI века / Гидротехническое строительство, 2005. – № 9. – С. 6 – 12.
685. Хамитов М. С. Анализ гидрологического режима в отводном канале за дамбой обвалования при условии подъема Чебоксарского водохранилища до проектной отметки / Труды конгресса Международного научно-промышленного форума «Великие реки–2010». – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2010. – С. 59 – 62.
686. Харари Ю. Н. (1) Sapiens. Краткая история человечества / Пер. с англ. Л. Сумм. – Москва : Синдбад, 2019. – 520 с.
687. Харари Ю. Н. (2) Homo Deus. Краткая история будущего / Пер. с англ. А. Андреева. – Москва : Синдбад, 2019. – 496 с.
688. Харари Ю. Н. (3) 21 урок для XXI века / Пер. с англ. Ю. Гольдберга. – Москва : Синдбад, 2019. – 416 с.
689. Хафизов А. Р., Полева А. О., Валитов С. А., Шарафеева А. В., Камалетдинова Л. А., Гайсин И. З. Оценка биогенного загрязнения воды Павловского водохранилища на реке Уфа / Водное хозяйство России, 2019. – № 4. – С. 196 – 207.

690. Хокинг С. Краткие ответы на большие вопросы / Пер. с англ. С. Бавина. – Москва : Эксмо, 2019. – 256 с.
691. Хохлов Д. Н. Автоматизация инженерных расчетов энергии ветрового волнения на водохранилищах / Сборник науч. тр. аспирантов. Технические науки. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2011. – С. 206 – 209.
692. Хохлов Д. Н. Развитие и автоматизация энергетических методов расчетов переформирований абразионных и термоабразионных берегов водохранилищ / Автореферат дисс... канд. техн. наук. – Нижний Новгород, 2017. – 24 с.
693. Хохлов Д. Н. Разработка и испытание двумерной цифровой модели термоабразии берега водохранилища за один безледоставный период / Приволжский научный журнал, 2015. – № 3. – С. 31 – 40.
694. Цвиринько О. С. Канал имени Москвы – волжский источник водоснабжения г. Москвы (70-летие канала имени Москвы) / Гидротехническое строительство, 2008. – № 3. – С. 2 – 6.
695. Цзунсянь Л., Иванов В. В., Дайду Ф., Коротаев В. Н., Шоуе Я., Шугуан Л. Развитие дельты Волги в связи с колебаниями уровня Каспийского моря в течение последних 100 лет / Восемнадцатое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Доклады и сообщения. – Курск, 2003. – С. 223 – 225.
696. Цытович Н. А. Механика мерзлых грунтов. – Москва : Высшая школа, 1973. – 446 с.
697. Чеботина М. Я., Николин О. А., Смагин А. И., Мурашова Е. А. Третий в водоемах производственного и комплексного назначения в районе ПО «Маяк» на Урале / Водное хозяйство России, 2011. – № 4. – С. 75 – 84.
698. Чеботина М. Я. Третий в воде Белоярского водохранилища в период работы трех энергоблоков АЭС / Водное хозяйство России, 2010. – № 4. – С. 58 – 73.
699. Чжан Р. В., Великин С. А., Кузнецов Г. И., Крук Н. В. Грунтовые плотины в криолитозоне России. – Новосибирск : ГЕО, 2019. – 427 с.
700. Чжан Р. В., Великин С. А., Шестернев Д. М. Температурно-криогенный режим гидроузла Вилюйской ГЭС-1, 2: геокриологический мониторинг / Гидротехническое строительство, 2017. – № 6. – С. 10 – 23.
701. Чистякова Т. В. Ледотермические расчеты при проектировании каскада Бурейских ГЭС / Гидротехническое строительство, 2009. – № 4. – С. 26 – 28.
702. Чугаев Р. Р. Гидравлика. – Ленинград : Энергия, 1975. – 600 с.
703. Шайтанов В. Я. Пути развития отечественной энергетики / Гидротехническое строительство, 2010. – № 6. – С. 11 – 13.
704. Шаликовский А. В. Анализ международного опыта и управление риском наводнений в Российской Федерации / Водное хозяйство России, 2009. – № 5. – С. 18 – 34.
705. Шамов Г. И. Заиление водохранилищ. – Москва – Ленинград : Гидрометеоздат, 1939. – 220 с.
706. Шапиро Л. Н., Шарапов В. А., Прохорова Т. Э. Влияние гидроэнергетики на земельные ресурсы / Гидротехническое строительство, 1987. – № 10. – С. 10 – 13.
707. Шапоренко С. И. Качество воды в устье Волги как отражение современной водохозяйственной деятельности на водосборе реки / Водное хозяйство России, 2018. – № 6. – С. 50 – 69.
708. Шапоренко С. И., Ясинский С. В., Вишневская И. А. Изменение морфометрических параметров водохранилищ Москворецкой водной системы за период их эксплуатации / Водное хозяйство России, 2014. – № 1. – С. 4 – 22.

709. Шатравский А. И., Голошинова Т. Ю., Коломейцев А. И. О состоянии водосбросных сооружений Саяно-Шушенской и Майнской ГЭС после пропуска экстремального паводка 2006 г. / Гидротехническое строительство, 2008. – № 11. – С. 32 – 38.
710. Шахов И. С. Водные ресурсы и их рациональное использование. – Екатеринбург : Аква-пресс, 2000. – 290 с.
711. Шендер Н. И., Тетельбаум А. С., Каменский Р. М., Оловин Б. А. Долгосрочный прогноз теплового режима ложа и бортов Вилюйского водохранилища / Инженерно-геологическое изучение термокарстовых процессов и методы управления ими при строительстве и эксплуатации сооружений : материалы IV научно-методического семинара. – Санкт-Петербург : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1998. – С. 95 – 100.
712. Шикломанов И. А., Бабкин В. И., Балонишникова Ж. А. Водные ресурсы, их использование и водообеспеченность в России: современные и перспективные оценки / Водные ресурсы, 2011. – Т. 38. – № 2. – С. 131 – 141.
713. Широков В. М., Лопух П. С. Формирование малых водохранилищ гидроэлектростанций. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.
714. Широков В. М. Формирование берегов и ложа крупных водохранилищ Сибири. – Новосибирск : Западно-Сибирское книжное изд-во, 1979. – 92 с.
715. Широков В. М. Формирование берегов при создании Вилюйского водохранилища. – Новосибирск : Западно-Сибирское книжное изд-во, 1979. – 92 с.
716. Школьников С. Я. К вопросу о конструировании консервативных конечно-разностных схем для дифференциальных уравнений неустановившегося течения в не-призматическом русле / Гидротехническое строительство, 1998. – № 5. – С. 21 – 25.
717. Шур Ю. Л. Особенности переработки берегов водохранилищ в криолитозоне / Труды IV Всесоюзного совещания по изучению берегов сибирских водохранилищ. – Якутск, 1975. – С. 125 – 128.
718. Щербаков А. О., Талызов А. А., Ермаков Г. Г. Численные расчеты уровня режима волжских водохранилищ / Сборник трудов кафедры ЮНЕСКО. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2005. – Вып. 5. – С. 128 – 136.
719. Щербаков В. И. Городской водопровод. – Воронеж : Воронежский ГАСУ, 2000. – 240 с.
720. Эдельштейн К. К. Водоохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. – Москва : ГЕОС, 1998. – 277 с.
721. Экологически безопасное устойчивое развитие бассейна Волги. Аспекты международного научного сотрудничества/ Рук. авт. коллектива Е. В. Копосов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2008. – 178 с.
722. Экологические последствия строительства Амгуэмской ГЭС / Отчет. – Магадан : Ин-т биологических проблем Севера ДВО РАН, 1991.
723. Экологический альбом атомной энергетики. – Москва : ОАО «Росэнергоатом», 2009. – 143 с.
724. Экономов И. С. Современная типология архитектурных объектов на воде / Academia. Архитектура и строительство, 2010. – № 10. – С. 47 – 52.
725. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года / Утверждена распоряжения Правительства РФ № 1715-р от 13.10.2009 г.
726. Этин В. Л. Анализ состояния инженерной защиты водных объектов Волжского бассейна от воздействия судоходства / Международный научно-промышленный форум «Великие реки–2005» : тезисы докладов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2005. – Т. 1. – С.229 – 231.
727. Юдин А. Россия глазами иностранцев / Наша история, 2019.–№ 3. – С. 3 – 5.
728. Юркевич Б. Н. Гидроэнергетика как составная часть экономического потенциала России / Гидротехническое строительство, 2017. – № 3. – С. 10 – 13.

729. Юркевич Б. Н., Костерин Н. В., Макаров А. Л. Мокская ГЭС – источник энергии для разработки месторождений в Бурятии / Гидротехническое строительство, 2008. – № 2. – С. 35 – 43.

730. Юркевич Б. Н. Современное состояние рынка гидроэнергетических объектов в России / Гидротехническое строительство, 2009. – № 9. – С. 3 – 12.

731. Юркевич Б. Н., Цвик А. М. Эвенкийская ГЭС на р. Нижняя Тунгуска: перспективы строительства / Гидротехническое строительство, 2008. – № 2. – С. 11 – 15.

732. Юрьев И.В. Проблемы эксплуатации объектов газового комплекса в береговой зоне западного Ямала / Криосфера Земли, 2009. – Том XIII. – С.46 – 54.

733. Якутия / Под ред. П. В. Виттенбурга. – Ленинград : АН СССР, 1927. – 752 с.

Дополнение

734. Федеральный информационный портал «Вода России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://voda.org.ru/about-water/wiki/>.

735. Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации.

736. Федеральная целевая программа «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014 – 2020 годы» / утверждена постановлением Правительства Российской Федерации №922 от 12.10.2013г. (с изменениями на 20.09.2017 г.). досрочно прекращена с 01.01.2018г.

737. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. – 224 с.

738. Корпачев В.П., Бабкина И.В., Пережилин А.И., Андрияс А.А. Водные ресурсы и основы водного хозяйства. – Санкт-Петербург: Лань, 2012. – 320 с.

739. Эдельштейн К.К. Гидрология озер и водохранилищ. – Москва: Перо, 2014. – 399 с.

740. Пуклаков В.В., Даценко Ю.С., Гончаров А.В., Эдельштейн К.К., Гречушников М.Г., Ершова А.Г., Белова С.Л., Соколов Д.И., Пуклакова Н.Г., Ерина О.Н., Аракельянц А.Д. Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз). – Москва: Перо, 2015. – 284 с.

741. Методические указания по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов / Утверждены приказом МПР России № 169 от 04.07.2007.

742. Голованов А.И., Зимин Ф.М., Козлов Д.В. Природообустройство. – Санкт-Петербург: Лань, 2015. – 560 с.

743. Козлов Д.В. Водное хозяйство. Часть Водоохранилища. – Москва: МИСИ-МГСУ, ЭБС АСВ, 2020. – 53 с.

744. Алибеков А.Б., Лапин Г.Г. Использование гидротехнических сооружений энергетического назначения для создания солнечной генерации / Гидротехническое строительство, 2017. – №10. – С.43 – 47.

745. Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации (на 2022 – 2030 гг.) / Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации №731 от 14. 05.2021 г. (с изменениями и дополнениями от 27.10.2021г., 01.02.2022г.)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Книга 2

Часть 2. Взаимодействие водохранилищ с окружающей средой (продолжение)	3
Глава 16. Особенности формирования ложа и берегов водохранилищ в области вечной мерзлоты	5
16.1. Вечная мерзлота на северо-востоке страны	5
16.2. Напорный фронт северных гидроузлов	15
16.3. Оттаивание и тепловая осадка грунтов основания водохранилищ	18
16.4. Описание процессов переформирования мерзлых берегов водохранилищ	26
16.5. Примеры переформирования термоабразионных берегов водохранилищ	41
Глава 17. Закономерное изменение со временем морфометрических параметров водохранилищ	52
17.1. Актуализация вопроса	52
17.2. Уточнение морфометрических параметров действующих водохранилищ	54
17.3. Общие закономерности изменения морфометрических параметров водохранилищ в период эксплуатации	68
17.4. Фрактальные параметры водохранилищ	88
17.5. Влияние изменения объема на отдачу водохранилищ по электроэнергии и воде	94
17.6. Развитие темы	96
Глава 18. Взаимодействие водохранилищ с подземными водами	104
18.1. Подпор подземных вод и подтопление берегов водохранилищ	104
18.2. Размеры подпора и подтопления	108
18.3. Подтопление урбанизированных территорий	116

Глава 19. Изменение сейсмичности в зонах влияния водохранилищ	122
Глава 20. Изменение местного климата под воздействием водохранилищ	129
20.1. Климат и погода	129
20.2. Изменение климата вблизи водохранилищ	135
Глава 21. Влияние водохранилищ на растительный и животный мир	139
21.1. Воздействие водохранилищ на прибрежные леса	139
21.2. Влияние водохранилищ на животное население побережий	145
21.3. Водные растения и животные в водохранилищах	151
Глава 22. Техногенное загрязнение воды и донных отложений водохранилищ	155
22.1. Качество воды в водохранилищах	156
22.2. Эвтрофирование водохранилищ и «цветение» воды	168
22.3. Накопление загрязняющих веществ в донных отложениях	172
22.4. Опасность радиоактивного загрязнения	181
22.5. Самоочищение воды водохранилищ	188
Часть 3. Инженерные мероприятия в зонах водохранилищ	193
Глава 23. Работы и затраты, связанные с созданием водохранилищ	195
23.1. Перенесение на местность контуров водохранилищ	195
23.2. Состав работ и затрат по созданию водохранилищ	197
Глава 24. Вынос населенных пунктов и переселение населения из зон водохранилищ	201
24.1. Перенос поселений и переселение людей	201
24.2. Сбережение памятников археологии, истории и культуры	217
24.3. Градообразующая роль ГЭС	227
Глава 25. Строительство сооружений инженерных защит на водохранилищах	237
25.1. Защита территорий от затопления и подтопления	237
25.2. Укрепление берегов перед заполнением водохранилищ	247
25.3. Берегозащита на эксплуатируемых водохранилищах	252
25.4. Возможности инженерной защиты на водохранилищах в области вечной мерзлоты	267

25.5. Экономическая целесообразность строительства берегозащитных сооружений	271
Глава 26. Подготовка к затоплению чаш водохранилищ	274
26.1. Лесосводка и лесочистка в зонах затопления	274
26.2. Санитарная подготовка затапливаемых территорий	287
26.3. Подготовка водохранилищ для транспортного освоения и рыболовства	288
Глава 27. Организация использования водных ресурсов водохранилищ	291
27.1. Управление использованием водных ресурсов	291
27.2. Правила использования водохранилищ	297
Глава 28. Поддержание экологического здоровья водохранилищ	307
28.1. Экологический мониторинг водохранилищ	307
28.2. Борьба с зарастанием водохранилищ и цветением воды	313
28.3. Очищение водохранилищ от затопленной древесной растительности	316
28.4. Защита водохранилищ от воздействия судоходства	321
28.5. Ликвидация вредных производств на берегах водохранилищ	322
Глава 29. Обеспечение безопасности гидроузлов с водохранилищами на эксплуатационной фазе жизненного цикла	326
29.1. Статистика разрушения плотин	326
29.2. Понятие ущерба	336
29.3. Предупреждение гидродинамических аварий	338
29.4. Моделирование волны прорыва	344
Глава 30. О спуске водохранилищ	350
30.1. Примеры и последствия спуска водохранилищ	350
30.2. Аральская картина	355
Заключение	360
Литература	363

Научно-техническое издание

Соболь Станислав Владимирович

Водохранилища в окружающей среде

В двух книгах

Книга 2

Компьютерная верстка – Е.А. Аксенова, О.А. Соболь.

Оформление иллюстраций – О.А. Соболь.

Обложка – И.К. Красавина.

Подписано к печати 05.10.2022 г. Формат 60х90 1/16. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Уч. изд. л. 24,0. Усл. печ. л. 24,3 Тираж 500. Заказ №1600

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
603950, Н. Новгород, ул. Ильинская, 65.

Отпечатано: ИП Кузнецов Н.В. г. Н. Новгород, ул. Шорина, д.13, пом 1