

С. В. Соболев



# ВОДОХРАНИЛИЩА в окружающей среде



книга 1

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 1**

Нижегород  
ННГАСУ  
2022

ББК 38.771  
С54

*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 (ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»)

*А.М. Коломиец* – доктор технических наук, профессор (ФГАОУ 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 1. – 388 с. ISBN 978-5-528-00485-3; 978-5-528-00486-0

В первой книге издания **приводятся** сведения о водных ресурсах России, составляющих 11% мировых запасов пресной воды, **проявляется** значение 2650 российских водохранилищ для водообеспечения отечественной экономики, **содержатся** данные о комплексном использовании водохранилищ, **показывается**, что гидроэнергетика является наиболее экологически чистым способом выработки электроэнергии, **анализируется** взаимодействие водохранилищ с окружающей средой, включая компоненты литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы, а также человека и культурные ценности (с продолжением в книге 2), **подчеркивается**, что практически ни одно из построенных водохранилищ не показало несовместимости с природной средой и не привело к последствиям, угрожающим жизни людей и природных комплексов.

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 978-5-528-00486-0

© С.В. Соболь, 2022.  
© ННГАСУ, 2022.

# ВВЕДЕНИЕ

*Правильная постановка вопроса свидетельствует о некотором знакомстве с предметом. Ф. Бэкон (1561 – 1626)*

**Природа** – это совокупность естественных условий существования человеческого общества. **Окружающая среда** – среда обитания и производственной деятельности человечества. Под термином «окружающая среда» обычно понимается природная среда, окружающая человека; нередко это понятие включает элементы искусственной среды – жилые строения, промышленные предприятия, дороги и т.п. [603]. Для любого элемента среды обитания (например, водохранилища) все остальные элементы, в том числе и человек, являются его окружающей средой [78].

Как биологический вид человек плохо приспособлен к жизни в природной среде. Он не может более 5 дней обходиться без воды, не выносит температуры ниже 15 °С и выше 35 °С, скорость его передвижения не превышает 10 – 15 км/ч, он незащищен перед хищниками – не имеет клыков, рогов, копыт или защитного панциря, плохо видит в темноте, репродуктивные способности его ограничены одним детенышем в год. Поэтому, чтобы выжить и стать «видом номер один» на планете [197], человек должен был адаптировать среду обитания к своим потребностям. Это ему удалось, потому что человек не просто биологический, а биосоциальный вид [671].

Люди начали отрицательно влиять на природу, когда еще могли похвастаться только кремневыми ножами и заостренными палками [686]. В течение многих веков деятельность человечества оставалась на таком уровне, что природная среда практически ее не замечала, но с ростом урбанизации планеты начало проявляться изменение среды обитания и сказываться на жизнедеятельности людей [628].

С некоторых пор главной задачей любого государства стал экономический прогресс. Принято считать, что государственный коммунизм, как в бывшем СССР, а в наши дни рыночный капитализм являются наиболее эффективными способами достижения экономического роста. Природная среда, социальные структуры и традиционные ценности, мешающие рыночному капитализму, демонтируются, ликвидируются и разрушаются [687].

Люди стали способны намеренно или случайно перекроить саму среду обитания. Ученые еще спорят о том, насколько мы близки к любой из вероятных планетарных катастроф. То, что мы можем их спровоцировать, уже, бесспорно [549]. Грозной проблемой, висящей над современной экономикой, является экологический коллапс. Он повлечет за собой экономический крах, политические волнения, падение уровня жизни и поставит под угрозу само существование человечества [687].

Не хочется верить, что наш удел – это бездумное технологическое развитие, отравленная среда обитания, социальная иерархия, экономическое неравенство, ядерное оружие и мрачные перспективы [549].

Между тем, большинство граждан индустриальных государств прекрасно выживают в невежестве. Много ли нужно знать о природе, чтобы стать компьютерщиком, страховым агентом, юристом, рабочим на стройке? Защита окружающей природной среды – очень хорошая идея, но те, кому нечем платить за квартиру, куда больше озабочены своими долгами, чем таинством ледников [687].

Уже давно очевидно, что без положительных сдвигов в деле охраны природы шансы будущих поколений на развитие в привычном мире весьма проблематичны.

С первых своих шагов по Земле человек понимал **ценность воды**. После перехода к оседлому образу жизни люди стали строить гидротехнические сооружения, так как земледелие было затруднительным без трансформации стока рек по временам года [515]. Постепенно накапливался опыт в создании систем водоснабжения, ирригационных каналов, плотин и водохранилищ, передававшийся из поколения в поколение. Сооружения встраивались в природную среду и преобразовывали ее. Каждый новый шаг в развитии цивилизации почти всегда начинался с нового направления использования водных ресурсов [112].

Представим размах работ четырехтысячелетней давности на одном примере. На севере Египта в низине площадью до 1700 км<sup>2</sup> находится оазис Файюм, отделенный от р. Нил грядой холмов и песками пустыни. При фараоне Сенусерте III и его сыне Аменемхете III, правившими Египтом с 1878 г. по 1814 г. до н.э., оазис был обводнен: возведены плотины, насыпи, водопропускные шлюзы, проложен канал Бахр-Юсуф глубиной до 5 м с 12-ю рукавами, по которому часть стока р. Нил отводилась в гигантское искусственное озеро-водохранилище Карун, вмещавшее 50 км<sup>3</sup> воды [geosfera.org/afrika/egipet/1739-faymskiy-oasis.html]. В эпоху фараонов

строительные работы выполнялись орудиями из камня и дерева (редко – из бронзы), приводимыми в действие мускульной силой десятков тысяч людей в течение многих лет [687]. Для сравнения: наибольшее на р. Волге и самое большое в Европе Куйбышевское водохранилище, заполненное в 1955 – 1957 гг., имеет полный объем 58 км<sup>3</sup> [112; 520].

Согласно данным ООН, минимально необходимое сегодня водопотребление для нужд сельского хозяйства, промышленности, энергетики и сохранения равновесия окружающей среды составляет 1700 м<sup>3</sup>/год на человека. При обеспеченности 1000 – 1700 м<sup>3</sup>/год принято говорить о состоянии водного стресса, при 500 – 1000 м<sup>3</sup>/год – о дефиците водных ресурсов, при уровне ниже 500 м<sup>3</sup>/год – об абсолютном дефиците воды [202]. Чистая вода стала важнейшим ресурсом, дефицит ее сдерживает развитие многих стран [110].

Регулирование речного стока с помощью водохранилищ явилось огромным достижением человечества. Благодаря этому ресурсы гарантированного стока рек были существенно увеличены. Процесс создания водохранилищ, имеющих историю в шесть тысячелетий, в XX веке приобрел масштаб планетарного явления, охватившего все регионы земного шара [112; 122].

По данным Международной комиссии по большим плотинам в 2000 г. в мире насчитывалось более 45 тыс. водохранилищ. На 24-м конгрессе по большим плотинам (Япония, 2012 г.) была принята Всемирная декларация «Роль водохранилищ в обеспечении устойчивого развития» [135], содержащая призыв активнее развивать водную инфраструктуру, что необходимо для устойчивого функционирования и роста экономик всех стран [486].

**Российская Федерация, Россия** – крупнейшее по площади (17,075 млн км<sup>2</sup>) государство мира в северо-восточной части Евразии со столицей г. Москва и населением на 1 января 2019 г. 146,8 млн человек (из которых 109,5 млн – городское и 37,3 сельское) [178].

Рождение русского государства восходит к 862 г., когда в г. Новгороде получила права на княжение династия Рюриковичей, в течение 7 следующих столетий управлявшая всеми русскими землями. До 1917 г. Россия была монархией, единственной империей в северных широтах за всю историю человечества, потом до 1991 г. Союзом Советских Социалистических республик. СССР, который в 1980-е гг. начали обновлять и улучшать, улучшился настолько, что в 1991 г. перестал существовать, хотя это мало кто из его бывших граждан посчитал большим достижением. Независимая Россия

обрела капитализм и буржуазию. Сейчас Российская Федерация – демократическое федеративное правовое государство с республиканской формой правления. Тысячелетняя история России – феномен в мировой цивилизации [558; 603].

К Европейской России относят территорию, лежащую западнее Урала – около 23 %, на долю Азиатской России приходится свыше 75 % площади страны. Основная часть территории России расположена между 70° и 50° с. ш., около 20 % лежит за Северным полярным кругом. Суша страны омывается 12 морями, принадлежащими к бассейнам Атлантического, Северного Ледовитого и Тихого океанов [108; 603].

Большая часть Европейской территории России (ЕТР) занята Восточно-Европейской равниной, на юге – северные склоны гор Кавказа, на северо-западе – горы Хибины. К востоку от Урала простирается Западно-Сибирская равнина, окаймленная на юго-востоке горами Алтая. Между реками Енисеем и Леной расположено Среднесибирское плоскогорье, к которому на юге примыкают хребты Западного и Восточного Саяна, а между р. Леной и Тихим океаном лежат хребты и плоскогорья Северо-Восточной Азии [603].

Климат России в целом предопределен расположением страны в умеренных и высоких широтах, наличием обширной равнинной территории, открытой со стороны Северного Ледовитого океана, а также многочисленных горных систем на ее южных границах: он изменяется от морского на крайнем Северо-Западе до резко континентального в Сибири и муссонного на Дальнем Востоке страны. Средняя температура января составляет от  $-1^{\circ}$  до  $-50^{\circ}\text{C}$ , июля – от  $1^{\circ}$  до  $25^{\circ}\text{C}$  [603].

Территория Севера и северо-востока России, простирающаяся на 11 млн км<sup>2</sup> (64 % площади) подвержена влиянию сурового климата и занята вечной мерзлотой. Поселок Оймякон в долине р. Индигирки считается самой холодной точкой нашей страны и северного полушария Земли. Здесь была зарегистрирована температура воздуха  $-71^{\circ}\text{C}$  [13; 15].

Годовая сумма осадков на территорию России изменяется от 4500 мм в западной части Большого Кавказского хребта до 200 мм и менее в Прикаспийской низменности [114].

На российскую территорию с севера на юг распространяются природные зоны: арктическая, тундровая, лесотундровая, лесная, лесостепная, степная, полупустынная [603].

В стране имеются месторождения всех известных полезных ископае-

мых. Разведаны большие запасы энергетических ресурсов – угля, нефти, природного газа. Около 60 % территории покрыто лесами. На рубеже XX и XXI вв. основной вклад (75 %) в валовой внутренний продукт (ВВП) вносила природно-ресурсная рента [111], доля сырья и полусырья в экспорте доходила до 92 % [428]. Идея экономических дискуссий о том, что России необходимо перестать быть сырьевой державой, витает еще со времен Петра I, опубликованная в 1724 г. первым русским экономистом Иваном Посошковым [603].

России присуща относительно невысокая по сравнению с многими странами мира степень антропогенной (несвойственной природе) трансформации природной среды. Примерно 65 % территории страны квалифицируются как не подвергшиеся существенным хозяйственным воздействиям и сохранившие ненарушенные экосистемы. Около 20 % территории испытали влияние экономики, но экосистемы во многих местах сохранили жизнеспособность и ассимиляционный потенциал, необходимый для компенсации современного уровня антропогенных воздействий. Около 15 % российской территории характеризуются как экологически неблагоприятные, со значительной степенью разрушения естественных экосистем [541]. За 1000 лет природу в стране мы почти не ухудшили, а те регионы, где плохо, можно привести в норму примерно за век, развивая цивилизацию не стихийно, а разумно.

На вопрос «Кому сегодня в России живется хорошо?» известный актер А.В. Панкратов-Черный (род. в 1949 г.) накануне своего шестидесятилетия ответил: «Думаю, в полном смысле хорошо живется тем, у кого есть мечта, вера и обязательно надежда».

Уникальны **водные ресурсы России**: они оцениваются в 11 % мировых запасов пресной воды [115]. Россияне всегда бережно относились к воде, водные угодья стерегли. В XIX в. казаки-уральцы из реки в нерест не поили лошадей; казака, который плюнул в реку, «без милосердия» били, а затем он неделю отбивал по 700 поклонов в день, стоя по колени в воде [19].

В России 2,4 млн ручьев длиной до 10 км, 12764 малых реки длиной от 10 до 200 км, 855 средних рек длиной от 200 до 500 км, 210 больших рек длиной более 500 км [117; 176]. У людей всего мира образ России ассоциируется с р. Волгой – самой большой рекой Европы. С нею связано много легенд и исторических событий (рис. В.1).



Наиболее длинные в России реки: Енисей – 5940 км [117], Лена – 4260 км, Обь – 3360 км, Волга – 3530 км, Нижняя Тунгуска – 2990 км, Амур – 2824 км, Вилюй – 2555 км, Оленек – 2270 км, Алдан – 2243 км, Колыма – 1988 км [242; 296; 520] (рис. В.2). Про р. Енисей на рубеже XIX – XX вв. вице-адмирал российского флота С.О. Макаров, исследовавший водные пути Сибири, писал: «О реке Енисей вообще можно сказать, что она представляет безпроводной водный путь, идущий почти по меридиану от Ледовитого океана до нашей границы с Китаем на протяжении 3000 верст» [369].

Вода рек пресная, поэтому наиболее ценная. Одним из ее свойств является постоянное возобновление.

Объем речного стока, формирующегося на территории России, очень значителен. Он составляет 4266 км<sup>3</sup>/год или 234 тыс. м<sup>3</sup>/год на 1 км<sup>2</sup> территории, или примерно 27,8 тыс. м<sup>3</sup>/год на одного жителя. Однако сток рек неравномерно распределен во времени: 75 % его падает на период половодья, а на длительный меженный период приходится только 25 %. То же по территории: на европейскую часть страны приходится 20 %, на азиатскую – 80 % стока [658; 668].

Астрономическим числом 2896 млрд кВт·ч/год выражается валовой потенциал возобновляемых гидроэнергетических ресурсов рек России. Экономический потенциал оценивается в 852 млрд кВт·ч/год, основной частью он сосредоточен в Восточно-Сибирском и Дальневосточном регионах – соответственно 350 и 294 млрд кВт·ч/год [149; 363].

В 1986 г. российский фонд насчитывал 2263 гидроузла с водохранилищами объемом более 1 млн м<sup>3</sup> каждое суммарной площадью водной поверхности 62 тыс. км<sup>2</sup>, суммарным полным объемом 794 км<sup>3</sup> и полезным объемом 324 км<sup>3</sup> [283; 619]. Подавляющее большинство водохранилищ России относятся к долинному типу (рис. В.3; В.4), который доминирует и в других странах. Наибольшее количество водохранилищ – равнинные. Примерно 74% водохранилищ объемом более 10 млн м<sup>3</sup> и 80% водохранилищ объемом 1 – 10 млн м<sup>3</sup> расположены на европейской территории страны [112] (рис. В.5). Многие водохранилища составили каскады, крупнейшие – Ангаро-Енисейский (табл. В.1) и Волго-Камский (табл. В.2).

Значительное число построенных в XX в. водохранилищ осталось за пределами России в государствах, выделившихся из СССР при его распаде в 1991 г.: Советский Союз, как известно, был империей наоборот – о провинциях власть заботилась больше, чем о метрополии [628].



Рис.В.1. Атаман Степан Разин на р. Волге бросает за борт персидскую княжну: гравюра из книги, опубликованной в Голландии в 1681 г.



Рис. В.2. Российские реки: Лена, участок «Щеки» [<http://img – 2005 – 11. photo sight.ru>]; Колыма в среднем течении [[www.Utinka.ru](http://www.Utinka.ru)]

В 2018 г. на территории России находились в эксплуатации 2650 водохранилищ емкостью свыше 1 млн м<sup>3</sup> каждое. Их суммарный полезный объем составлял 342 км<sup>3</sup>, из которого более 90% приходилось на водохранилища, имеющие емкость свыше 10 млн м<sup>3</sup> [176]. В федеральном подчинении по перечню, утвержденному распоряжением Правительства Российской Федерации № 197-р от 14.02.2009 г. с изменениями от 10.09.2020г., числилось 356 водохранилищ [479].

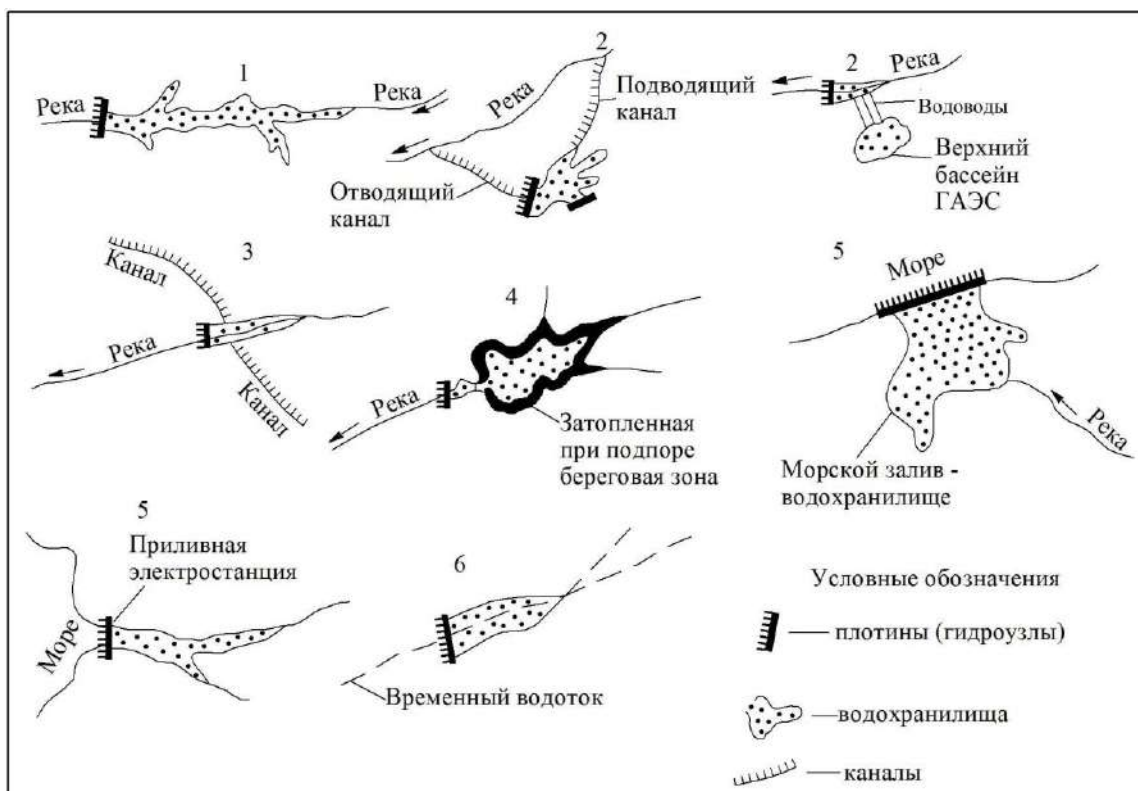


Рис. В.3. Характерные типы водохранилищ по способу образования:  
 1 – речное долинное, созданное подпором реки плотиной; 2 – наливное;  
 3 – смешанное (долинное и наливное); 4 – озеро –водохранилище;  
 5 – отчлененное от моря; 6 – на временном водотоке [122]

В 1930-х гг. в Германии впервые прозвучал термин: природоприближенное строительство. С тех пор термин вошел в водохозяйственную библиографию. К этому времени относится и формулировка определения термина: **природоприближенное гидротехническое строительство** – строить сообща с природой, а не вопреки ей. Начиная с 1970-х гг. приоритеты экономичности и рентабельности строящихся гидротехнических объектов, включая водохранилища, начали уступать место приоритетам экологии и требованиям охраны природной среды в Западной Европе [541], также в России [118; 662].



Рис. В.4. Долинные водохранилища: Горьковское на р. Волге в приплотинной части; Вилюйское на р. Вилюе; Анадырское (малое) на р. Казачке у г. Анадыря на Чукотке



Рис. В.5. Схема размещения водохранилищ России объемом более 1 км³ по состоянию на 1986 г. [283; 619; geographyofrussia.com]

Значение водохранилищ для экономики России трудно переоценить [307]. При этом очевидно, что водохранилища – лишь средства для достижения цели, но не цель сама по себе. Целью любого проекта, связанного со строительством водохранилищ, является достижение обществом существенного успеха в устойчивом развитии на основе экономической эффективности, социальной справедливости и экологической безопасности [486].

Таблица В.1

**Показатели водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада [133, 65]**

Водохранилище	Иркут-ское	Брат-ское	Усть-Илим-ское	Богучан-ское	Саяно-Шушен-ское	Майн-ское	Красно-ярское
	на реке Ангаре				На реке Енисее		
Уровни воды, м БС: НПУ	457,0	402,0	296,0	208,0	540,0	324,0	243,0
УМО	455,5	392,0	294,5	–	500,0	319,0	225,0
Длина, км	700	570	302	375	312		390
Ширина (до), км	79,5	25	10			–	15
Глубина, (до), м	1620	106	88	75	220	–	105
Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	32 966	5 470	1 873	2 330	633	14	2 100
Объем, км <sup>3</sup> :							
полный	23600*	169,4	59,4	58,3	31,3	0,103	73,5
полезный	44,8	48,2	2,8	2,31	15,3	0,025	30,5
Сбросной расход, м <sup>3</sup> /с	6 110 (0,01 %)	10 960 (0,1 %)	14 500 (0,1 %)	13 930 (0,1 %)	19 100 (0,1 %)	9 730	33 400 (0,1 %)
Годы строительства	1950 – 1958	1957 – 1967	1962 – 1980	1989 – 2015	1963 – 1983	1981 – 1985	1955 – 1972

\* Объем оз. Байкал

**Объектами** рассуждений в этой книге будут **водохранилища**, преимущественно долинные, из которых преимущественно равнинные и на реках России.

Решением водных проблем в разных странах мира заняты большие коллективы научных и инженерных работников самых разных профилей. В России водохранилища входят в сферу интересов технических, географических, физико-математических, химических, биологических, сельскохозяйственных, экономических, общественных, медицинских наук, наук о Земле. Держа в уме неравенство дисциплин, можно сказать, что в каждой из них есть специалисты, которые знают, что следует предложить и что нужно

Таблица В.2

## Показатели водохранилищ Волжско-Камского каскада [2; 108; 112; 114; 121; 420; 525]

Гидроузел /водохранилище (современные названия)	НПУ, м БС	Пло- щадь зеркала, км <sup>2</sup>	Объем, км <sup>3</sup>		Длина, км	Ширина (до), км	Глубина, м		Сра- ботка, м	Годы заполне- ния
			полный	по- лез- ный			сред- няя	наи- боль- шая		
Верхневолжский/Верхневолжское	206,5	179	0,79	0,53	92	4,4	4,4	16,1	3,5	1943–1947
Иваньковский/Иваньковское	124,0	327	1,20	0,81	120	8,0	3,4	19,0	4,5	1937
Угличский/Угличское	113,0	249	1,24	0,81	143	5,0	5,0	23,2	3,5	1939–1943
Рыбинский/Рыбинское	102,0	4 550	25,42	16,67	112	56,0	5,6	30,4	4,0	1940–1947
Нижегородский/Горьковское	84,0	1 591	8,70	3,90	430	15,0	5,5	21,0	2,0	1955–1957
Чебоксарский/Чебоксарское	68,0	2 100	12,60	5,40	335	16,0	6,1	18,0	3,0	–
	63,0	1 080	4,60	0			4,3	13,0	–	1982
Жигулевский/Куйбышевское	53,0	6 450	57,30	21,0	484	38,0	8,9	40,0	7,5	1955–1957
Саратовский/Саратовское	28,0	1 831	12,87	1,75	348	20,0	7,3	32,0	1,0	1967–1968
Волгоградский/Волгоградское	15,0	3 120	31,50	8,25	546	17,0	10,1	41,1	3,0	1958–1960
Камский/Камское	108,5	1 915	12,20	9,20	272	13,5	6,4	28,6	9,5	1954–1956
Воткинский/Воткинское	89,0	1 120	9,36	3,70	365	9,0	8,4	28,0	4,0	1961–1964
Нижнекамский/Нижнекамское	68,0	2 650	12,90	4,40	300	20,0	5,3	20,0	2,0	–
	62,0	1 000	2,80	0			2,8	14,0	–	1978–1984

делать в той или иной ситуации, касающейся водохранилищ. Но проектируют, строят, эксплуатируют гидроузлы и собственно водохранилища главным образом инженеры-гидротехники.

О водохранилищах в России были изданы содержательные книги в прошлом веке [7; 96; 99; 106; 120; 122; 262; 357; 713; 737], есть и в нынешнем [108; 112; 121; 536; 587; 739; 740; 743]. Хотя это широко не признается, с 1990-х гг. науки о водных объектах не приоритетны в России, российскими учеными проведен ограниченный объем исследований, в связи с чем большинство информации о водохранилищах относится к более раннему периоду [112] и перечисленные издания ею перекликаются.

Повестка предлагаемой книги нацелена на то, чтобы систематически представить научно-практические материалы по взаимодействию водохранилищ с окружающей их средой, включая результаты исследований, частично возобновленных в 2000-е гг., и сообщить некоторые итоги современного общего знания в этой области. Сначала (в части 1) мы в общих чертах напомним читателю о назначении и использовании водохранилищ, затем (в части 2) охарактеризуем аспекты их взаимодействия с вмещающей средой, наконец (в части 3) проиллюстрируем инженерные мероприятия в зонах водохранилищ, осуществляемые перед их заполнением и в обозримый период эксплуатации.

Оценка взаимовлияния водохранилищ и окружающей среды востребована сегодня при разработке и реализации стратегии государственной безопасности в направлениях водо- и энергообеспечения, корректировании бассейновых схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), определении необходимости отчуждения или защиты прибрежных территорий от вредного воздействия вод, обеспечении экологической безопасности в регионах и имеет практически важное значение для экономики России, как и других стран.

Книга написана инженером-гидротехником, поэтому, естественно, не может содержать равнозначимый анализ всех аспектов названного взаимодействия, оставляет многие вопросы в фрагментарном изложении, тем не менее, по мнению автора, способна дать читателю целостное представление о симбиозе окружающей среды с природно-техногенными объектами, какими являются водохранилища.

По мнению знатоков большинство людей лучше реагирует на качественное или количественное объяснение чего-либо без необходимости вникать в сложные уравнения, и каждая включенная в книгу формула вдвое



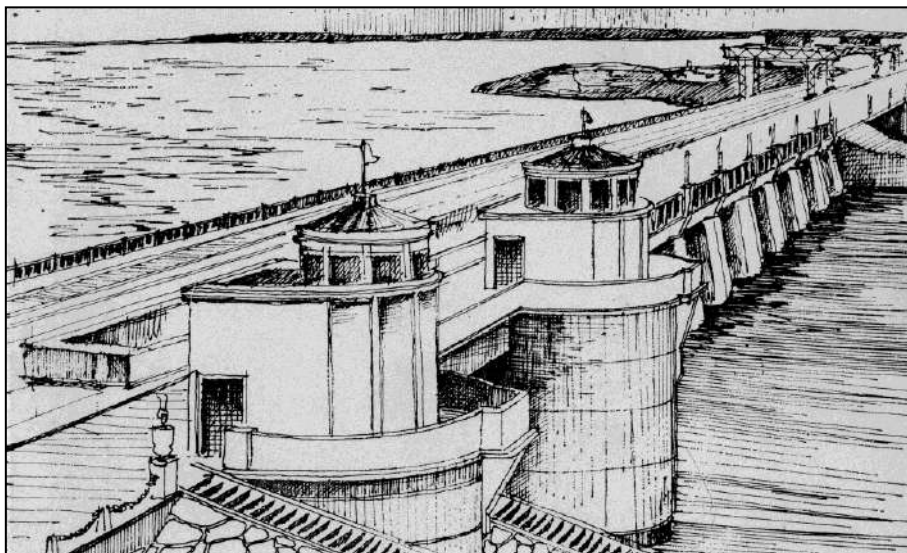
уменьшает число читателей [690]. В связи с этим автор решил обойтись в книге без формул. А умы, любящие математические методы, отослать к соответствующим источникам. Возможно, он (автор) здесь в чем-то недоработал, но, наверное, всегда можно сделать больше.

Без трудов предшественников, современников и коллег не было бы, конечно, этого произведения. Нами не оставлен без ссылки ни один из фрагментов, заимствованных в книгу из научных, научно-популярных, технических, справочных, учебно-методических и других публикаций. При этом обнаружилось, что количественные данные о водных объектах, приводимые в разных источниках, имеют некоторые расхождения. Однако, эти расхождения для книги, не являющейся справочным изданием, не принципиальны, поэтому автор сознательно не утверждал количественное единообразие, но сохранял данные оригиналов со ссылками на них. В книге изложение материала не означает выражения со стороны автора какого бы то ни было мнения относительно правового статуса той или иной страны, территории, города или района, или их властей, или относительно их границ. Автор также не считал себя обязанным заниматься опровержением каких-либо, возможно даже негативных, представлений о водохранилищах. Полемика требует стратегических приемов, на которые у него недостает способностей. И известно, что мало кому из спорящих удавалось переубедить другого [549]. Он (автор) стремился представить как достоверное – то, что достоверно, как вероятное – то, что вероятно, как возможное – то, что возможно, и берет на себя полную ответственность за техническое и научное содержание публикации, а книга в целом представляет его точку зрения на явление водохранилищ в окружающей среде.

Продвижению рукописи книги в печать поспособствовали положительными рецензиями известные российские ученые в областях экологии, гидротехники, геологии и водообеспечения Давид Бежанович Гелашвили, Дмитрий Вячеславович Козлов и Алексей Маркович Коломиец, за что автор выражает им искреннюю благодарность.

Остается рассчитывать, что издание станет полезным научным работникам и специалистам, аспирантам и студентам, чьи интересы распространяются на феномен водохранилищ, также чиновникам властных структур, любознательным представителям общественности и средств массовой информации, желающим не понаслышке ознакомиться со спецификой этих рукотворных водных объектов.

# ЧАСТЬ 1. НАЗНАЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ



Иваньковская ГЭС с Иваньковским водохранилищем на р. Волге.  
Рисунок 1950-х гг. [525]

*В современных условиях водохранилище рассматривается как склад воды, который, однако, выполняет множество функций. Это объект-регулятор стока; источник водоснабжения, источник и аккумулятор гидроэлектроэнергии, способный в наибольшей степени отвечать потребностям энергетических систем; акватория, используемая водным транспортом, рыбным хозяйством; рекреационная зона; потребитель земли (затопление) и в то же время объект, позволяющий в ряде районов значительно улучшить использование земельных ресурсов; объект, вносящий существенные изменения в природу и хозяйство речных долин [3]. Трудно назвать более яркий пример человеческой деятельности, где так тесно переплетаются все наиболее актуальные проблемы современного общества – энергетические, продовольственные, экологические, социальные, правовые, инженерные, природоохранные и др. [515]. Первая часть книги наполнена общими сведениями об использовании водохранилищ в качестве вступления к рассмотрению их взаимодействия с окружающей средой.*

# ГЛАВА 1. ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕ, ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ

В каждой из стран мира ведется водное хозяйство. В России **отрасль «Водное хозяйство»** функционирует наряду с другими отраслями экономики – промышленностью, жилищно-коммунальным хозяйством, сельским хозяйством и пр., имеются федеральный закон «Водный кодекс Российской Федерации» [118], «Водная стратегия Российской Федерации» [115] и федеральная целевая программа (ФЦП) «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации» [657], координирующая и объединяющая в единое целое множество федеральных, территориальных, бассейновых программ в части рационального использования и охраны водных ресурсов и развития водного хозяйства страны [110].

Любая отрасль понимается как совокупность предприятий, сооружений, учреждений, организаций, сходных по виду деятельности и характеру функций, выполняемых ими в системе общественного разделения труда. Соответственно отрасль «Водное хозяйство» включает водные (озера, реки) и водохозяйственные (водохранилища, каналы) объекты, а также организационные структуры, деятельность которых направлена на обеспечение водопользователей и водопотребителей водой необходимого количества, требуемого качества, режима и места водообеспечения на основе комплексного использования и инженерного воспроизводства водных ресурсов, а также на борьбу с вредным воздействием вод и на защиту водных источников от загрязнения и истощения [119; 738; 743].

Фонд отрасли по состоянию на 2018 год насчитывал 2650 водохранилищ емкостью свыше 1 млн м<sup>3</sup> каждое. Общий полезный объем этих водохранилищ составлял 342 км<sup>3</sup>, из которых более 90 % приходилось на водохранилища емкостью свыше 10 млн м<sup>3</sup> [176]. Согласно Водному кодексу РФ [118] водохранилища находятся в федеральной собственности, за исключением прудов и обводненных карьеров, принадлежащих собственникам окаймляющих их земельных участков, которыми могут быть как публичные субъекты, так и физические и юридические лица, имеющие частные

интересы [127]. К фонду отрасли также относят судоходные каналы и водохозяйственные системы по межбассейновой и внутрибассейновой переброске стока. В России действуют 27 водохозяйственных систем общей протяженностью 3 тыс. км с годовым забором воды 16,6 км<sup>3</sup> [119]. Самые протяженные каналы: Большой Ставропольский канал (480 км), Северо-Крымский (402,6 км), Волго-Балтийский (361 км), Беломорско-Балтийский канал (227 км), Донской магистральный (195 км), Волго-Каспийский (188 км), Терско-Кумский (150 км), Канал имени Москвы (128 км), Северо-Двинский (127 км), Саратовский (127 км), Право-Егорлыкский (123 км), Волго-Донской (101 км), Кумо-Манычский (96,2 км), Сайменский (57 км) [176]. Около 70 % производственного водохозяйственного фонда расположено в бассейнах шести крупнейших рек России – Волги, Кубани, Дона, Оби, Енисея, Лены [119].

Деятельность отрасли «Водное хозяйство» направлена на обеспечение водопользователей и водопотребителей других отраслей. К ним относятся: **водоснабжение** – потребление воды для нужд промышленности и населения и **водоотведение** – удаление отработанных вод с их очисткой или без нее; **гидроэнергетика** – использование механической энергии воды для выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях; **водный транспорт** – использование вод для судоходства и лесосплава; **гидромелиорация** – потребление воды для орошения (ирригации) и обводнения земель, а также отвод воды с переувлажненных земель (осушение); **рыбное хозяйство** – использование водных недр для лова и разведения рыб; **рекреация** – использование водотоков и водоемов для водного спорта и отдыха.

При решении задач водообеспечения принято выделять две категории использования водных ресурсов: **водопотребление** и **водопользование**. Для водопотребителей использование воды связано с изъятием ее из водоемов и водотоков. При этом часть воды теряется, безвозмездно входя в состав промышленной или сельскохозяйственной продукции, испаряясь в процессе использования и т.п. Основными водопотребителями являются промышленное и коммунальное водоснабжение и сельскохозяйственное орошение. Водопользователи не изымают воду, а используют ее для выполнения различных операций. К числу наиболее важных водопользователей относятся гидроэнергетика, водный транспорт, рыбное хозяйство, водный спорт и туризм. Имея в виду комплексность использования водных ресурсов, иногда объединяют две отмеченные выше категории – водопотребление и водопользование – в одну под общим названием – водопользование [242].

Использование воды различными отраслями экономики характеризуется значительной количественной неравномерностью во времени (рис. 1.1). К наиболее постоянным водопользователям относятся промышленные объекты, населенные пункты, тепловые, атомные и гидравлические электростанции. Гораздо меньшим постоянством характеризуются орошение, водный транспорт, рыбоводство. Так, при орошении необходима подача воды в течение вегетационного периода; водный транспорт нуждается в поддержании судоходных глубин на протяжении навигации; рыбное хозяйство испытывает потребность затопления нерестилищ на период нереста рыб и т.п. Расходование воды некоторыми отраслями претерпевает значительные изменения не только по сезонам и месяцам, но и в течение суток. Все это усложняет вопросы распределения воды.

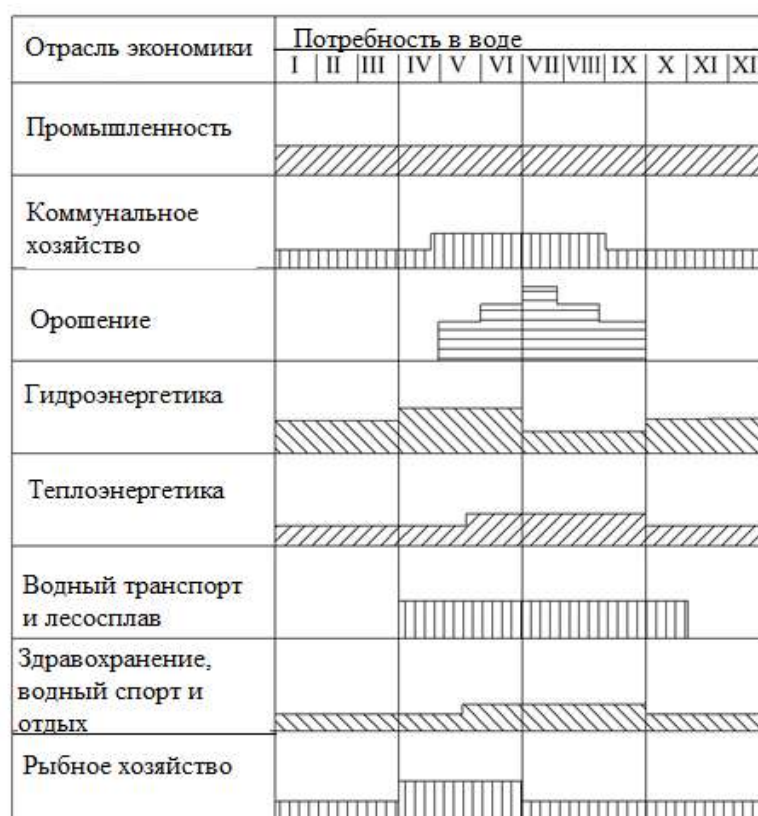


Рис. 1.1 Схема водопользования для различных отраслей экономики [242]

Особое значение приобретает разделение водных ресурсов между отраслями экономики не только по количеству, но и по качеству. Для питьевого водоснабжения в первую очередь должна использоваться вода высшего качества. Вода более низкого качества может применяться для нужд

промышленности и орошения. Наконец, для гидроэнергетики, судоходства, лесосплава загрязненность воды не имеет особого значения.

В современных условиях при ведении многофункционального водного хозяйства большое значение приобретают водохозяйственные комплексы. Под **водохозяйственным комплексом (ВХК)** следует понимать совокупность социально-экономических и технических мероприятий по использованию водных ресурсов в интересах планомерного развития участников этого комплекса [242]. Большинство водохранилищ с образующими их гидроузлами используются в составе водохозяйственных комплексов и лишь немногие одноцелевые водохранилища – изолированно. Водохозяйственные комплексы могут входить в состав **водохозяйственных систем (ВХС)**, охватывающих, например, весь речной бассейн [122].

Так, в бассейне Дона функционирует многоотраслевой водохозяйственный комплекс, основными участниками которого являются: водоснабжение, орошаемое земледелие, рыбное хозяйство, водный транспорт, гидроэнергетика. Водные ресурсы р. Дона в замыкающем створе в естественных условиях оцениваются средней величиной 27,7 км<sup>3</sup>/год. Естественный водный режим искажается рядом малых водохранилищ (917) и прудов (8 000) суммарным полным объемом 31 785 млн м<sup>3</sup>. Структура водопотребления, составившего (в 2006 г.) 3 885,9 млн м<sup>3</sup>, следующая: производственные нужды – 51,8 %; хозяйственно-питьевые нужды – 20,0 %; орошение – 20,6 %; сельскохозяйственное водоснабжение – 1,9 %; прудовое рыбное хозяйство – 5,0 %; прочие – 0,7 % [64].

Понятно, что удовлетворение запросов различных участников ВХК является весьма сложной задачей, т.к. их требования довольно противоречивы и порой не могут быть разрешены одновременно (см. рис. 1.1).

Сбалансированное управление водными ресурсами подразумевает такое содействие водопотреблению, при котором учитываются нынешние и будущие потребности общества. Профессионалы научились планировать, разрабатывать, строить и эксплуатировать гидротехнические структуры так, чтобы вкуче с неструктурными мерами увеличивать пользу, которую люди могут получить от водных ресурсов, содержащихся в реках и речных бассейнах. Однако существует и предел возможностей, которые можно извлечь из этих ресурсов. Реки и водохранилища, испытывающие давление чрезмерного хозяйственного использования, могут стать неспособными бесперебойно оправдывать надежды тех, кто от них зависит [68].

Кроме участников ВХК существует также группа отраслей экономики, которым создание гидроузлов с водохранилищами приносит пользу, например, при образовании железно- и автодорожных переходов по плотинам через реки, или же наносит вред, например, из-за затопления и подтопления земель [122].

По мере изменения экономических и водохозяйственных условий состав и роль участников ВХК могут изменяться. Так, в настоящее время увеличилась роль всех водохранилищ Волжского каскада для промышленного водоснабжения, которое стало значительно влиять на установленные прежде режимы эксплуатации и состояние водохранилищ; вместе с этим, например, уменьшилась роль гидроэнергетики Иваньковского гидроузла. В эксплуатации Новосибирского водохранилища приоритет отдан водоснабжению и орошению взамен энергетики и т.д. [122; 545].

Водоохранилища выполняют в ВХК разнообразные функции. Регулируя сток в многолетнем, сезонном, недельном и суточном периодах времени и обладая большой водной массой и акваторией, широко и, как правило, комплексно используются для решения многообразных экономических и социальных задач, охватывающих энергетику, сельское, рыбное хозяйство, промышленность, коммунальное хозяйство, транспорт, борьбу с наводнениями, отдых населения. Попутно водохранилищами решаются и некоторые природоохранные задачи [742]. В этом заключается ведущая роль водохранилищ в водохозяйственных комплексах и системах [122].



## ГЛАВА 2. ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ

### 2.1. Водоснабжение промышленности, сельского хозяйства и населения

В России с 2005 г. сводные материалы статистического наблюдения за использованием воды начали разрабатываться в отраслевом разрезе на основе Общероссийского классификатора видов экономической деятельности (ОКВЭД), заменившего Общесоюзный классификатор отраслей народного хозяйства (ОКОНХ) [110]. Отчетность соблюдается строго, если предположить, что это возможно при отечественных традициях [117].

По данным ОКВЭД на начало XXI в. (2007 г.) в экономике России использовалось 232,2 км<sup>3</sup> воды в год, из которых 79,9 км<sup>3</sup> покрывалось за счет отбора из природных источников, 144,3 км<sup>3</sup> – за счет оборотных систем и систем повторного использования [110]. За десять лет ситуация не сильно изменилась: в 2018 г. забор воды из природных источников составил 68035,55 млн м<sup>3</sup>, расход в системах оборотного водоснабжения – 144166,33 млн м<sup>3</sup> [178]. Наибольший удельный вес по объему использования воды принадлежал производству и распределению электроэнергии, газа и воды – 66 % годового водопотребления. Значительно меньше использовалось воды в сельском хозяйстве, охоте и лесном хозяйстве (16 %), обрабатывающих производствах (10 %), рыболовстве и рыбоводстве (3 %), добыче полезных ископаемых (2 %). На все прочие виды хозяйственной деятельности приходилось порядка 2–3 %. В ОКВЭД самый крупный водопотребитель подразделяется на два подвида экономической деятельности – энергетику и газоснабжение (49,4 % общероссийского водопотребления) и «сбор, очистка и распределение воды» (16,4 %). Последний подвид в основном характеризует работу коммунальных и крупных производственных водопроводных систем [110].

**Промышленностью** вода потребляется в различных производствах как сырье, необходимый технологический компонент, теплоноситель,

охладитель, моющее средство, а также для удовлетворения бытовых потребностей работающего персонала, обеспечения пожарной безопасности и пр. Наиболее водоемкими являются химическая, целлюлозно-бумажная, металлургическая промышленность (табл. 2.1).

Таблица 2.1

**Удельное водопотребление на 1 т промышленной продукции [119; 710]**

Продукция	Расход воды, м <sup>3</sup> /т	Продукция	Расход воды, м <sup>3</sup> /т
Чугун	160 – 200	Нефть (переработка)	30 – 40
Сталь	150	Синтетическое волокно	2500 – 5000
Прокат	10 – 15		
Медь	500	Азотные удобрения	600
Никель	4000	Бумага	400 – 800

Системы промышленного водоснабжения различаются на прямоточные и оборотные. Технический прогресс связан с развитием систем оборотного водоснабжения, позволяющего существенно уменьшить потребление свежей воды и сократить (обнулить) объемы промышленных стоков. Важной составляющей прогресса является также совершенствование технологических схем промышленных производств для экономии воды.

Первая в мире замкнутая система оборотного водоснабжения была введена в строй в 1973 г. на Верх-Исетском металлургическом заводе (г. Екатеринбург), а к 1990 г. на территории бывшего СССР были сооружены более 350 таких систем на предприятиях и промузлах. Потом эта работа в России практически не велась, но некоторое оживление ее стало наблюдаться в начале XXI в. [11].

Большого количества воды требует **теплоэлектроэнергетика**. Выделяют три вида тепловых электростанций (ТЭС):

- конденсационные (КЭС), в которых отработанный пар, прошедший через турбину, охлаждается, конденсируется и вновь поступает в котел;
- теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), в которых отработанный пар используется для отопления;
- атомные электростанции (АЭС), которые действуют по принципу КЭС, но отличаются видом используемого топлива (вместо органического – ядерное).

В ТЭС вода идет на выработку пара, для охлаждения агрегатов, для производства отопительной воды и пр. с потреблением 1,6 – 3 км<sup>3</sup>/год в

расчете на 1 000 МВт мощности, или примерно 50 – 95 м<sup>3</sup>/с, причем треть ее теряется безвозвратно [119].

В качестве примера приведем Смоленскую АЭС. На ней эксплуатируется 3 энергоблока суммарной электрической мощностью 3 000 МВт. В состав гидротехнического комплекса станции входят гидроузел с водохранилищем на р. Десне (левом притоке р. Днепра), водозаборы и насосные станции технического и циркуляционного водоснабжения, подводящие и отводящие каналы (рис. 2.1) и др. Водохранилище на р. Десне имеет полный объем 320 млн м<sup>3</sup> полезный объем 120,5 млн м<sup>3</sup> и ведет сезонное регулирование стока с годовой полезной водоотдачей 23,5 млн м<sup>3</sup> [710].

Забор воды для нужд теплоэлектроэнергетики составляет более 30 км<sup>3</sup>/год [110]. Водным Кодексом РФ 2006 г. [118] запрещено проектировать системы прямоточного водоснабжения на ТЭС [110].

**Сельское хозяйство** входит в число основных видов экономической деятельности по общим и особенно по безвозвратным изъятиям воды. Вода из поверхностных источников идет главным образом на орошаемое земледелие. Сельскохозяйственное водоснабжение, предназначенное для удовлетворения в питьевой воде потребностей населения, животных, работников перерабатывающих и обслуживающих отраслей, базируется в значительной мере на подземных водах [110].

**Жилищно-коммунальное хозяйство** современного города, оборудованного водопроводом и канализацией, потребляет 300 – 600 л воды в сутки в пересчете на одного жителя. Из них затрачивается: на удовлетворение личных потребностей людей около 200 л; для работы коммунальных предприятий около 100 л; для поддержания чистоты в городе (рис. 2.2) до 100 л [119]. Нормы бытового водопотребления в населенных пунктах увеличиваются в соответствии со степенью благоустроенности (табл. 2.2).

Таблица 2.2

**Среднесуточное (за год) водопотребление на хозяйственно-питьевые нужды населения по российским нормам [609]**

Степень благоустройства жилой застройки	Водопотребление в населенных пунктах на одного жителя среднесуточное (за год), л/сут.
Застройка зданиями, оборудованными внутренними водопроводом и канализацией:	
без ванн	125 – 160
с ванными и местными водонагревателями	160 – 230
с централизованным горячим водоснабжением	230 – 350
Застройка зданиями с водопользованием из водоразборных колонок	30 – 50



Рис. 2.1. Подводящий канал из водохранилища на р. Десне к водозаборам Смоленской АЭС [www. rosenergoatom.ru]

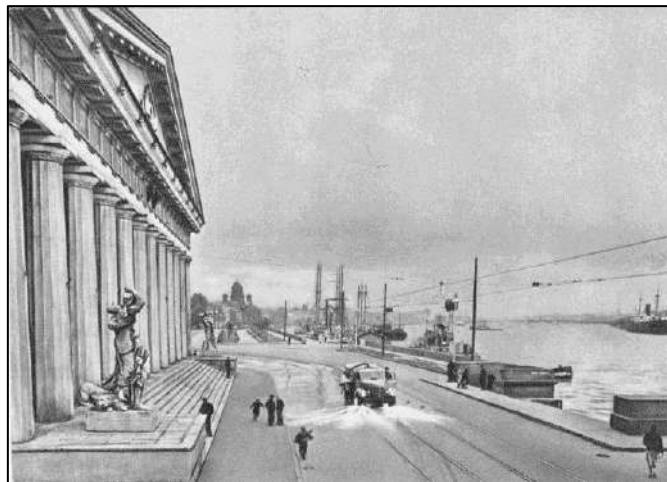


Рис. 2.2. Полив набережной р. Невы у Горного института в г. Ленинграде. 1960 г.



Рис. 2.3. Житель с. Волокославинского Вологодской области, несущий домой «для чая» воду из р. Порозовицы. 2011 г.

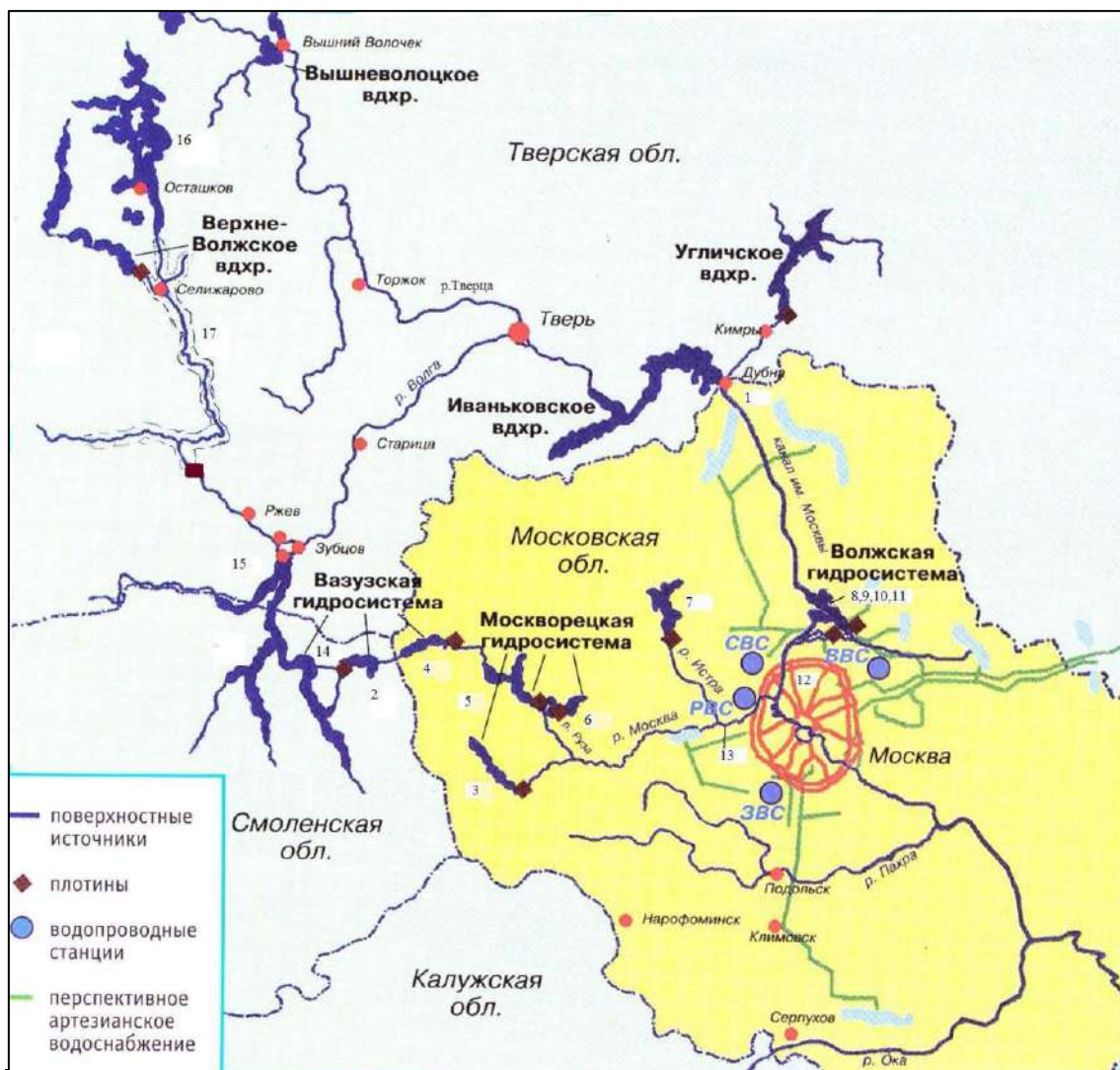


Рис. 2.4 Водохранилища системы водоснабжения Москвы: 1 – канал имени Москвы; 2 – канал Яуза-Руза; водохранилище: 3 – Можайское, 4 – Верхнерузское, 5 – Рузское, 6 – Озернинское, 7 – Истринское, 8 – Икшинское, 9 – Пестовское и Пяловское, 10 – Учинское, 11 – Клязьминское, 12 – Химкинское, 13 – Рублевское, 14 – Яузское, 15 – Вазуское; 16 – оз. Селигер; 17 – проектный контур Ржевского водохранилища; СВС, ВВС, РВС, ЗВС – соответственно Северная, Восточная, Рублевская, Западная водопроводные станции [420]

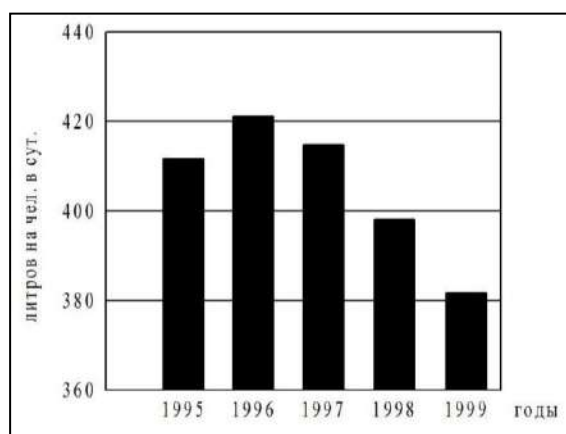


Рис. 2.5. Потребление воды на хозяйственно-питьевые нужды в г. Москве, л / чел. в сутки [420; 719]

Приоритет использования воды для снабжения населения закреплён в Водном кодексе Российской Федерации [118].

Среднесуточное потребление воды на хозяйственно-питьевые нужды в крупных городах России превышает европейские показатели (табл. 2.3), поэтому одной из проблем жилищно-коммунального комплекса считается водосбережение [117].

Таблица 2.3

**Потребление воды на хозяйственно-питьевые нужды  
в крупных городах по приблизительным данным ГГИ [117]**

Страны	Потребление воды на 1 чел. в сутки, л	Города	Потребление воды на 1 чел. в сутки, л
США	705	Нью-Йорк	600
Канада	700	Лондон	300
Франция	290	Париж	500
Испания	340	Осло	590
Египет	180	Токио	560
Россия	400	Санкт-Петербург	480

По состоянию на 2007 г. услугами централизованного водоснабжения был обеспечен 31 % всех населенных пунктов России, не обеспечено водопроводом 24,4 % жилого фонда страны [110] (рис. 2.3). Худшее положение принадлежит Северу и Северо-Востоку России. Так, в Республике Саха (Якутия) более половины населения продолжает жить в условиях децентрализованного обеспечения питьевой водой [436].

**Водоснабжение в России** осуществляется в основном из поверхностных источников. При этом большую роль играют водохранилища. Накапливая половодный сток, они обеспечивают круглогодичное снабжение водой городов и промышленных предприятий, улучшают условия забора воды насосными станциями в связи с поддержанием необходимых уровней у всасывающих труб и уменьшением высоты подкачки, снижают мутность, цветность, запах, окисляемость и бактериальную загрязненность воды, выравнивают сезонные колебания ее качества [122].

Основное требование промышленного и коммунального водоснабжения к режиму водохранилищ заключается в том, чтобы не допускать сработки их уровней ниже минимальных отметок, при которых обеспечивается бесперебойная эксплуатация промышленных и коммунальных водозаборов. Также нормируются минимальные уровни, подлежащие обеспечению в створах промышленно-питьевых объектов нижних бьефов гидроузлов [534].

**Водоохранилища, создаваемые специально для водоснабжения**, как правило, невелики, их объемы обычно не превышают нескольких десятков миллионов кубометров. Однако системы таких водоохранилищ обеспечивают водой многие крупнейшие города мира: Москву, Нью-Йорк, Лондон, Токио, Париж, Рим, Прагу и др. [122]. На рис. 2.4 показана схема системы водоснабжения г. Москвы, состоящей из поочередно создававшихся трех гидротехнических систем – Волжской, Москворецкой и Вазусской. В этой ВХС объединены 15 водоохранилищ с питающими их реками и озерами (табл.2.4). Они осуществляют не менее 95 % ежесуточной водоподачи в город и населенные пункты его лесопаркового пояса [112; 278; 420; 694; 740].

Таблица 2.4

**Характеристики водоохранилищ системы водоснабжения г. Москвы [112; 708]**

Гидросистема	Водоохранилище	Год заполнения	Площадь, км <sup>2</sup>	Полный объем, млн м <sup>3</sup>
Волжская	Икшинское	1937	5,1	15
	Пестовское	1937	11,6	54,3
	Пяловское	1937	6,3	18
	Клязьминское	1936 – 1937	16,2	87
	Химкинское	1937	4	29,5
	Учинское	1937	19,3	50
Москворецкая	Можайское	1961	30,7	235
	Рузское	1966	32,7 (30,59)	220 (201,66)
	Озернинское	1967	23,1 (21,36)	144 (133,41)
	Истринское	1935	33,6 (34,74)	183 (168,04)
	Рублевское		(2,68)	(4,42)
Вазусская	Вазузское	1977	106	539
	Яузское	1977	51	290
	Верхнерузское	1977	9,4	22

Примечание: в скобках уточненные на 2009 г. характеристики водоохранилищ Москворецкой гидросистемы [708].

Данные о водоснабжении г. Москвы показывают максимум водопотребления в 1970 г. (700 л/чел. в сутки) и его сокращение в конце 1990-х гг. (рис.2.5). Это связывают с повышением культуры технического обслуживания систем водоснабжения, повышением тарифов на питьевую воду и ее экономией жителями [420; 719].

В России из водоохранилищ, кроме столицы, обеспечиваются водой многие областные центры: Липецк, Пенза, Курган, Челябинск, Екатеринбург, Владивосток и др. [114].

На обширной территории северо-востока страны, где многие реки зимой перемерзают, водохранилища остаются часто единственным источником водоснабжения. Например, города алмазодобытчиков Мирный, Удачный, Айхал в Якутии в достаточном количестве снабжаются водой из водохранилищ на малых реках.

Наряду с успешными решениями проблемы водоснабжения, есть населенные пункты и целые регионы, испытывающие недостаток в воде.

Так, г. Певек на Чукотке с морским портом и Чаунской ТЭЦ снабжается водой из водохранилища на р. Певек. Емкость водохранилища 1,23 млн м<sup>3</sup> мала. Для питьевых нужд в конце зимы вода доставляется автотранспортом из пресноводного озера, находящегося на близлежащем острове в Чаунской губе Восточно-Сибирского моря. Разрешить вопрос позволило бы строительство гидроузла с водохранилищем на одном из ближайших водотоков [296].

Печальная ситуация с водоснабжением складывалась в Крыму. В 1963 г. открыли Северо-Крымский канал, по которому вода р. Днепр поступила на засушливые земли Крымского полуострова. В апреле 2014 г. власти независимой Украины подачу воды по каналу прекратили. Симферополь, Бахчисарай, Алушта, Евпатория стали испытывать острую нехватку воды. В 2020 г. проложили 800 км труб от Тайганского водохранилища в Белогорском районе до Симферопольского водохранилища. Переброс воды пока обеспечивает крымской столице около трети суточной потребности, остальное получают из подземных источников. В них запасов воды надолго не хватит. ВНИИГ обосновал возможность строительства ряда водохранилищ на малых реках в горной части Крыма. В 2022 г. проявились условия для возобновления подачи днепровской воды по Северо-Крымскому каналу, но нужна очистка ее от опасных загрязнений. Должен появиться общий план обводнения республики [АиФ, 2020. – №49; 2022. – №9].

Водная проблема становится острой не только из-за того, что в некоторых районах страны пресной воды недостаточно, или же ее распределение по сезонам года не отвечает потребностям экономики, а и из-за того, что в результате хозяйственной деятельности вода рек, озер, водохранилищ почти повсеместно загрязняется и ее качество не соответствует тому, которое требуется в системах водоснабжения. В 2007 г. более 28 % проб воды из источников питьевого и хозяйственно-бытового водопользования населения не соответствовало гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям. Из года в год динамика этих показателей не улучшается [110]. В



обобщающей монографии ФГУП РосНИИВХ «Вода России» сообщается, что «жители большинства городов и практически все сельское население пользуется некачественной питьевой водой» [114].

Кстати, первый в мире опыт улучшения качества воды посредством хлорирования перед подачей в водопровод был предпринят в г. Нижнем Новгороде во время Нижегородской ярмарки 1910 г. [141]. Сейчас в водопроводных станциях города на реках Оке и Волге, применяется технология озонирования воды.

Водохранилища являются объектами, способствующими улучшению качества воды за счет разбавления стоков. Расположенные выше мест сброса сточных вод, они позволяют делать разбавительные попуски. С этой целью были запроектированы, например, гидроузлы на реках Белая и Томь в уральском промышленном регионе. Водохранилища Волжского каскада являются санитарами центрального промышленного региона России. Особо следует отметить положительную буферную роль водохранилищ в ликвидации последствий аварийных залповых сбросов промышленных предприятий. Так, при аварии в 1987 г. на Череповецком металлургическом комбинате подверглась загрязнению прилегающая часть Рыбинского водохранилища, предупредив загрязнение воды ниже по течению р. Волги [515]. Таким образом, если в предшествующий период водохранилища возводились для управления стоком рек и его регулирования, в том числе с целью удовлетворения потребностей населения в пресной воде, то теперь стоит новая задача управления качеством пресной воды с помощью водохранилищ [307].

При этом следует понимать, что с ростом плотности населения, развитием промышленности и сельского хозяйства увеличивается вероятность опасных гидроэкологических ситуаций в поверхностных водоисточниках, вызванных производственными авариями или стихийными бедствиями. Размеры этой опасности резко сокращаются в условиях развитой системы управления водными ресурсами, базирующейся на сочетании водопользования из зарегулированных поверхностных источников и из подземных источников (в периоды аварийных ситуаций) [375]. Определенные разработки данного направления ведутся в стране. Так, Республика Мордовия для хозяйственно-питьевого водоснабжения пользуется подземными водами. Обеспеченность прогнозными эксплуатационными ресурсами – 3,16 м<sup>3</sup>/сутки на 1 человека. Объем добываемых вод из 455 водозаборов 164,60 тыс. м<sup>3</sup>/сутки [177]. Для повышения роли подземных вод в водообеспечении

г. Екатеринбурга изучается возможность привлечения в качестве водоисточника Сосьвинско-Шегультинского артезианского бассейна площадью 2 700 км<sup>2</sup>, расположенного на северной территории горно-складчатого Урала. Качество вод этого бассейна устойчиво отвечает современным питьевым стандартам. Добыча воды с глубины 500 – 800 м и ее трубопроводная доставка на расстояние 350 – 450 км представляет дорогостоящий проект, но на будущее это надежный вариант обеспечения питьевой водой населения екатеринбургской городской агломерации [439; 469]. К сожалению, безрезультатно оборвалась в 1990-х гг. попытка подать артезианскую воду в г. Нижний Новгород [420].

Сфера водоснабжения в России получила федеральный проект «Чистая вода», работающий с 2019 г. Из бюджета в нем заложено 147 млрд рублей, со временем должны быть показаны хорошие темпы модернизации: планируется до 2030 г. обеспечить качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения 91 % населения РФ. В городах этот показатель должен достичь 99 % [АиФ, 2020. – №49], а сельские жители уже заранее начинают отвыкать от деревенских колодцев.

## 2.2. Отведение сточных вод

**Сточные воды** – это воды, загрязненные производственными и бытовыми отходами, и атмосферные, удаляемые с территорий промышленных предприятий и населенных мест системами канализации (водоотведения) [603].

**Водоотведение** характеризуется объемами воды, после использования отраслями экономики и населением сбрасываемой в поверхностные водные объекты, в т.ч. реки, водохранилища, специальные накопители, понижения рельефа местности, коллекторно-дренажную сеть.

При суммарном по России заборе воды в 1994 г. в объеме 96,2 км<sup>3</sup> объем водоотведения составил 62,6 км<sup>3</sup>, в том числе 91 % загрязненных сточных вод, требующих очистки, причем почти все эти воды (96 %) были сброшены в поверхностные водные объекты [119]. В 2018 г. при заборе 68,035 км<sup>3</sup> объем сброса сточных вод в поверхностные водотоки и водоемы составил 40,059 км<sup>3</sup> [178] и доля сброшенных загрязненных стоков в этом объеме уменьшилась до 84,8 % [657]. В стране имеются совершенные технологии очистки стоков, постепенно реализуемые на разных промпредприяти-

ях и в разных городах (рис. 2.6).

По сбросам сточных вод **в промышленности** лидирует обеспечение электрической энергией, газом и паром – 21,915 км<sup>3</sup> в 2018 г., затем обрабатывающие производства – 3,017 км<sup>3</sup> и добыча полезных ископаемых – 1,385 км<sup>3</sup> [178]. Степень негативного воздействия промышленных предприятий на окружающую среду стараются минимизировать с помощью экономических, законодательных, административных методов. Введены проекты предельно допустимых сбросов (ПДС), лимиты размещения отходов, взимается плата за загрязнение, пользование природными ресурсами, предусмотрена экологическая экспертиза, надзорные органы ужесточают предъявляемые требования и т.д. В то же время, даже работая в пределах ПДС, промышленные предприятия несут вред окружающей среде [646].

Достаточно напомнить о многолетнем вреде, наносимом озеру-водохранилищу Байкал деятельностью Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК) в г. Байкальске (рис. 2.7). Он начал выпускать целлюлозу, бумагу и картон в 1966 г. После свалившегося на страну капитализма в государственности не удержался. Открытая форма водооборота на ЦБК дожила до XXI века: 240 тыс. т промышленных стоков ежегодно сбрасывали в озеро. Тяжелые фракции образовали в байкальской воде пятно площадью 32 км<sup>2</sup>. Нормы диоксинов вокруг ЦБК были превышены в 40 – 50 раз. К 2013 г. Правительство РФ приняло решение о закрытии ЦБК. В шламонакопителях на берегу озера оставалось около 6,5 млн м<sup>3</sup> отходов IV класса опасности, в цехах – остатки опасных химических веществ. Очистка территории проведена до конца 2021 г. Трудно осознать, как вообще на берегу самого чистого озера мира могло возникнуть одно из вреднейших производств [АН, 2019. – №30].

Подобных примеров можно привести много, а вывод только один: в промышленности необходим переход к новым наукоемким более чистым и щадящим технологиям [535]. Пока же Водный кодекс [118] запрещает сброс сточных вод в водные объекты, содержащие природные лечебные ресурсы, расположенные в границах зон санитарной охраны питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, санитарной охраны лечебно-оздоровительных учреждений, рыбоохранных и заповедных зон.

**Среди населенных пунктов** России централизованной канализацией (на 2007 г.) обеспечено 98 % городов, 81 % поселков городского типа, 5 % сельских населенных пунктов. В городах 92 %, а в сельской местности 69 % централизованно канализированных сточных вод пропускаются через



Рис. 2.6. Курьяновская станция аэрации сточных вод в г. Москве. 1988 г.



Рис. 2.7. Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат [nuus.ru

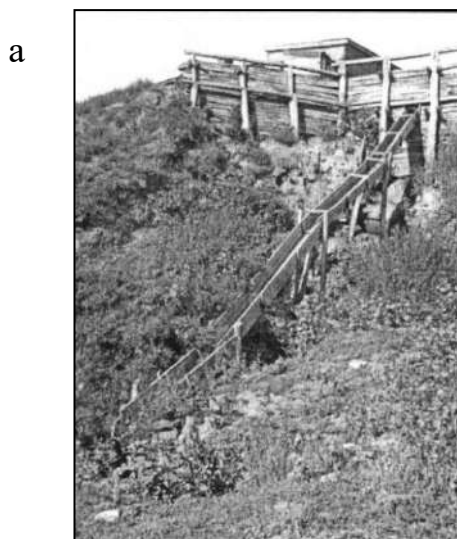


Рис. 2.8. Сброс ливневых вод: а – с правобережной части г. Воронежа в р. Воронеж, начало XX в. [719]; б – с территории г. Городца в межшлюзовой бьеф Нижегородского гидроузла на р. Волге, начало XXI в.



Рис. 2.9. Очистные сооружения на базе биологических прудов в агрофирме «Дороничи» Кировской области [501]



Рис. 2.10. Вывоз навоза на поля. Художник И.Г. Савенко, 1951 г. (музей г. Плес)



Рис. 2.11. Один из выпусков ливневой канализации г. Чебоксары в Чебоксарское водохранилище

очистные сооружения [110].

Так, в г. Санкт-Петербурге первые очистные сооружения появились в 1978 г., а сейчас собирается 95 % городских стоков на очистку. Осадок от очистки сточных вод сжигается с получением тепла и электроэнергии [110].

По данным Минприроды России г. Нижний Новгород за год сократил сбросы загрязненных стоков в поверхностные водоемы (значит в реки Оку и Волгу, т.е. в Чебоксарское водохранилище) на 95 %: с 262,8 млн м<sup>3</sup> в 2017 г. до 1,2 млн м<sup>3</sup> в 2018 г. Феномен зафиксирован на фоне других волжских городов, где ситуация со сбросами загрязненных стоков за тот же год изменилась следующим образом: в Ярославле – минус 1,2 % от 106,9 млн м<sup>3</sup>, в Казани – плюс 6,9 % к 162,4 млн м<sup>3</sup>, в Самаре – плюс 3,7 % к 190,7 млн м<sup>3</sup>, в Волгограде – минус 4,5 % от 82,4 млн м<sup>3</sup> [178]. Материал восторженно прокомментирован нижегородскими СМИ [АН, 2019. – №35], но городские обыватели не так уж охотно верят знаковому событию.

Ливневые воды с территорий городов, как и 100 лет назад, продолжают неочищенными сбрасываться в водные объекты (рис. 2.8).

**В сельском хозяйстве** загрязненные сточные воды образуются преимущественно на объектах животноводства. Они практически не подвергаются очистке, хотя в качестве очистных сооружений наметилось использование биопрудов. На свинокомплексе агрофирмы «Дороничи» Кировской области в начале 1990-х гг. были сданы в эксплуатацию первые в стране крупные биопрудовые очистные сооружения сельскохозяйственного назначения площадью 76 га (рис. 2.9). Пульпа свиного навоза, удаляемого гидросмывом, пройдя отстойники, водорослевый, рачковый и рыбоводный пруды, превращается в воду, пригодную для использования на технические нужды. Контрольные органы рекомендуют эти недорогие очистные сооружения к широкому применению на сельхозпредприятиях [501].

Воды, стекающие в реки и водохранилища с полей отнесены к категории «нормативно-чистых», но фактически загрязнены ядохимикатами, азотными и фосфорными соединениями, минеральными веществами (рис. 2.10). Никакой очистке эти воды не подвергаются [110].

**Все водохранилища на реках России испытывают антропогенную нагрузку сточными водами.** Неочищенные стоки являются одним из основных факторов загрязнения водохранилищ.

Остановимся на р. Волге. Она на протяжении веков испытывает очень высокую антропогенную нагрузку на экосистему, которая в последние

десятилетия существенно не уменьшается [707]. Сегодня в бассейне Волги насчитывают 5,5 тыс. контролируемых выпусков промышленных, коммунальных и ливневых сточных вод (рис. 2.11). Поступления загрязняющих веществ от неконтролируемых источников, как точечных, так и распределенных (атмосферные выпадения, сток с промплощадок, с селитебных территорий, с сельхозугодий, загрязнения от водного транспорта, рекреации, аварийные сбросы), не поддается надежной оценке, но считается во много раз большим, чем от контролируемых источников [112]. Бассейн Волги отличается от бассейнов других больших рек наиболее высокими величинами показателей водозабора из поверхностных водных объектов и сбросов в них сточных вод как по абсолютным значениям, так и по отношению к водному стоку (табл. 2.5) [707].

Таблица 2.5

**Средние многолетние (1985 – 2015 гг.) показатели годовых водозаборов и сбросов сточных вод на водосборе р. Волги в сопоставлении с другими реками, км<sup>3</sup>/год [707]**

Бассейн реки	Средний многолетний водозабор из поверхностных источников, км <sup>3</sup> /год	Отношение водозабора из поверхностных источников к водному стоку, %	Сбросы в поверхностные водные объекты, км <sup>3</sup> /год	Отношение сбросов в поверхностные водные объекты к водному стоку, %
Волга	20,430	8,17	16,237	6,49
Сев. Двина	0,556	0,53	0,536	0,52
Печора	0,393	0,35	0,403	0,35
Обь	8,880	2,08	7,565	1,84
Енисей	3,140	0,52	3,040	0,50
Лена	0,188	0,03	0,232	0,04

В волжских водохранилищах сточные воды подвергаются разбавлению и самоочищению. Среднемноголетний сток Волги 254 км<sup>3</sup>. Основная часть стока приходится на двухмесячное половодье, а около четверти стока, т.е. примерно 60 км<sup>3</sup>, на остальную часть года. Сравните величины внеполоводного стока (60 км<sup>3</sup>), годового забора воды (20 км<sup>3</sup>) и сброса сточных вод (16 км<sup>3</sup>, см.табл.2.5). Получай Волга в незарегулированном состоянии, т.е. при 60 км<sup>3</sup> меженного стока и при 20 км<sup>3</sup> годового забора воды, 16 км<sup>3</sup> загрязненных сточных вод, это было бы губительно для реки. Аккумулирующие емкости водохранилищ позволили увеличить меженные расходы

воды примерно в 4 раза, избежать гибели Волги и дают, хотя и не без проблем, волжскую воду для питьевого, технического и культурно-оздоровительного водопользования. Причем зарегулирование изымает из половодного стока Волги только  $70 \text{ км}^3$ , а остальная его часть сбрасывается в Каспийское море сохраняя сложившийся веками водный режим [380; 512].

Предельная нагрузка сточными водами на поверхностные водные объекты в бассейне Волги составляет  $25,4 \text{ км}^3/\text{год}$  чтобы обеспечить минимально необходимое 10-кратное их разбавление. Поскольку в маловодные годы сток Волги может быть менее  $200 \text{ км}^3/\text{год}$ , следует признать, что объемы водоотведения достигли близкого к предельному уровня [112].

В 1998 г. Правительством РФ (Постановление от 24.04.1998 №414) была утверждена Федеральная целевая программа (ФЦП) «Оздоровление экологической обстановки на реке Волге и ее притоках, восстановление и предотвращение деградации природных комплексов Волжского бассейна на период до 2010 года» («Возрождение Волги»), научным руководителем которой назначен ректор ННГАСУ, академик РААСН В.В. Найденко (1938 – 2005). ФЦП консолидировала усилия 39 субъектов РФ и федеральных органов управления по экологическому оздоровлению этого важнейшего для России региона, но за годы ее реализации было допущено значительное отставание фактического финансирования предусмотренных мероприятий [420], а в середине 2000-х гг. ее благополучно похерили. В настоящее время действует государственная программа «Оздоровление Волги» в нацпроекте «Экология». Она нацелена на очистку стоков, многие предприятия Поволжья включились в нее, готовят свои проекты [АиФ, 2020. – №49]. Город Нижний Новгород до 2024 г. собирается в 3 раза снизить сбросы загрязненных сточных вод в р. Волгу [МК, 2020. – 20 – 30.12] несмотря на то, что в 2018 г. уже, по отчету, снижал их на 95 % (см. выше).

Хотя в последние годы объемы сброса загрязненных сточных вод в р. Волгу в целом снижаются [178; 605; 707], но только развитая экономика сможет выделить достаточно средств для желаемой минимизации загрязнений и восстановления природной среды [109].

### **2.3. Личные потребности человека**

Закрывая вопрос использования водохранилищ для водоснабжения и водоотведения, коснемся **нужд собственно человека.**



Томас Мор (1478 – 1535), английский гуманист, государственный деятель и писатель, один из основоположников утопического социализма [603], определил четыре основные чувства человека, удовлетворение которых доставляет высшее блаженство по Морю. На первое место Мор поставил голод – удовлетворение съеденной пищей, второе по силе чувство – половое, третье – мочеиспускание, четвертое – дефекация.

Суточная физиологическая потребность взрослого человека в воде 35 – 75 г на 1 кг массы [719]. Несколько международных организаций и экспертов вычислили, что 50 л в день (чуть более 18,25 м<sup>3</sup> в год) – объем воды, способный удовлетворить основные человеческие потребности для питья, приготовления пищи, стирки и гигиенических нужд [486]. Таким объемом примерно и обходятся жители сельской глубинки России (рис. 2.12): «...Видех бани древлян, и пережгут их вельми, и сволокуются, и будут нази... и возьмут ветвие, и начнут ся бити, и того добьют, одва вылезут живи сущи, и обольются водою студеною, и токо оживут... и тако творят не мытву себе, но мучение...» – цитата по изданию Несторовой летописи 1767 г. Горожане тратят на себя воды побольше: на мытье под душем 20 – 50 л, на принятие ванны 150 – 200 л, на слив унитаза 5 – 10 л. Водосбережение – актуальная задача пользующегося водопроводом городского жителя.

На посещение туалета, по статистике, человек в среднем тратит 3,5 минуты, делает это 5,5 раз в сутки, проводя в туалете почти год своей жизни. Теплый сортир можно считать одним из главных признаков цивилизации. Именно те страны, где наблюдался прогресс по туалетной части, оказывались самыми передовыми для своего времени. В крупных городах Римской империи в I веке существовали разветвленные канализационные системы и общественные уборные, не делившиеся на «М» и «Ж», но делившиеся по сословиям. В Европе XIII столетия жители городов опорожнялись будто бы на головы прохожим (рис. 2.13) [719]. На Руси справляли нужду в деревянных нужниках. Традиция сохранилась по сей день, уцелев во все выпавшие на долю отечества лихие годы (рис. 2.14). По данным Всемирной туалетной организации (World Toilet Organization) 42 % жителей планеты не имеют доступа к коммунальным удобствам. В 2019 г. Росстат сообщил, что доступа к централизованной канализации не имеют 22 % населения России, он же дал неутешительный прогноз: возможность провести время на фаянсовом унитазе приобретают всего 0,5 % россиян в год.

В китайском городе Чунцин устроен самый большой общественный туалет мира, рассчитанный на 2000 посетителей одновременно. Здесь



Рис. 2.12. Семейная сельская баня с прудом

а



б

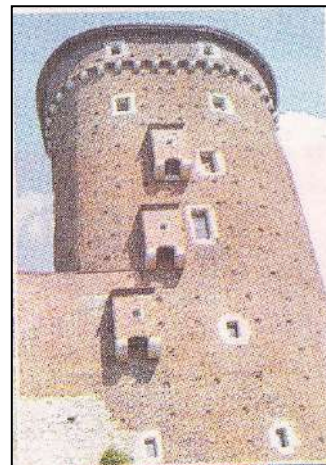


Рис. 2.13. Древнеримская общественная уборная (а) и средневековые европейские сортиры (б)



Рис. 2.14. Общественный туалет у клуба в с. Волокославинском Вологодской области. 2011 г.



Рис. 2.15. Табличка в лифте жилого дома.  
Украина. 2006 г.



Рис. 2.16. «Фонтан» М.Дюшана на выставке современного искусства в Национальной галерее Шотландии [687]



Рис.2.17. Частный туалет в Бангкоке, на его изготовление ушло 380 кг золота, 2006 г.

писсуары в виде голов мадонн и чудовищ, эротические скульптуры, играет музыка. Но во многих городах (в т. ч. в нашей стране) сложилась напряженность с общественными туалетами. Их недостаток заставляет горожан оправляться где попало, что приводит к непредсказуемому загрязнению городской среды (рис. 2.15).

Туалетная тема востребована для творчества и самовыражения. Еще в 1917 г. француз Марсель Дюшан приобрел стандартный писсуар, объявил его произведением искусства, назвал «Фонтан», подписал и отправил на выставку в нью-йоркскую галерею. В нашем гуманистическом мире работа Дюшана признается важной художественной вехой. Сегодня копии шедевра имеются в залах крупнейших музеев мира (рис.2.16). В художественных учебных заведениях студентов направляют в нужное русло: «Что такое искусство? Искусство – это то, что считают искусством люди». Если люди считают, что писсуар – произведение искусства, значит так оно и есть [687]. У М. Дюшана много последователей.

Как известно, люди творческие – люди ранимые, с тонкой и часто неуравновешенной психикой. На них сказываются переутомление, эмоциональные потрясения и пр. Ощущая свою творческую импотенцию, некоторые, самовыражаясь, выдают непотребное за новаторство в искусстве.

Обычной (нетворческой) личности существенного самовыражения можно достигнуть, оборудовав, к примеру, золотой туалет – для гостей (рис. 2.17).

# ГЛАВА 3. ГИДРОЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

## 3.1. Энергетика в России

Отрасль экономики, охватывающая энергетические ресурсы, выработку, преобразование, передачу, использование различных видов энергии, называется **энергетикой** [603]. Антропогенная энергетика, т.е. механизм преобразования энергии, созданный людьми для своей жизнедеятельности, на космическом уровне фактически неразличима, она составляет менее двух десятитысячных энергии Солнца, поступающей на Землю. На планетарном уровне антропогенная энергетика достаточно заметна, она достигает почти 5 % энергии процессов фотосинтеза, обеспечивающих жизнь на Земле. Наконец, антропогенная энергетика в 15 раз превышает совокупную энергию всех живущих на Земле людей и в 60 раз – их общую мощность. За период с 1860 г. до начала XXI в., когда на смену традиционным дровам и двигательной силе животных пришел уголь и паровые машины, затем нефть и двигатели внутреннего сгорания и наступил век электричества, статистика зафиксировала увеличение среднего по миру душевого производства энергии с 0,29 до 1,68 тонн нефтяного эквивалента (ТНЭ) в год. По прогнозу Международного энергетического агентства дальнейший спрос на энергию в мире увеличится в полтора раза к 2030 г. и к 2050 г. – почти вдвое, хотя мировые финансово-экономические кризисы могут существенно понизить прогнозные числа [368; 472].

Важнейшей частью энергетики является **электроэнергетика** [603].

Электроэнергия, как известно, вырабатывается (генерируется) тепловыми, атомными, гидравлическими электростанциями, а также альтернативными (нетрадиционными) ветровыми, солнечными, геотермальными и др., использующими невозобновляемые (ископаемое топливо) и возобновляемые (энергию падающей воды, ветра, солнца, тепло недр Земли) источники энергии. К настоящему времени в мире сложилось следующее соотношение видов генерации электроэнергии: тепловая – 67,9 %; гидравлическая – 16,2 %; атомная – 10,9 %; альтернативная – 5 % [728].

**У российской энергетики** есть специфика в плане расходования ископаемого топлива: на получение электроэнергии топлива идет около 13 %, значительно большее количество его тратится на обеспечение страны теплом [653]. У нас нет ни одного предприятия и поселка без котельной в отличие от почти всего остального мира.

Установленная мощность электростанций в России по состоянию на 1 января 2020 г. составила 246342,45 МВт, в том числе: ТЭС – 66,82 %; ГЭС – 20,24 %; АЭС – 12,31 %; остальные – 0,62 %. Минэнерго, подводя итоги и оглянувшись на достижения прошедшего десятилетия, сообщило: выработка электроэнергии за 2019 г. составила 1080,6 млрд кВт·ч, впервые превысив показатели РСФСР образца 1991 г. (1075 млрд кВт·ч). Расклад по источникам вышел следующий: ТЭС – 679,9 млрд кВт·ч, АЭС – 208,8 млрд кВт·ч, ГЭС – 190,3 млрд кВт·ч, остальные – 1,62 млрд кВт·ч [735]. Примерно такое процентное соотношение выработки электроэнергии на ТЭС, АЭС и ГЭС в стране сохраняется уже не первый десяток лет [110; 119; 474]. За 10 лет ввели 43 МВт мощностей и до 62 млрд кВт·ч / год выросло производство электроэнергии на частных электростанциях предприятий [АН, 2019. – №7]. Достижениями отрасли можно гордиться, лишь цена электроэнергии для потребителей ограничивает конкурентные преимущества бизнеса страны [429].

Надо заметить, что в России есть необходимость рационализации электропотребления (рис. 3.1). Например, около 5 % вырабатываемой в стране электроэнергии тратится на электроосвещение. Электрические лампы накаливания выпускаются в мире с 1879 г. по патенту Т. А. Эдисона (1847 – 1931), американского изобретателя и предпринимателя, иностранного почетного члена Академии наук СССР с 1930 г. [472; 603]. Несколько десятилетий назад в продаже появились компактные люминесцентные лампы, которые при той же яркости берут в 3 – 5 раз меньше электроэнергии, чем лампы накаливания, а срок службы у них в 5 – 15 раз дольше. В Евросоюзе с 2009 г. начала вводиться отмена ламп накаливания. В этом же направлении делает шаги Россия. Внедрение энергоэффективного освещения даст возможность сбережения 60 % электроэнергии в данном сегменте ее потребления. Следующий этап прогресса – переход на светодиоды – позволит поднять энергоэффективность на порядки [137].

В 2008 г. с участием Российской академии наук (РАН) была разработана «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» (утверждена распоряжением Правительства РФ № 1715-р от 13.10.2009 г.).

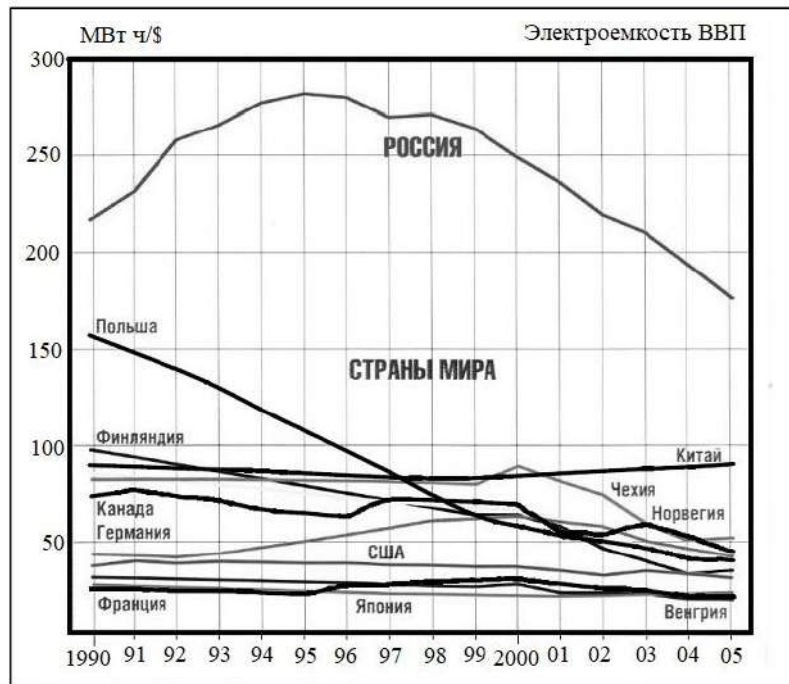


Рис. 3.1. Электроёмкость внутреннего валового продукта (ВВП) в разных странах, 2006 г. [Вестник ГидроОГК, март 2018]

Стратегия предусматривала в структуре производства электрической энергии стабилизацию объемов потребления природного газа и рост потребления угля, дальнейшее развитие атомной энергетики, расширение использования гидроэнергетических ресурсов [368; 474; 653]. Ожидалась следующая потребность в электрической энергии:

2020 г. 1 315 – 1 518 млрд кВт·ч,

2030 г. 1 740 – 2 164 млрд кВт·ч.

Потребность в мощности для обеспечения указанной выработки электроэнергии прогнозировалась следующей:

2020 г. 275 – 315 тыс. МВт,

2030 г. 355 – 445 тыс. МВт.

При этом на долю ГЭС отводилось в 2020 г. 224 – 240, а в 2030 г. 319 – 422 млрд кВт·ч выработки [474], т.е. примерно те же проценты, что и прежде, хотя гидроэлектростанции, как известно, являются наиболее чистым производителем электроэнергии по сравнению с ТЭС и АЭС. Объем демонтажа к 2030 г. должен составить 67,7 млн кВт генерирующих мощностей, в том числе 16,5 млн кВт на АЭС и 51,2 млн кВт на ТЭС [472].

Академик О. Н. Фаворский нашел эту стратегию развития энергетики страны «чрезвычайно оптимистичной» [653]. Увеличить к 2030 г.

производство электроэнергии в 1,5 раза – сложная задача для современной рыночной экономики России. В энергетике нашей страны самыми результативными были 1980 – 1985 гг. В тот период наряду с успешным развитием тепло- и гидроэнергетики интенсивно развивалась ядерная энергетика. Ежегодный ввод новых мощностей на АЭС достигал 4 млн кВт, а в целом на всех объектах энергетики максимальный годовой прирост мощностей достиг 12 млн кВт – показатель по своей величине, тогда еще не виданный в мире (рис. 3.2) [703]. Удастся ли приблизиться к нему – покажет время.

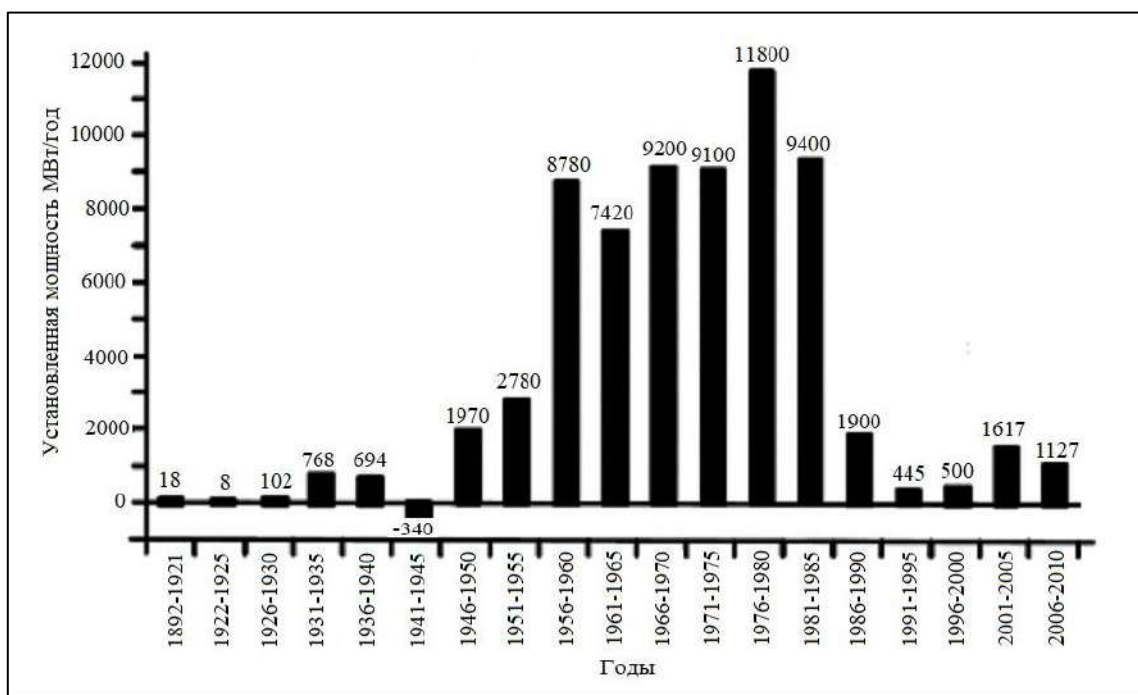


Рис. 3.2. Темпы ввода мощностей на ТЭС, АЭС и ГЭС в СССР и России [342]

В разных странах мира занимают место заведомо приемлемых технологий **нетрадиционные возобновляемые источники энергии (ВИЭ)**. Наиболее яркий пример – ветроэнергетика с ее тысячелетней историей. Но они в своем большинстве еще далеки от существенного вклада в решение энергетических проблем человечества [138; 398].

В России потенциальные возможности нетрадиционных возобновляемых источников энергии сравнительно невелики [372; 472] и степень их освоения невысокая. По оценкам ОАО «РусГидро» [472] развитие генерации на основе ВИЭ в стране могло бы пойти следующими темпами (МВт):



	2009 г.	2020 г.	2030 г.
ветроэнергетика	11,75	7000	17000
солнечная энергетика	0,1	2500	6200
геотермальная энергетика	80,1	300	3500
биотопливо	1234	4000	10000
всего	1326	13800	33550

Использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии в России – это энергетика местного значения для поселений и производств в отдельных труднодоступных районах и в районах децентрализованного электроснабжения [653].

### **3.2. Тепловые, атомные, гидравлические электростанции и их воздействие на окружающую среду**

Электроэнергетика, как и другие отрасли экономики, оказывает вредное воздействие на окружающую среду. Она лидирует по выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух, близка к лидерству по сбросам загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты и по образованию отходов производства.

**Теплоэлектростанции** дают основную долю выработки электроэнергии в стране и наносят наибольший вред окружающей среде (табл. 3.1).

Современная ТЭС, работающая на угле по имеющейся в стране и мире технологии, потребляет его примерно 4 млн т в год, вырабатывая около 6 млрд кВт·ч электроэнергии. В среднем добыча 4 млн т угля сопровождается нарушением 36 га земельных угодий (рис. 3.3), образованием отвалов пустой породы до 8 млн м<sup>3</sup>, сбросами в окрестные водоемы 840 т взвешенных частиц, 16400 т минеральных солей, выбросами в атмосферу более 7000 т твердых веществ.

В качестве комментария к рис. 3.3 можно привести сведения о Коркинском угольном разрезе. Месторождение с мощностью угольного пласта 100 – 200 м открыли в 1931 г. В 1934 г. разрез был введен в эксплуатацию. Это самый глубокий (до 500 м) угольный разрез в Европе. Резкое увеличение добычи угля пришлось на военные годы, затем неоднократно проводилось техническое перевооружение производства. Отвалы горной породы из разреза вытянулись вдоль трассы М36 на 25 км. В 2018 г. сообщалось, что разрез закрывается.

Таблица 3.1

## Показатели воздействия ТЭС на окружающую среду [598]

Наименование	Количество
Расход условного топлива*, т у.т./кВт·ч	250 – 481
Изъятие земель под объекты топливодобычи, км <sup>2</sup> /1 млн т у.т.	1,5
Территория, необходимая для площадки ТЭС, км <sup>2</sup> /ГВт	0,8 – 1,2
Территория, необходимая для пруда-охладителя, км <sup>2</sup> /ГВт	5 – 6
Отчуждение земель под золошлакоотвалы, м <sup>2</sup> /1 млн кВт·ч	15
Выброс вредных веществ, кг/1 кВт·ч	до 0,008
Потребление атмосферного кислорода, кг/кВт·ч	0,8 – 0,9
Выброс тепла в атмосферу, % от тепловой мощности	15
Потребление водных ресурсов, м <sup>3</sup> /1 кВт·ч	3,3
Сброс сточных вод, м <sup>3</sup> /1 кВт·ч	до 0,002
Сброс тепла в водные объекты, % тепловой мощности	30 – 50

\* Условное топливо (у.т.) имеет теплоту сгорания 30,5 МДж/кг = 8,5 кВт·ч/кг = 7000 ккал/кг.

При сжигании на ТЭС указанного выше количества угля (4 млн т/год) в атмосферу ежегодного выбрасывается около 1 200 т окислов углерода, 30 000 т сернистого ангидрида, 20 000 т окислов азота. В выбросах также содержится: кобальта – 12 т, никеля – 20, хрома – 16, ртути – 55, марганца – 925, меди – 12, лития – 40, титана – 425, фтора – 750, ванадия – 50 т. Из указанных элементов наиболее токсичны марганец, ванадий, хром, кобальт, ртуть, фтор, которые имеют способность накапливаться в окружающей среде, многие из них характеризуются канцерогенными свойствами. За 10 лет в округе выпадет 550 т одной только ртути. Кроме того, примерно  $3,7 \cdot 10^{11}$  Бк составляет ежегодный выброс радионуклидов. К этому следует добавить, что мировое годовое потребление кислорода тепловыми электростанциями достигает 27 млрд т (около 25 % от его образования) и в 5 раз превышает его потребление всеми жителями Земли [512; 607].

Отходами угольных ТЭС являются зола и шлаки, складываемые в золоотвалах (рис. 3.4). В 1 т золы содержится около 100 г радиоактивных веществ, они скапливаются в золоотвалах ТЭС и могут попадать в организм людей по пищевым цепочкам при размывании водой [723]. Характерной особенностью золоотвалов является беспрецедентно высокая аварийность по сравнению с другими промышленными и гидротехническими сооружениями [332].

В Волжском бассейне, где потребности в электроэнергии покрываются большей частью за счет ТЭЦ (80 % выработки), на долю предприятий

теплоэнергетического комплекса приходится 50 % выбросов в атмосферу от суммарного их объема, до 35 % отведения сточных вод в поверхностные водные объекты и около 30 % твердых отходов, занимающих значительные площади земель [123]. По данным Росгидромета 30 млн российского населения проживает в городах, где среднее за год содержание в воздухе взвешенных веществ и диоксида азота выше 10 предельно допустимых концентраций (ПДК) [49]. В 2019 г. стартовал федеральный проект «Чистый воздух» – одно из направлений нацпроекта «Экология». По нему 12 крупнейших промышленных городов должны снизить выбросы вредных веществ в атмосферу на 20 % [КП, 2020. – 25.12].

На рис. 3.5 приведены сравнительные данные о вреде здоровью населения Европы (180 млн человек) при производстве электроэнергии на основе разных энергоносителей. Вред выражен в натуральных показателях (потерянные годы жизни на 1 ТВт·ч выработанной электроэнергии) и представлен в усредненном виде. Результаты свидетельствуют о безусловном преимуществе вреда энергетики на углеводородном топливе [607], но видно, что вред меньше при сжигании газа.

В Энергетической стратегии России на период до 2030 г. (см. раздел 3.1) в качестве условия повышения энергетической безопасности и обеспечения экономических интересов страны предусмотрена диверсификация топливной структуры энергопотребления: уменьшение доли природного газа за счет увеличения доли угля. Таким образом, стратегия обещает рост загрязняющих выбросов в атмосферу и увеличение площадей под золоотвалами ТЭС. Еще Н.С. Хрущев, Первый секретарь ЦК КПСС и Председатель Совмина СССР в 1953 – 1964 гг., в речи на митинге по поводу официального открытия Волжской ГЭС им. В.И. Ленина (Куйбышевской) 9 – 10 августа 1958 г. сообщил гидростроителям, что отныне предпочтение будет отдано не гигантским гидроэлектростанциям, а тепловой электроэнергетике. Этот тезис был воспринят строителями крупнейшей в мире ГЭС с недоумением [108]. Выходит так, что решения, принятые в прошлом, творят наше настоящее и будущее [102; 141]. Привет с заседаний старого доброго Верховного Совета: продолжительные аплодисменты, все встают.

Многие тепловые электростанции России работают на мазуте. Наиболее мощные из них: Костромская (3,6 млн кВт), Рязанская (2,72 млн кВт), Пермская (2,4 млн кВт), Конаковская (2,4 млн кВт), Ставропольская (2,4 млн кВт), Новочеркасская (2,245 млн кВт). В районах децентрализованного энергоснабжения приходится содержать малоэкономичные дизельные



Рис. 3.3. Коржинский угольный разрез в Челябинской области [ranive.ru]



Рис. 3.4. Золошлаковые отходы Игумновской ТЭЦ на промплощадке в пойме р. Оки у г. Дзержинска Нижегородской области [392]

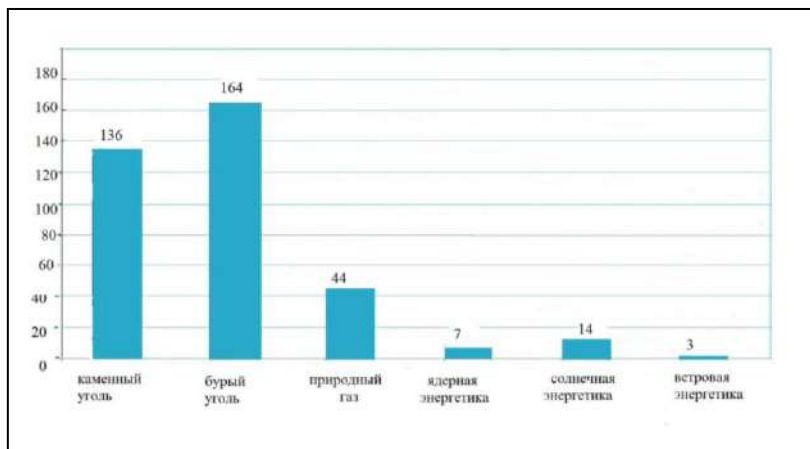


Рис. 3.5. Ущерб здоровью населения Европы при производстве электроэнергии на различных видах топлива (потерянные годы жизни, чел-лет /ТВт·ч выработанной электроэнергии) [607]

электростанции (ДЭС). Так, в Чукотском автономном округе в 1990-х гг. количество ДЭС приближалось к 400 с общей установленной мощностью около 250 МВт, а расход жидкого топлива составлял 320 тыс. т/год [296]. Жидкотопливная электроэнергетика также вносит свой вклад в загрязнение окружающей среды. Особенно большую техногенную нагрузку на природу испытывают районы сосредоточенной нефтедобычи, например Ханты-Мансийский автономный округ – Югра. Площадь округа 534,8 тыс. км<sup>2</sup>, из которых более 160 тыс. км<sup>2</sup> занято промышленными объектами – буровыми установками, трубопроводами, площадками по добыче и первичной переработке нефти. Техногенная нагрузка характеризуется следующими натуральными показателями: 156 тыс. эксплуатационных и разведочных скважин; 84 тыс. км трубопроводов, на которых в 2010 г. произошла 4 371 авария; 549 факелов, на которых в 2010 г. сожжено 4,9 млрд м<sup>3</sup> попутного нефтяного газа и выброшено в атмосферный воздух 1 млн т загрязняющих веществ; 1 798 шламовых амбаров, принимающих ежегодно около 2 млн т отходов нефтедобычи, с неизбежным диффузным стоком загрязняющих веществ и попаданием их в водные объекты. Характер и степень воздействия на природные комплексы не позволяют решить назревшие экологические проблемы в рамках одного субъекта РФ [485].

**Атомные электростанции** эксплуатируются в 30 странах мира, где живут две трети населения планеты [138] (рис. 3.6).

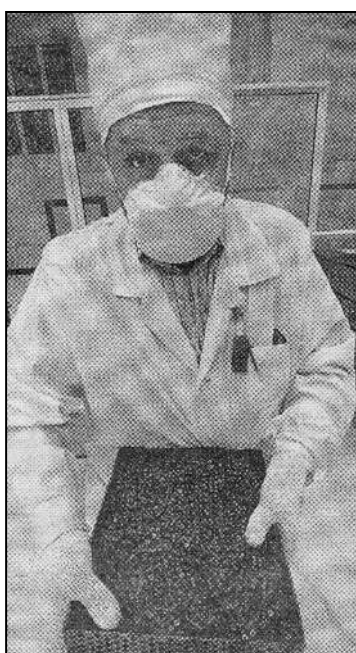


Рис. 3.6. 1970-е гг. Демонстрация преимущества атомной электростанции перед тепловой: ядерное топливо в лотке заменяет 60 вагонов каменного угля

СССР в 1954 г. совершил пуск первой в мире АЭС мощностью 5 МВт

в г. Обнинске. Сегодня в России эксплуатируются 10 атомных электростанций, объединенные в ОАО «Концерн Росэнергоатом»: Балаковская, Белоярская, Билибинская, Волгодонская, Калининская, Кольская, Курская, Ленинградская, Нововоронежская, Смоленская [305; 607]. Первенцем большой ядерной энергетики страны является Белоярская АЭС, расположенная на Урале в 45 км от г. Екатеринбурга в истоках р. Пышмы (бассейна р. Оби): блок №1 АЭС мощностью 100 МВт был введен в эксплуатацию в 1964 г. (рис. 3.7). Самая молодая АЭС России – Волгодонская (Ростовская): два ее энергоблока мощностью по 1000 МВт пущены в 2001 и 2010 гг. (рис. 3.8).

После катастрофы, постигшей Чернобыльскую АЭС на Украине 26 апреля 1986 г., было прекращено строительство Костромской, Татарской, Башкирской, Волгодонской АЭС, развитие атомной энергетики в европейской части России было остановлено [108]. Значительная часть российского общества сохраняет представление о возможности и целесообразности отказа от этого источника энергии. Но международные эксперты в прошлом веке предсказывали превращение ядерной энергии в спутника человечества, которого оно признает неизбежным, и российское государство вновь проявило к ней интерес. В 2006 г. состоялось объявление новой ядерно-энергетической политики России на высшем государственном уровне с возвращением, впервые после советских времен, госбюджетного финансирования строительства АЭС [138].

На конец 2008 г. в различных стадиях строительства находились 7 энергоблоков на 5 АЭС – Волгодонской, Калининской, Белоярской, Ленинградской и Нововоронежской. В 2010 г. была заложена Балтийская АЭС в Калининградской области. Выполнены изыскания площадок Северской, Тверской, Нижегородской (рис. 3.9), Южно-Уральской, Центральной АЭС. Стоимость строительства стандартного энергоблока АЭС объявлена порядка 2 млрд евро [305] или примерно 2 600 долларов/кВт. Если капиталовложения в строительство АЭС реально составят большую величину, то в центральных районах страны их электроэнергия будет дороже, чем у парогазовых ТЭС [368].

Россия – единственная из стран – обладает флотом гражданских атомных судов. ОАО «Концерн Росэнергоатом» начал осуществлять проект строительства плавучих атомных теплоэлектростанций (ПАТЭС), предназначенных для обеспечения электрической и тепловой энергией потребителей в удаленных топливодефицитных районах России. В 2007 г. состоялась закладка первой ПАТЭС – несамоходного судна с двумя реакторными

установками, обеспечивающими выдачу 60 МВт электрической мощности и 50 Гкал/ч тепловой энергии для нагрева теплофикационной воды [305]. В 2019 г. она, получившая имя «Академик Ломоносов», Северным морским путем переправлена к г. Певеку на Чукотке (рис. 3.10). Потенциальный срок эксплуатации ПАТЭС 38 лет [305].

Аварии происходили на атомных электростанциях в разных странах: «Чолк Ривер» в Канаде, 1952 г.; «Windscale Pile» в Великобритании, 1957.; «Святой Лаврентий» во Франции, 1969 г.; «Браунс Ферри» в США, 1975 г.; «Богуннице» в Чехословакии, 1976 г.; Белоярской в СССР, 1978 г.; «Тримайл Айленд» в США, 1979 г., из района радиационного воздействия было эвакуировано 200 тысяч человек, работы по очистке разрушенного энергоблока заняли 12 лет и обошлись в 1 млрд долларов; «Цугура» в Японии, 1981 г.; «Пакш» в Венгрии, 2003 г.; «Михама» в Японии, 2004 г.; «Фукусима-1» и «Фукусима-2» в Японии, 2011 г., из 20-километровой зоны эвакуировано около 170 тысяч человек [472]. После всего состояние мировой атомной энергетики на 2014 г. оказалось следующим. В мире имеется 437 действующих энергоблоков АЭС общей мощностью 373300 МВт, в том числе по странам: США – 104 блока (102000 МВт), Франция – 58 блоков (63100 МВт), Япония – 51 блок (46600 МВт), Россия – 33 блока (25200 МВт), Южная Корея – 23 блока (20800 МВт), Украина – 15 блоков (13800 МВт), другие страны – 153 блока (101800 МВт). Строятся в мире 72 энергоблока общей мощностью 70000 МВт, в том числе по странам: Китай – 28 блоков, Россия – 8, Индия – 6, Южная Корея – 5 блоков, США, Франция, Финляндия, Болгария, Словакия, Пакистан, Саудовская Аравия, другие страны – по 1 – 2 блока. Заявления о намерениях строить АЭС сделали: Турция, Египет, Марокко, Нигерия, Чили, Бангладеш, Индонезия, Вьетнам, Таиланд, Австралия, Малайзия, другие страны. Стоимость строительства АЭС объявлена 3 – 4 тыс. долл./кВт против стоимости ТЭС с парогазовыми установками 1 – 2 тыс. долл./кВт. Ликвидируют все АЭС: Германия – к 2020 г., Бельгия – к 2025 г., Швейцария – к 2034 г., Италия – в 1990 г. остановлены все АЭС, Швеция – постепенно, Япония – в 2011 г. остановлены все АЭС [476].

На атомных электростанциях всего 1 кг низкообогащенного урана выделяет энергию, эквивалентную сжиганию примерно 100 т (2 вагона) каменного угля или 60 т (2 цистерны) нефти [723]. Но добыча и обогащение урана не безвредное производство.

По основным природоохранным показателям ядерный топливный цикл считается более экологичным, чем угольный, за счет отсутствия



Рис. 3.7. Белярская АЭС [723]



Рис. 3.8. Волгодонская АЭС [723]



Рис. 3.9. Нижегородская АЭС. Проект Нижегородской инжиниринговой компании «Атомэнергопроект»: местоположение – на берегу р. Оки в Навашином районе Нижегородской области; первая очередь – два блока мощностью по 1170 МВт





Рис. 3.10. Плавучая АТЭС «Академик Ломоносов», буксируемая от г. Мурманска к г. Певеку. 23.08.2019 [<https://news-life.ru/>]



Рис. 3.11. Окрестности Курской АЭС [723]



Рис. 3.12. Наземное хранилище радиоактивных отходов в Голландии с бетонными стенами толщиной 1,7 м способное выдержать землетрясение силой 6,5 баллов [73]

выброса парниковых газов и потребления кислорода, меньшей землеемкости, меньшего сброса загрязненных вод. По заключению комиссии государственной экологической экспертизы Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору российские АЭС признаны экологически чистыми предприятиями [305; 607]. Однако АЭС потребляют большое количество воды и от них образуется три вида отходов – газообразные, жидкие, твердые, а также уходящее тепло. В атмосферу от АЭС при штатной работе выбрасываются более 250 ингредиентов, среди которых диоксид серы (40 %), твердые вещества (30 %), оксид углерода (15 %), оксид азота (10 %). Производственные сточные воды АЭС относят к категории нормативно-чистых [114].

Современной концепцией в области влияния факторов внешней среды на здоровье человека во всем мире признана концепция риска. Наибольшую универсальность для практического использования имеет определение, в котором под риском понимают:

- вероятность возникновения опасного воздействия;
- величину неблагоприятного эффекта, связанного с этим воздействием.

На основании оценок риска, обусловленного воздействием различных источников опасности, условно определен диапазон риска летального исхода для современного человека (табл. 3.2).

Таблица 3.2

**Приблизительные уровни фатального риска в среднем за год [607]**

Источник опасности	Риск летального исхода для человека
Работа в рискованных отраслях промышленности, таких как горнодобывающая	$1 \cdot 10^{-3}$ (1 из 1 000)
Дорожно-транспортные происшествия	$1 \cdot 10^{-4}$ (1 из 10 000)
Авария на рабочем месте в весьма безопасных зонах промышленного производства	$1 \cdot 10^{-5}$ (1 из 100 000)
Пожар или взрыв газа дома	$1 \cdot 10^{-6}$ (1 из 1 000 000)
Проживание в окрестностях ядерного объекта при его нормальной эксплуатации	$1 \cdot 10^{-6}$ (1 из 1 000 000)
Удар молнией	$1 \cdot 10^{-7}$ (1 из 10 млн)

Риск от ядерных установок заключается в потенциальной опасности выброса радиоактивных веществ, испускающих ионизирующее излучение. Этот риск, создаваемый в среднем для представителей населения, проживающего в окрестностях какого-либо ядерного объекта, при его нормальной эксплуатации оценивается в общем случае величиной  $1 \cdot 10^{-6}$  в год.

Такой уровень как раз считается уровнем риска, приемлемого в широком смысле для отдельно взятого человека [607]. Согласно изложенному, в окрестностях АЭС комфортно избирать ПМЖ (рис. 3.11) и строить дачи, также, как на берегах водохранилищ ГЭС.

Как и другие виды техногенных рисков, радиационный риск, обусловленный деятельностью предприятий атомной промышленности и энергетики, характеризуется вероятностью возникновения у человека и его потомства какого-либо вредного эффекта, вызванного радиоактивным излучением. Единицей измерения дозы радиоактивного облучения является зиверт (Зв), но эта величина весьма велика и неудобна для большинства случаев, поэтому эффект воздействия на индивидуума обычно измеряется в миллизивертах (мЗв), т.е. тысячных долях зиверта.

Годовая доза радиоактивного облучения для населения Земли, получаемая от радиоактивности в почве, радиоактивности в организме (врожденной или приобретенной), а также от космического излучения, составляет около 1 мЗв, при том, что примерно треть этой дозы бывает получена от каждого из названных источников (табл. 3.3).

Таблица 3.3

**Вклад различных природных и искусственных источников в облучение человека [607]**

Источники радиации		Доза, мЗв/год	
Естественные	Космическое излучение	0,35	
	Продукты питания и вода	0,3	
	Земная радиация (почва и здания)	0,35	
	Естественная радиация в воздухе	1,2	
Искусственные	Остаточные явления испытаний ядерного оружия	0,01	
	Ядерная энергетика	радиационное воздействие за счет выбросов и сбросов АЭС, усредненное по всему населению Земли	0,001
		усредненный предел дозы персонала АЭС	20
	Медицина	в среднем	0,5
		в том числе рентген груди (разовая доза)	0,05
	Другие источники	0,01	

Эта величина является средней. Федеральным законом «О радиационной безопасности населения» [664] регламентируются основные дозовые пределы искусственного облучения: 20 мЗв – среднее значение

разрешенной индивидуальной дозы облучения персонала АЭС за год в течение 5 последующих лет; 1 мЗв – среднее значение индивидуальной дозы облучения населения за год в течение 5 последующих лет [607].

Во многих странах введены ограничения любого вида облучения населения, в том числе и медицинского, в дозах, превышающих естественный радиационный фон. Число же облучаемых по причинам места работы, жительства и др. в более высоких дозах, близких к предельно допустимым, не должно превышать 2 % от общего числа жителей страны. Практикуется защита «разбавлением» таких облучаемых среди необлучаемого населения. Например, врачам-радиологам не рекомендуется вступать в брак с лицами аналогичной профессии [484].

Несмотря на успехи и большую значимость использования ядерных технологий в энергетике (а также в военном деле, медицине и других отраслях экономики), отрицательным фактором, сдерживающим их более широкое внедрение, является образование и накопление радиоактивных отходов (РАО), не подлежащих дальнейшему использованию. Накопленное количество жидких и твердых отходов энергетического цикла АЭС в России достигает 200 тыс. м<sup>3</sup> [484]. Срок их потенциальной опасности исчисляется в десятки и сотни тысяч лет. Основную их часть свозят в централизованное наземное хранилище на территории горно-химического комбината в г. Железногорске Красноярского края. Обращение с радиоактивными отходами, которые японцы называют ценными сырьевыми материалами будущего, – техническая и экономическая задача, решаемая в мире без излишнего драматизма [138] (рис. 3.12). В РАН считают, что хранить РАО лучше всего в океане, где даже в случае утечки радиоактивность будет «разбавлена» [18; 191]. Однако задача окончательного решения не имеет [484].

Недостатком атомных электростанций является необходимость вывода из работы их агрегатов через 25 – 30 лет эксплуатации в связи с физическим износом защитных оболочек атомных реакторов. На Белоярской и Нововоронежской АЭС в 1981–1990 гг. выведены из эксплуатации 4 блока, пущенные в 1964 – 1969 гг.; на Билибинской, Кольской, Курской, Ленинградской, Нововоронежской АЭС сроки эксплуатации энергоблоков постройки 1970 – 1980 -х гг. продлены посредством модернизации [305; 607]. Осуществление цикла работ по выводу из эксплуатации блока АЭС является организационно-техническим мероприятием, сопоставимым по объему требуемых временных, материальных и трудовых ресурсов с процессом первоначального сооружения блока. Основной в цикле является задача сбора,

переработки и удаления для последующего хранения или захоронения радиоактивных отходов, которые образуются при демонтаже реактора и радиоактивных конструкций блока в твердом, жидком и газообразном (в виде аэрозолей) состоянии. Регионы, базирующие свою электроэнергетику на атомных электростанциях, должны заботиться не только о наращивании электрических мощностей, но и о замене выбывающих [296].

Завершая материал об АЭС, еще раз подчеркнем, что они потребляют большое количество воды: до 3 км<sup>3</sup>/год (95 м<sup>3</sup>/с) на 1000 МВт установленной мощности против 1,6 км<sup>3</sup>/год (50 м<sup>3</sup>/с) на газовых и угольных электростанциях [119]. Поэтому их строительство не обходится без создания индивидуальных одноцелевых водохранилищ.

**Гидроэлектростанции** являются наиболее экологически чистым производителем электроэнергии по сравнению с ТЭС и АЭС. Они не потребляют атмосферного кислорода, не делают никаких выбросов в атмосферу, ничего не выделяют ни в воду, ни в грунт, не дают никаких отходов, требующих захоронения, ничем не вредят людям. Описанная ситуация в электроэнергетике, которая характеризуется многими нерешенными экологическими проблемами, указывает на целесообразность расширения использования возобновляемых, экологически чистых гидроэнергоресурсов, степень вовлечения которых в энергобаланс страны пока весьма низкая.

### 3.3. Гидроэлектроэнергетика больших рек

В 2 896 млрд кВт·ч/год выражается валовой потенциал возобновляемых гидроэнергетических ресурсов России, технический потенциал составляет 1670 млрд кВт·ч/год, экономический потенциал оценен в 852 млрд кВт·ч/год. Среди стран-лидеров по гидроэнергетическим ресурсам России принадлежит второе место после Китая [149; 474; 481].

В табл. 3.4 приведены данные о гидроэнергетических ресурсах крупнейших по величине энергетического потенциала рек России [149]. Эти ресурсы даже более ценны, чем запасы углеводородов, по причине их неисчерпаемости [728].

Большинство стран, располагающих гидроэнергетическими ресурсами, стремится как можно быстрее их использовать, создавая тем самым базу для развития экономики. Норвегия утилизирует 96 % своего гидроэнергетического потенциала, Канада – 73 %, США – 71,8 %, Китай довел уровень

его освоения до 61 %. Процент использования экономического потенциала рек в России не велик (19 – 20 %) и освоен он по территории страны неравномерно (рис. 3.13) [481; 728].

Таблица 3.4

**Крупнейшие по величине гидроэнергоресурсы реки России [149]**

Река и ее энергетический потенциал, млрд кВт·ч/год		Река и ее энергетический потенциал, млрд кВт·ч/год		Река и ее энергетический потенциал, млрд кВт·ч/год	
Енисей	158,3	Катунь	31,0	Кама	12,7
Лена	144,0	Олекма	25,5	Печора	12,3
Ангара	93,9	Иртыш	25,2	Мая	12,1
Амур	82,9	Виллой	22,5	Селемджа	12,0
Волга	54,3	Котуй	20,9	Абакан	12,0
Обь	51,4	Учур	18,2	Чуна	11,8
Витим	50,7	П. Тунгуска	18,0	Ока	11,0
Алдан	48,9	Зея	17,4	Чара	11,0
Н. Тунгуска	41,0	Томь	15,2	Терек	10,9
Колыма	39,8	Буряя	14,6	Кубань	10,7
Индибирка	39,6	Омолон	13,1	Анадырь	10,2

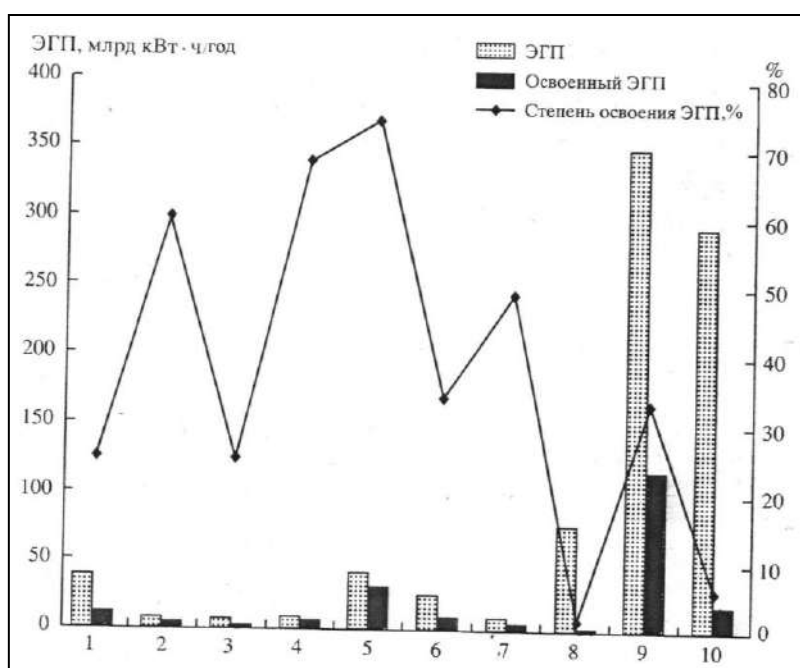


Рис. 3.13. Освоенность экономического гидроэнергетического потенциала (ЭГП) по экономическим районам Российской Федерации: 1 – Северный; 2 – Северо-Западный; 3 – Центральный; 4 – Волго-Вятский; 5 – Поволжский; 6 – Северо-Кавказский; 7 – Уральский; 8 – Западно-Сибирский; 9 – Восточно-Сибирский; 10 – Дальневосточный [372]

Большое гидроэнергетическое строительство в нашей стране началось с Волховской ГЭС (рис. 3.14), введенной в эксплуатацию в 1926 г.

На всех гидроэнергетических (и воднотранспортных) объектах, строившихся в СССР в 1930-х – начале 1950-х гг., применялся принудительный труд заключенных [18; 57; 108; 205; 230; 294; 628]. Так, на 10 мая 1950 г. в исправительно-трудовом лагере (ИТЛ) Цимлянского гидроузла содержалось 19639 человек, в том числе мужчин 15594 и женщин 4135, на 1 января 1953 г. в ИТЛ Куйбышевгидростроя содержалось 46 тыс., Сталинградгидростроя – 26 тыс., Волгобалтстроя – 33,7 тыс. человек [230]. Принуждение тогда было технологией создания индустриальной мощи государства [555]. Тридцать шесть советских писателей во главе с М. Горьким – авторы позорной книги о Беломорско-Балтийском канале [57] – впервые в русской литературе восславили рабский труд. К строительству Беломорканала относится появление сочетания слов «заключенный каналармеец», в официальных бумагах – з/к, отсюда пошло «зэка», «зэк» [18]. Такое продолжалось вплоть до демонтажа сталинской экономики ГУЛАГа, произведенного после 1953 г. Сейчас блогеры от случая к случаю делятся мыслями о тех временах в интернете, причем подмечено занятное: чем моложе блогер, тем хуже ему жилось при Сталине.



Рис. 3.14. Волховская ГЭС на р. Волхове. 1950-е гг. [150]

В настоящее время на российских реках работают больше 100 ГЭС мощностью свыше 100 МВт, в том числе 15 ГЭС мощностью свыше 1 000 МВт (табл. 3.5). Основной вклад в суммарную годовую выработку ГЭС вносят электростанции Ангаро-Енисейского (57 %) и Волжско-Камского (21 %) каскадов [110].

На р. Енисее функционирует крупнейшая ГЭС России – Саяно-Шу-

шенская (рис. 3.15), по мощности (6,72 млн кВт), уступающая лишь ГЭС Три ущелья в Китае (22,5 млн кВт), Итайпу в Бразилии (12,6 млн кВт), Гури в Венесуэле (10,3 млн кВт) и Гранд-Кули в США (10 млн кВт). В 2009 г. на гидроэлектростанции произошла авария, приведшая к гибели 75 человек и разрушению нескольких гидроагрегатов. Российская гидроэнергетика лишилась на время 14 % мощности ГЭС страны. Здание ГЭС восстановлено [342].

Таблица 3.5

**Гидроэлектростанции России мощностью более 1 000 МВт [110]**

Гидроэлектростанция	Река	Мощность, МВт	Среднегодовая выработка, млрд кВт·ч
<i>Европейская часть России</i>			
Волжская (Волгоградская)	Волга	2 673	11,1
Жигулевская (Куйбышевская)	Волга	2 400	10,1
Чебоксарская	Волга	1 370	2,2
Саратовская	Волга	1 360	5,35
Нижекамская	Кама	1 250	2,67
Загорская ГАЭС	–	1 200	1,95
Воткинская	Кама	1 020	2,22
Чиркейская	Сулак	1 000	2,47
<i>Сибирь и Дальний Восток</i>			
Саяно-Шушенская	Енисей	6 720	24,5
Красноярская	Енисей	6 000	17,5
Братская	Ангара	4 500	22,6
Усть-Илимская	Ангара	3 840	21,7
Богучанская	Ангара	3 000	17,6
Бурейская	Бурей	1 975	7,1
Зейская	Зея	1 330	4,1

Братская ГЭС на р. Ангаре (рис. 3.16) установленной мощностью 4,5 млн кВт является мировым лидером по общему объему выпуска электроэнергии. В 1961 г. был введен ее первый агрегат, за период временной эксплуатации 1961–1967 гг. она выработала 64 млрд кВт·ч электроэнергии, стоимость которой превысила затраты на сооружение ГЭС, а к 50-летию со дня пуска (2011 г.) выработка электроэнергии составила 1 трлн 40 млрд кВт·ч.

В ряде районов Сибири, Северо-Запада, Северного Кавказа гидроэлектростанции явились основой электрификации промышленности, сельского хозяйства и быта [119]. Примером может служить Вилюйская ГЭС,





Рис. 3.15. Саяно-Шушенская ГЭС на р. Енисее



Рис. 3.16. Братская ГЭС на р. Ангаре



Рис. 3.17. Вилуйская ГЭС на р. Вилуе

обеспечивающая электроэнергией алмазодобывающую промышленность Якутии (рис. 3.17).

**В отрасли «Водное хозяйство» гидроэлектростанции состоят водопользователями.** Важнейшим требованием к ГЭС является получение максимальной выработки энергии и наибольшее участие в балансе мощности энергосистемы.

Режим работы гидроэлектростанций приходится приспособлять к изменениям нагрузки энергосистем путем суточного, недельного, годовичного регулирования стока рек с помощью водохранилищ (рис. 3.18). При этом **основным назначением гидроэлектростанций является участие в покрытии пиков суточной нагрузки.** Разница максимальной и минимальной нагрузки (мощности) суточного графика в энергосистемах достигает до 10–20 млн кВт. Покрытие пиков графиков нагрузки тепловыми и атомными электростанциями невозможно по техническим и экономическим причинам. Агрегаты же ГЭС в течение 1 минуты воспринимают нагрузку энергосистемы, а возможный диапазон регулирования мощности близок к установленной мощности ГЭС [120]. В энергообъединениях России гидроэлектростанции покрывают 40–70 % переменной части графиков нагрузки, располагая 90 % резерва регулировочной мощности [149; 474; 728].

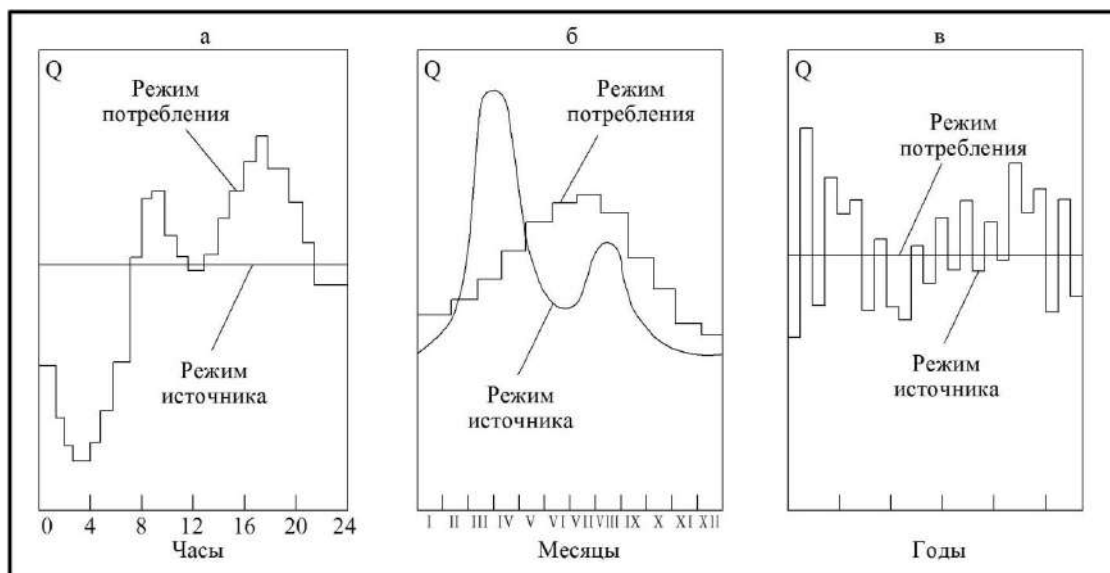


Рис. 3.18. Сопоставительные графики режимов стока и потребления в энергосистеме: а – суточный; б – годовой; в – многолетний.  
Q – расход воды [7]

Для суточного регулирования мощностей энергосистем наряду с ГЭС

эффективны гидроаккумулирующие электростанции [146]. Сегодня в Подмосковье работает Загорская ГАЭС установленной мощностью 1 200 МВт и строится Загорская ГАЭС-2 мощностью 840 МВт. Строительство ГАЭС актуально в европейской части России, где проявляется дефицит маневренной электрической мощности [342; 402].

**Гидроэлектростанции с водохранилищами выполняют также функции аварийного резерва.** На них сосредоточено около 40 % всей резервной мощности энергосистем [149]. Насколько значителен общий энергетический резерв, видно хотя бы из того, что запас воды, содержащийся в водохранилищах Волжско-Камского каскада, эквивалентен 14,4 млрд кВт·ч электроэнергии. Это резерв, не требующий никаких дополнительных капиталовложений и эксплуатационных затрат [120].

Когда на реках возведены не изолированные гидроэлектростанции, а каскады ГЭС и водохранилищ, между ними возникают не только электрические, но и водохозяйственные взаимосвязи. Так, Рыбинское водохранилище многолетнего регулирования в Волжском каскаде повышает гарантированную мощность и выработку и регулирует пропуск половодий на ниже лежащих гидроэлектростанциях. В целом по Волго-Камскому каскаду режим использования водных ресурсов водохранилищ за многолетний период их эксплуатации отвечал интересам основных водопользователей и являлся близким к оптимальному, как с точки зрения экономической эффективности, так и энергетической. Стабильность выработки энергии на ГЭС объясняется надежностью водных ресурсов и мобильностью гидроэнергетических мощностей [28].

**Получение электроэнергии на ГЭС экономически выгодно.** Из-за отсутствия топливной составляющей себестоимость электроэнергии на ГЭС в 5 – 8 раз ниже себестоимости электроэнергии на ТЭС и АЭС, что позволяет получать высокую прибыль от эксплуатации гидроэлектростанций [119; 149; 474]. Например, в локальную энергосистему «Магаданэнерго» объединены две тепловые электростанции – Аркагалинская ГРЭС (введена в 1975 г., 281,4 МВт) и Магаданская ТЭЦ (1974 г., 101 МВт), работающие на угле, и Колымская ГЭС (1988 г., 4 агрегата, 720 МВт; 1994 г., 5 агрегатов, 900 МВт). Благодаря работе Колымской ГЭС в Магаданской области экономится ежегодно 1 млн т натурального топлива (угля), а стоимость электроэнергии, вырабатываемой на ГЭС, примерно в 10 раз ниже, чем в среднем по энергосистеме [296]. Гидроэнергетика за счет низких тарифов дотирует другие отрасли экономики, в том числе социальный сектор [728].

Уникальной особенностью ГЭС является **длительный срок службы**. Случаи вывода из эксплуатации основных сооружений ГЭС по причине исчерпания прочностных свойств неизвестны. При правильной эксплуатации срок службы современных ГЭС не ограничится рубежом в 100 лет. В этом их кардинальное отличие от объектов тепловой и атомной энергетики, требующей замены агрегатных блоков ТЭС и АЭС через 30 – 40 лет [728].

Опыт Союза ССР показал, что использование крупных ГЭС в качестве энергетической инфраструктуры территориально-промышленных комплексов позволяет создать стабильную и долгосрочную основу развития территорий России. Но ряд рисков, присущих и другим отраслям, усугубляется в гидроэлектроэнергетике долгосрочным характером и высокой абсолютной стоимостью проектов. В результате возникают проблемы поиска источников инвестиций. Российский бизнес сегодня ограничивает инвестиции объектами, которые могут окупиться в очень коротком временном интервале. Частные инвесторы не готовы взять на себя риски и принять участие в крупных гидроэнергетических проектах, хотя затраты, связанные со строительством ГЭС, покрываются экономией эксплуатационных расходов уже в первые годы работы гидростанции. Проблему вынуждено решать государство, которое стало главным инвестором в нашей капиталистической экономике [474]. Это привело к тому, что в области гидроэлектроэнергетики мир развивается быстрее, чем мы.

После распада СССР на территории России осталось 16 недостроенных гидроэнергетических объектов суммарной мощностью 9,7 тыс. МВт, стоимостью строительства порядка 10,2 млрд долларов США, из которых ранее было освоено около 3,9 млрд долларов [108]. Из крупных ГЭС достроены Богучанская на р. Ангаре, Нижнебурейская на р. Буре, Светлинская на р. Вилюе, достраивается Усть-Среднеканская на р. Колыме [341; 343].

**Вводы мощностей на ГЭС** в обозримой перспективе определяются требованиями развития энергосистем, возможностями энергокомпаний, экономической эффективностью перспективных объектов [474]. В 2010 г. Правительством РФ была рассмотрена и одобрена «Генеральная схема размещения объектов гидроэнергетики России до 2020 года с учетом перспективы до 2030 года». Намеченный Генсхемой объем вводов гидроэлектрических мощностей на ГЭС до 2030 г. составляет для базового варианта 8 486 МВт, для максимального варианта – 9 968 МВт. Планируется также ввод 5 605 МВт мощностей на ГАЭС [342]. Темпы ввода мощностей ГЭС и ГАЭС согласно Генсхемы отражены на рис. 3.19. Предполагается построить:

Нижнеангарскую на р. Ангаре (1082 МВт, 2021 – 2030 гг.), Мокскую на р. Витиме (1200 МВт, 2021 – 2025 гг.) [729], Граматухинскую (Нижнезейскую) на р. Зее (400 МВт, 2021 – 2025 гг.) [249], Канкунскую на р. Тимптоне (1200 МВт, 2021 – 2030 гг.) с высотой плотины 220 м и площадью водохранилища 259 км<sup>2</sup> [229; 604], еще несколько ГЭС мощностями 100 – 200 МВт [342]. Для ГЭС с напором 100 – 200 м и установленной мощностью около 1000 МВт удельная стоимость будет составлять в ценах 2015 г. около 1,5 тыс. долл./кВт [728].

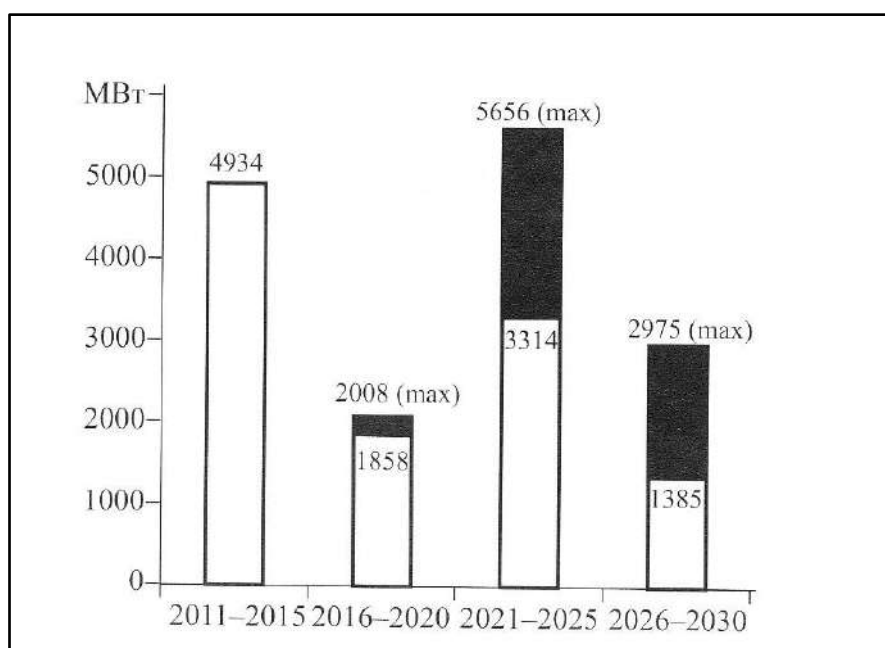


Рис. 3.19. Темпы ввода мощностей на ГЭС и ГАЭС, запланированные в «Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики России до 2020 года с учетом перспектив до 2030 года» [342]

В Генсхеме сооружение новых ГЭС связывается с появлением крупных потребителей электроэнергии в прилегающих к ним районах. В частности, Нижнебурейская ГЭС позволит начать освоение Маломырского золоторудного месторождения, Чагойанского месторождения известняков, обеспечить электроэнергией лесоперерабатывающий комплекс в г. Белогорске, новый космодром и другие предприятия региона. Мокская ГЭС призвана снабдить электроэнергией зону БАМа, испытывающую дефицит мощности. Граматухинская ГЭС ориентирована на освоение Гаринского месторождения железных руд и строительство горно-металлургического комбината.

В 2017 г. Генеральная схема пересмотрена на перспективу до 2035 г. [446]. При кажущейся масштабности Генсхемы сравнение данных рис. 3.19 и рис. 3.2 показывает, что планируемые темпы ввода генерирующих мощностей в разы меньше достигнутых полвека назад [342].

В 2010 г. в 93 странах находились в строительстве гидроэлектростанции общей установленной мощностью 172 млн кВт. Шестнадцать стран строили одновременно 5 и более энергетических гидроузлов с плотинами выше 60 м: Малайзия – 5, Саудовская Аравия – 5, Италия – 5, Мексика – 5, Греция – 6, Бразилия – 6, Мьянма – 7, Марокко – 7, Индия – 8, Испания – 8, Япония – 15, Вьетнам – 22, Турция – 26, Иран – 55, Китай – 91. Как видно, почти половина строящейся мощности приходилась на Китай, где к 2009 г. установленная мощность ГЭС была приближена к 170 млн кВт, а к 2020 г. планировалось увеличение этой мощности до 300 млн кВт [474]. На таком фоне скромные перспективы развития российской гидроэнергетики при огромном гидроэнергетическом потенциале России вяло воспринимаются в мире [30].

Использование энергетического потенциала рек на уровне промышленно развитых стран мира способно удовлетворить энергетические потребности России на обозримое будущее (табл. 3.6) [217].

Таблица 3.6

**Возможное производство электроэнергии в России на ГЭС при использовании технического энергopotенциала рек [217]**

Административный округ	Возможное производство электроэнергии на ГЭС, млрд кВт·ч/год			
	Всего	на крупных и средних ГЭС		на малых ГЭС
		действующие	новые	
Северо-Западный	68	12,4	42,5	13,1
Центральный	10	3,3	5,1	1,6
Южный	80	23,0	43,6	13,4
Приволжский	58	32,5	23,7	1,8
Уральский	75	0,4	56,3	18,3
Сибирский	850	136,0	620,5	93,5
Дальневосточный	749	21,2	662,3	65,5
Всего по России	1 890	228,8	1 454,0	207,2

В Российской Федерации в прошлом столетии были намечены к строительству 898 гидроэлектростанций с выработкой электроэнергии

1195 млрд кВт·ч/год. К началу текущего века из них было построено 130 ГЭС общей мощностью 46 млн кВт с годовой выработкой 175 млрд кВт·ч. К настоящему времени остались проектные проработки по 680 ГЭС общей мощностью около 230 млн кВт с годовой выработкой более 1 000 млрд кВт·ч электроэнергии. Перечень и характеристики всех этих ГЭС приведены в доступной читателям книге Б.М. Ерахтина «Строительство гидроэлектростанций в России [217].

За пределами описанной выше «Генеральной схемы размещения объектов гидроэнергетики России» российскими гидроэнергетиками обосновываются и обсуждаются **возможности гидроэлектрификации страны** [217] путем строительства ГЭС, главным образом на реках Сибири и Дальнего Востока [32; 218; 219; 341; 342; 362; 363; 546; 684; 703; 728; 730], где имеются свыше 600 млрд кВт·ч реальных, еще не освоенных гидроэнергетических ресурсов [363].

В качестве первоочередных объектов предлагаются [363]: Нижнезейская, Селемджинская, Гилюйская гидроэлектростанции в бассейне р. Зеи и Нижнениманская ГЭС в бассейне р. Буреи, общей мощностью 1500 – 1700 МВт, водохранилища которых с противонаводковыми емкостями будут нести также функцию борьбы с наводнениями [362]; ГЭС-1 на р. Жупанова на Камчатке (270 МВт); Амгуэмская ГЭС на Чукотке (80 МВт) [296]; Нижнекурейская ГЭС на севере Красноярского края (150 МВт); каскад ГЭС на р. Витим; Тельмамская ГЭС на р. Мамакан. Общая установленная мощность предлагаемых ГЭС в ОЭС Сибири оценивается в 12400 МВт, в ОЭС Востока в 4500 МВт. Реализация программы строительства ГЭС в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах позволит ежегодно экономить до 34,4 млн т каменного угля [363].

На следующем этапе возможен переход к более крупным проектам, решающим энергетические проблемы в масштабах всей России. В частности, к уникальному для нашей страны проекту Эвенкийской (Туруханской) гидроэлектростанции на р. Нижней Тунгуске установленной мощностью 12000 МВт с водохранилищем емкостью 409,4 км<sup>3</sup> и площадью зеркала 9400 км<sup>2</sup> при высоте подпорной плотины 200 м [363; 444; 731]. Проектная удельная стоимость ГЭС составляет 1592 долл./кВт в ценах 2015 г., а с учетом протяженных ЛЭП 2450 долл./кВт. Ежегодная выработка ею 49,1 млрд кВт·ч эквивалентна сжиганию 12 – 14 млрд м<sup>3</sup> природного газа на тепловых электростанциях. Ничтожная доля отчислений от прибыли Эвенкийской ГЭС позволит дотационной Эвенкии стать процветающим регионом

России. С пуском ГЭС возникнут предпосылки создания мощных связей между европейской частью, Восточной Сибирью и Дальним Востоком на постоянном токе, обеспечивающих обмен электроэнергией и мощностью между этими территориями РФ [363].

Качественное преобразование электроэнергетики в направлении гидроэлектрификации страны, как свидетельствует мировой опыт, улучшает условия жизни людей [217; 218]. Но действительность устанавливает пока рамки и пределы развитию российской гидроэлектроэнергетики как официант, который ограничивает наши фантазии, вручая нам меню [687].

Под натиском рыночной экономики к началу XXI века Россия лишилась большинства технической элиты общества. Инженерное образование, давшее шанс в XX веке получить технологии, которыми мы сегодня пользуемся, практически было порушено. Рабочие профессии оказались внизу рейтинговых шкал. Вопрос о том, кто будет проектировать и строить крупные объекты энергетики, должен разрешаться с помощью новых кадров. [428; 429]. В Москве рассудили за благо оснастить Россию европейским образованием. Всякий, кому приходится иметь дело с образовательной структурой, знает, что истина не так уж и важна, а важно, что представлено в отчетах [687]. Модель «чтобы у нас все было как на западе» дает сбой. Закон «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» №125 – ФЗ от 1996 г. с 2000 г. до его отмены в 2012 г. претерпел 60 редакций и изменений. Второе десятилетие XXI в. характеризуется очередным импульсом перманентной реформации. Новый закон «Об образовании в Российской Федерации № 273 – ФЗ от 2012 г. по количеству выпускников профессионального образования утвердил доминирование бакалавриата [21]. У бакалавриантов, в меру своих способностей овладевающих предписанными компетенциями в области гидротехнического строительства, присутствуют опасения после окончания учебы тяготиться работой мерчендайзеров, супервайзеров, брендеров.

Как и кем смогут быть реализованы планы государства и мечты российских гидроэнергетиков – покажет время [342; 343].

Гидроэлектрические станции как источник энергии оказывают мало влияния на природную среду, являя собой пример «чистого производства». Однако они порождают водохранилища, которые относят к наиболее существенному антропогенному фактору воздействия гидроэлектроэнергетики на природу. Об этом пойдет речь во 2-й части книги.



### 3.4. Утилизация водной энергии малых рек

В мировой практике малые реки являются существенным источником электроэнергии. Например, в КНР имеется свыше 80 тыс. ГЭС на малых реках общей установленной мощностью более 8 млн кВт, в США – 850 ГЭС общей мощностью 7 млн кВт.

В России малые реки (длиной менее 200 км) составляют около 99 % общего числа рек, на их долю приходится свыше 90 % протяженности всех водотоков страны. Потенциальные гидроэнергоресурсы (ГЭР) всех малых рек РФ оцениваются величиной 44,53 млн кВт или 390,1 млрд кВт·ч. В табл. 3.7, 3.8 отражены уточненные данные по ГЭР малых рек Европейской территории и Северо-Востока России. К этим рекам отнесены водотоки длиной 10...200 км с площадью водосбора до 8000 км<sup>2</sup> для равнинных условий и 0,4...25 км для горных регионов. Подсчетами для ЕТ РФ были охвачены более 25000 рек протяженностью 10...200 км и свыше 17000 рек длиной до 10 км. Для Северо-Востока – Республики Саха (Якутии) и Магаданской области – учтено почти 35000 рек [598].

Таблица 3.7

#### Гидроэнергоресурсы малых рек Европейской территории России

Экономический район	Теоретические, млрд кВт·ч	Технические, млрд кВт·ч		Гарантированные, техническая часть	
		общие	целесообразные к освоению	тыс. кВт	млрд кВт·ч
Северо-Западный	81,3	18,6	3,82	249,7	13,3
Центральный	8,1	1,57		26,9	0,96
Волго-Вятский	4,8	0,92	0,92	11,0	0,69
Центрально-Черноземный	1,5	0,19		3,1	0,12
Поволжский	11,4	1,83	1,83	20,9	1,09
Северо-Кавказский	37,5	7,26	7,26	353,2	4,02
Уральский	21,3	3,43	3,43	41,1	1,89
ИТОГО	165,9	33,80	17,26	703,6	22,10

В 1950-х гг. на малых реках РСФСР эксплуатировалось свыше 6 тыс. гидроэлектростанций. К концу XX в. их оставалось около 200 общей мощностью примерно 1 млн кВт (рис. 3.20, 3.21) [598].

Таблица 3.8

**Гидроэнергоресурсы малых рек Северо-Востока России, млрд кВт·ч**

Территория	Теоретические	Технические	Гарантированные, техническая часть
Республика Саха (Якутия)	361,8	106,96	68,6
Магаданская область	74,4	19,12	12,2
ИТОГО	736,2	126,08	80,8

У малой гидроэлектроэнергетики имеются очевидные преимущества перед другими способами добычи электроэнергии: соответствие основному критерию рациональности – удовлетворять потребности при минимальном воздействии на природу; сравнительно низкая капиталоемкость и короткий инвестиционный период для этих объектов – проектирование и строительство могут быть осуществлены за 1 – 2 года; независимость от ситуации на рынке топлива, трудностей его доставки, особенно это важно для регионов Северо-Востока России [309].

Строительство малых гидроэлектростанций в России возобновляется. ЗАО НПО «Гидроэнергопром» разработало схемы использования гидроэнергоресурсов малых рек для республик Татарстан (67 ГЭС на 27 МВт), Башкортостан (57 ГЭС на 108 МВт), Воронежской, Ростовской и Иркутской областей (соответственно 23, 5 и 14 ГЭС на 32,4; 3,3 и 2,2 МВт). Створы выбирались вблизи потребителей нагрузки, рассматривалось использование для выработки электроэнергии существующих водохранилищ водохозяйственного назначения, восстановление ранее построенных МГЭС. Преимущественное внимание уделялось применению бесплотинных водозаборов, использующих естественное падение рек, а также созданию малых водохранилищ, располагающихся в речных руслах. В конце 1990-х гг. были введены в эксплуатацию демонстрационные объекты (табл. 3.9).

В 2008 г. пущена Киселевская МГЭС мощностью 0,2 МВт в Свердловской области. ГЭС встроена в донный водовыпуск плотины Киселевского гидроузла на р. Какве у г. Серова, работает на санитарных попусках из водохранилища. Это первая из 15 малых гидроэлектростанций общей мощностью 15 МВт, которые планируется разместить при действующих водохранилищах в городах Алапаевске, Асбесте, Невьянске, Заречном, Краснотурьинске, Нижнем Тагиле, Красноуфимске, Ревде и др.

Таблица 3.9

**Демонстрационные объекты малой гидроэнергетики [359]**

Регион	МГЭС	Мощность, кВт	Выработка, тыс. кВт·ч/год	Удельные капвложения, долл. США на 1 кВт	Срок окупаемости, лет
Татарстан	Карабашская	500	2 300	567	3,5
Башкортостан	Слакская	112	374	933	10,0
	Мечетлинская	445	1 744	918	4,0
	Давлекановская	700	5 100	563	4,8
Иркутская обл.	Карам	400	3 089	1472	2,5

В Челябинской области восстанавливается Зюраткульская МГЭС мощностью 6,4 МВт, построенная в 1942 – 1952 гг., с 1978 г. не эксплуатировавшаяся. В качестве водохранилища ГЭС использует оз. Зюраткуль – самое высокогорное озеро Урала (724 м над уровнем моря). Восстанавливается МГЭС на Аргазинском водохранилище постройки 1939 – 1946 гг. мощностью 1,35 МВт.

Завершен каскад Толмачевских ГЭС на реке Толмачева на Камчатке: ГЭС №1 мощностью 2 МВт пущена в 1999 г., №3 – 18,4 МВт в 2001 г., №2 – 24,8 МВт в 2012 г.

За счет инвестиций ОАО «РусГидро» и средств частных инвесторов построены малые ГЭС в горах Дагестана на притоках р. Самур: Амсарская (рис. 3.22), Шиназская и Аракульская, суммарной установленной мощностью 3,8 МВт. На стадии практической реализации находятся еще около 20 проектов МГЭС общей мощностью 110 МВт в республиках Северного Кавказа и Ставропольском крае. В группе наиболее перспективных территорий для развития малой энергетики, кроме Северного Кавказа, выделены Калининградская, Свердловская, Челябинская области, Республики Карелия, Бурятия и Алтай, Алтайский край, Приморский край и Камчатская область.

Комплексное освоение ресурсов малых рек является основой обеспечения устойчивого развития территорий, связанных с их бассейнами – восстановления и сохранения уникальных природных объектов, создания благоприятных условий для жизнедеятельности людей, экономического развития регионов [147; 309; 598].



Рис. 3.20. Малая ГЭС на р. Молдинке у д. Молдино в Тверской области, одна из трех в каскаде [Огонек, 1962. – №6]



Рис. 3.21. Чемальская МГЭС на р. Чемал, притоке р. Катунь: построена в 1935 г., мощность 400 кВт, работала до 2011 г. [<http://www.chemalskayagas.ru>]



Рис. 3.22. Амсарская малая ГЭС в Дагестане [<http://www.inset.ru/equ/Amsar.jpg>]



Рис. 3.23. Куликовская ветроэлектростанция в Калининградской области



Рис. 3.24. Бугульчанская солнечная электростанция в Башкирии



Рис.3.25. Мутновская геотермальная электростанция на Камчатке

### 3.5. Возможности нетрадиционной электроэнергетики

Для стран, не имеющих в достаточном количестве традиционных энергоносителей, привлекательно вовлечение в экономику нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Среди них энергия ветра, солнечная энергия, геотермальная энергия, энергия биотоплива, а также энергия морских приливов и др. Эксперты ООН еще в 1991 г. проанализировали воздействие нетрадиционной энергетики на окружающую среду и заключили, что тезис об ее экологической чистоте неверен. В той или иной степени эти производители энергии могут быть экологически опасны [344; 374].

Действующие ветроэлектростанции (ВЭС) сконцентрированы в Европе – 61 %, в Северной Америке – 20 % и Азии – 17 %. Самый большой ветрогенератор построен в Германии. Его ротор диаметром 126 м установлен на башне высотой 180 м. Мощность ветрогенератора 5 МВт.

В России общая установленная мощность ветроэлектростанций составляла в 2010 г. 14,6 МВт. Самой крупной была Куликовская ВЭС в Калининградской области суммарной мощностью 5,1 МВт, построенная в 1998 – 2002 гг. (рис. 3.23). За ней – Анадырская (2,5 МВт), Башкирская (2,2 МВт), Воркутинская (1,5 МВт), на острове Беринга (1,2 МВт), Калмыцкая (1 МВт) и др. [472]. В 2020 г. компания «НоваВинд», созданная в структуре корпорации «Росатом», запустила в Ставропольском крае Кочубеевскую ВЭС с 84 генераторами диаметром по 50 м на опорах высотой по 100 м общей мощностью 210 МВт. Это вторая ВЭС компании в стране, первым был ветропарк в Адыгее из 60 установок [АиФ, 2019. – №45].

Ветроэлектрические станции можно строить в тех районах, где средняя скорость ветра не менее 3 – 5 м/с. Наиболее богаты ветроэнергетическими ресурсами побережья Северного Ледовитого и Тихого океанов. Выбраны площадки для размещения ВЭС в других регионах, в том числе на европейской территории страны (табл. 3.10).

Ветровой поток никогда не бывает стабильным, его скорость меняется даже в течение минуты в широких пределах. Поэтому практически все ветрогенераторы мощностью до 5 000 кВт, предлагаемые в настоящее время на мировом рынке, относятся к так называемым сетевым ВЭУ. Это означает, что они могут работать только при наличии внешней электрической сети – централизованной или локальной, например, создаваемой дизель-генератором, гидрогенератором и др. [356].

Таблица 3.10

**Показатели схем использования энергии ветра, разработанных  
ЗАО НПО «Гидроэнергопром» [359]**

Регион	ВЭС		
	количество, шт.	мощность, МВт	выработка, млн кВт·ч/год
Республика Татарстан	359	702	1 262
Республика Башкортостан	541	3 393	6 292
Воронежская область	290	922	2 124

Ветроэнергетические установки оказывают существенное негативное влияние на окружающую среду. Они вызывают акустическое излучение. У установок мощностью более 250 кВт на концах лопаток ветроколес возникает инфразвук, отрицательно воздействующий на живые существа. В районах, где появляются ветровые электрогенераторы, сначала пропадают птицы, потом мелкие наземные животные, затем люди, не терпящие шума и инфразвука, перебираются в другие места, чахнет растительность. При размещении ВЭУ в акваториях морей ухудшаются условия существования морской фауны. Высока аварийность ветроэнергетических установок. В Дании на 2 000 ВЭУ приходится 2 520 вынужденных остановок в год и 116 случаев разрушения их элементов, которые могут быть отброшены на 400 – 800 м [374; 435; 653].

Не всегда положительным был опыт внедрения ВЭС в России. В 2002 г. из полученных в дар от Дании 20 бывших в употреблении ветроколес диаметром по 14 м в хорошем состоянии собрали Куликовскую ВЭС (5,1 МВт) в Калининградской области. Из-за трудностей с обслуживанием и ремонтом работали 14 установок. При сильном ветре одна из 30-метровых опор с ветрогенератором рухнула, детали разлетелись по округе. В 2019г. после 15-летней эксплуатации Куликовскую ВЭС демонтировали. Но технический прогресс не стоит на месте. В 2018 г. неподалеку от подлежащей демонтажу станции ввели в эксплуатацию Ушаковскую ВЭС мощностью 5,1 МВт из трех установок с ветроколесами диаметром 30 м, привезенных из Германии. Новый ветропарк интегрировали в цифровой район электрической сети.

**Солнечные электростанции** различают по принципу работы. Наиболее распространены СЭС, использующие кремниевые элементы (фотобатареи), непосредственно выдающие электроэнергию. Другой тип (башенный) основан на получении водяного пара: вода в резервуаре, установленном на

башне, нагревается сфокусированным зеркалами солнечным лучом, превращаясь в пар, вращающий турбогенератор. Наиболее крупные в мире СЭС имеют мощность порядка 20 – 30 МВт и более.

Солнечные электростанции могут работать в районах, где продолжительность солнечного сияния составляет не менее 2000 часов в год, а количество поступающей на земную поверхность радиации превышает 1300 кВт·ч/м<sup>2</sup>. К таким районам в нашей стране относятся юг Дальнего Востока и европейской части России. Удельная выработка электрической энергии с помощью фотоэлектрических генераторов теоретически может составить здесь 250 – 300 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год [47]. В 2015 г. была запущена в работу Бугульчанская СЭС в Башкирии: на площади 27 га установлены фотоэлектрические элементы, выдающие мощность 5 МВт (рис. 3.24). В 2019 г. заработала Старомакаровская СЭС проектной мощностью 100 МВт в Грачевском районе Ставропольского края, размещенная на 280 га пустовавших земель. Главу района «рядом с солнечными батареями охватывает ощущение, что наступило будущее». Солнечные батареи ночью не работают, а «днем могут заменять работу электростанций на углеводородном топливе» – полагает главный инженер СЭС. Инвестор «Соларс Системс» начинает строительство СЭС мощностью 115,6 МВт в Левокумском районе Ставрополя, также в Астраханской, Волгоградской, Самарской областях [АиФ, 2019. – №45].

Периодичность, зависимость от состояния атмосферы (облачности), неравномерность притока солнечной радиации в течение суток и года требуют придания СЭС аккумулирующих или дублирующих энергетических систем.

Солнечные электростанции землеемки, имеют удельную мощность около 0,08 кВт/м<sup>2</sup> площади батарей. Изготовление гелиоэнергетического оборудования требует материалов (кремния и др.), получение которых связано с загрязнением окружающей среды. Строительство СЭС может вызвать местные нарушения теплового баланса поверхности Земли, изменить направления ветров, характер почв и растительности. Неблагоприятные экологические последствия могут возникать от утилизации отслуживших срок солнечных батарей [374].

**Геотермальная энергетика** развивается по программе «Огонь без дыма», курируемой Глобальным экологическим фондом и Мировым банком реконструкции и развития. В программе участвует и Россия [372].

В 1967 г. на Камчатке была построена Паужетская ГеоЭС, в 1968 г. – Паратунская ГеоЭС, за последние годы построены 5 энергоблоков Мутнов-



ской ГеоЭС общей мощностью 62 МВт, разрабатывается ее вторая очередь. Мутновская геотермальная электростанция (рис. 3.25) считается лучшей в мире по уровню автоматизации и экологическим параметрам [374]. С 1992 г. на дальневосточном российском острове Кунашир в подножии вулкана Тятя действует Менделеевская геотермальная электростанция, 4 турбогенератора которой обеспечивают электроэнергией близлежащий пос. Горячий Пляж и половину потребностей г. Южно-Курильска, расположенного в 5 км. Но электроэнергия ГеоЭС намного дороже электроэнергии, получаемой традиционными методами, например от ГЭС на Камчатке.

Геотермальные электростанции нуждаются в охлаждающей воде, которой на единицу мощности требуют в 4 – 5 раз больше, чем ТЭС. Разработка месторождений термальных вод приводит к активизации опасных геодинамических процессов: пробуждению сейсмической активности, гидротермическим взрывам, развитию карста, выделению отравляющих газов, особенно сероводорода, и т.д. [374].

**Электростанции на биотопливе** для энергетики России, имеющей огромные залежи неиспользуемого торфа, существенного значения не играют [653]. Сегодня доля биоэнергетики в общем энергобалансе страны составляет 0,3 %. Однако, утилизация отходов лесозаготовки, деревообработки и целлюлозно-бумажной промышленности, отходов животноводства, твердых бытовых отходов населения и других с целью выработки тепловой и электрической энергии предоставляет возможность экономии на местах традиционных топлив, является существенным фактором улучшения экологического состояния территорий. Примером можно привести биогазовую станцию Лучки в Белгородской области, пущенную в 2012 г. (рис. 3.26). Показатели станции: установленная мощность 3,6 МВт; выработка электроэнергии 29,3 млн кВт·ч/год; выработка тепловой энергии 27,3 тыс. Гкал/год; получение органических биоудобрений 90 тыс. т/год; переработка сырья 95 тыс. т/год; сырье – отходы птицеводства, свиноводства и разведения крупного рогатого скота.

Современные цены на обычные виды топлив обуславливают экономическую неконкурентоспособность перечисленных нетрадиционных ВИЭ не только с гидроэнергетикой, но даже с традиционной теплоэнергетикой. Большие затраты на сооружение и длительный инвестиционный цикл делают их непривлекательными для вложения капитала. Мировой опыт указывает на необходимость государственной поддержки для развития данного направления энергетики [374].





Рис. 3.28. Солнечные модули на низовом откосе плотины Котани в Японии



Рис. 3.29. Возможное место расположения СЭС на низовом откосе плотины Нижне-Бурейской ГЭС

**Приливные электростанции.** Теоретический потенциал приливной энергии составляет: в США – 30,5; Канаде – 76; Франции – 130; Англии – 52,3; Аргентине – 46,2; Австралии – 700 млрд кВт·ч/год. В России – 210,6 млрд кВт·ч/год, в том числе в Европейской части – 40,6 и в Азиатской части – 170 млрд кВт·ч/год [344].

Обзор приливных явлений морей, омывающих Россию, показал, что возможные для энергетического использования амплитуды (выше 4 м) наблюдаются на Мурманском побережье Баренцева моря (7 м), в северо-восточной части Белого моря (Мезенский залив, 10 м) и в заливе Шелехова Охотского моря (Пенжинская и Гижинская губы, 11–13 м). Размеры акваторий, которые могут быть отсечены плотинами настолько значительны, что на побережьях Охотского и Белого морей могут быть созданы крупнейшие в мире ПЭС (табл. 3.11, рис. 3.27).

Таблица 3.9

**Первоочередные объекты приливной энергетики в России [650; 651]**

ПЭС	Северная	Мезенская	Тугурская	Пенжинская
Местоположение	Баренцево море, губа Долгая-Восточная	Белое море, Мезенский залив	Охотское море, Тугурский залив	Охотское море, Пенжинская губа
Высота прилива, м	4,2	10	11	13,5
Площадь отсекаемого залива, км <sup>2</sup>	5,6	2 300	1 100	6 800
Длина плотины, км	0,9	92	37	72
Мощность электростанции, МВт	12	8 000	6 300	87 400

Отсутствие ущербов от затопления земель при создании бассейнов ПЭС и возможность получения значительного количества пиковой энергии определяют актуальность приливных электростанций [51; 651].

Однако, при напоре на ПЭС, исчисляемом всего несколькими метрами, мощность и выработка достигаются увеличением расхода воды и площади бассейна. Это требует большой протяженности плотин, отсекающих бассейн ПЭС от моря, и большого количества гидроагрегатов на электростанции, что ведет к превышению затрат на строительство ПЭС по сравнению с альтернативными ГЭС. Неэкономичность проектов ПЭС является сегодня одной из основных причин, по которым энергия морских приливов в

промышленных масштабах не используется пока в России и других странах [344].

**Гибридная электрогенерация.** Примером такой генерации является объединение гидравлической и солнечной электростанций. На участках ГЭС имеются свободные территории для размещения солнечных батарей: низовые откосы грунтовых плотин (рис. 3.28), кровли зданий ГЭС, пристанционные площадки и пр. В Китае самая крупная СЭС мира (850 МВт) объединена с расположенной в непосредственной близости ГЭС Logyangxia (1280 МВт).

В России наиболее благоприятными с точки зрения солнечной активности являются ГЭС, расположенные в южной части Сибири, Дальнего Востока, на Северном Кавказе и нижние ГЭС Волжского каскада. Объектом возможного размещения СЭС рассматривалась плотина Нижне-Бурейской электростанции в Амурской области, где отмечается свыше 2000 часов солнечного сияния в год. Низовой откос плотины ориентирован на юго-запад. Здесь на 18 тыс. м<sup>2</sup> можно разместить солнечные модули установленной мощности 2,409 МВт (рис.3.29). Средняя величина вложений в 1 кВт мощности СЭС на открытых площадках в России составляет 120 тыс. рублей. На Бурейской плотине при имеющейся инфраструктуре для выдачи мощности она оценена в 83 – 86 тыс. рублей (2021 г.)

Размещение СЭС на энергетических гидроузлах повышает эффективность использования их территории, способствует полезному отпуску электроэнергии и рационализации использования водных ресурсов [744].

# ГЛАВА 4. ВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ

## 4.1. Виды транспорта в России

Исторический путь «из варяг в греки» означал контроль над речными системами Восточной Европы и торговыми путями из Скандинавии в Византию, Персию и Халифат. Оружие, меха, мед, воск, рабы, моржовый клык, соль, ткани, пряности, рыба (см. школьный атлас) – так достигался профицит бюджета в Киевской Руси [558].

Сегодня **транспорт**, это отрасль материального производства, осуществляющая перевозки людей и грузов [603], являющаяся одной из важнейших в хозяйственном механизме любой страны.

В России используются все виды наземного транспорта: железнодорожный, автомобильный, трубопроводный, а также водный и воздушный (авиационный) транспорт. В регионах сохранились некоторые виды традиционного местного наземного и водного транспорта [268].

Протяженность наземных путей сообщения в России больше, чем во многих странах, но недостаточна для урбанизации нашей огромной территории в гонке за прогрессом.

Эксплуатационная длина российских **железных дорог** общего пользования 85500 км (2019 г.) [<https://ru.wikipedia.org/wiki>]. Транссибирская железнодорожная магистраль (Транссиб) Москва – Нижний Новгород – Киров – Пермь – Екатеринбург – Тюмень – Омск – Новосибирск – Красноярск – Тайшет – Иркутск – Улан-Уде – Чита – Сковородино – Белогорск – Хабаровск – Усурийск – Владивосток протяженностью 9288 км постройки 1891 – 1916 гг., огибающая оз. Байкал с юга, – самая длинная в мире железная дорога через Евразию. В 1972 – 1984 гг. построена Байкало-Амурская магистраль (БАМ) от г. Усть-Кута (станция Лена) на восток (рис. 4.1) протяженностью 4287 км – второй железнодорожный выход из центра России к Тихому океану, проходящий севернее оз. Байкал, пересекающий по мостам реки Лена, Амур, Зея, Витим, Бурея и др. и с самым протяженным в стране

Северомуйским туннелем длиной 15343 м [268; 603]. В 2019 г. стартовало пассажирское движение по Амуро-Якутской магистрали (АЯМ) – ответвлению БАМа длиной 800 км, начатой строительством в 1985 г. и доведенной до пос. Нижний Бестях. Осталось построить мост через р. Лену к г. Якутску. Когда-нибудь, возможно, ее потянут до г. Магадана.

На географических картах видно, что на 60 % территории России железных дорог нет.

Длина **автомобильных дорог** в России в 2017 г. по данным Росстата составляла 1507750 км, в том числе федерального значения 50080 км, регионального и муниципального значения 515800 км, местного значения 884500 км. Самая длинная автодорога протянулась от Москвы до Владивостока через города Пермь – Екатеринбург – Тюмень – Омск – Новосибирск – Кемерово – Красноярск – Иркутск – Улан-Удэ – Чита – Хабаровск на 9172 км. Длина федеральной трассы «Урал» Москва – Челябинск 2680 км. Трасса «Кола» от г. Санкт-Петербурга до границы с Норвегией имеет длину 1600 км, трасса «Холмогоры» Москва – Архангельск – 1220 км, и т.д.

Когда смотришь на новые хайвэй с развязками вокруг Москвы или Санкт-Петербурга, проскальзывает чувство гордости за державу. Но в стране есть регионы, почти лишенные автомобильных дорог, которые бы заслуживали этого наименования [8] (рис. 4.2).

**Трубопровод** по определению одного из широкопрофильных менеджеров, это «труба круглого диаметра» [558]. Земля России пронизана трубопроводами, в основном для транспорта нефти и природного газа. Государственная компания «Транснефть» и ее дочерние общества располагают крупнейшей в мире системой магистральных нефтепроводов общей протяженностью около 70000 км. В 2009 – 2012 гг. в состав системы включен нефтетрубопровод Восточная Сибирь – Тихий океан (ВСТО) длиной 4740 км, проложенный от г. Тайшета в Иркутской области до нефтеналивного порта Козьмино в заливе Находка, пропускная способность которого к 2015 г. доведена до 58 млн т/год [164] (рис. 4.3). Протяженность газотранспортной системы ПАО «Газпром» 171,2 тыс. км. В 2014 – 2019 гг. построен газопровод «Сила Сибири» длиной 2158 км для поставок 30 млрд м<sup>3</sup>/год природного газа в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Протянуты газопроводы в Европу. Трубы качают, бюджет страны растет, враги России бьются в бессильной злобе.

В зоне вечной мерзлоты устраивают наземные теплоизолированные нефтепроводы, водоводы, теплотрассы, пульповоды и т. п. (рис. 4.4).



Рис. 4.1. Железнодорожный состав с топливным грузом на Байкало-Амурской магистрали



Рис. 4.2. Транспортный коллапс на федеральной трассе Невер-Якутск, из-за протаивания грунтов под дорожной насыпью. 2009 г. [15]



Рис. 4.3. Нефтепровод Восточная Сибирь – Тихий океан





Рис. 4.4. Пульпопровод от обогатительной фабрики №3 Мирнинского ГОК в Якутии к хвостохранилищу, покрытый экспериментальной тонкослойной полимерной теплоизоляцией. 2005 г.



Рис. 4.5. Самолет АН-2 на местном аэродроме в Оленекском районе Якутии (2011 г.) и новый биплан ТВС-2ДТС



Рис. 4.6. Оленья упряжка – вид местного наземного транспорта в Якутии

В Якутии, например, с 1994 г. эксплуатируется магистральный водовод р. Лена – р. Татта длиной 159,5 км с водоподачей  $4 \times 1600 \text{ м}^3/\text{час}$ , снабжающий водой 45 поселков с численностью населения около 70 тыс. человек [551].

**Авиапарк РСФСР** насчитывал 35 тыс. воздушных пассажирских судов, сейчас в России их около 2 тыс., из которых больше половины иностранного производства. За российскими авиакомпаниями на 2022 г. числилось 980 больших самолетов, из них 777 машин фирм Боинг и Эрбас находились в лизинговой эксплуатации. Так, у Аэрофлота из 249 самолетов только 9 Суперджетов российского производства [АН, 2022. – №8] За годы перестройки экономики количество действующих аэродромов снизилось с 1500 до 260, а количество авиапассажиров примерно со 100 млн чел./год до 60 млн. Причем в прежние годы 93 % – это были внутренние авиаперевозки и 7 % – международные. Теперь соотношение  $50 \times 50 \%$  [АиФ, 2017. – №31].

Большие самолеты российских авиакомпаний летают между Москвой и областными центрами, также за границы государства. Но в стране есть регионы, к населенным пунктам которых можно добраться только по воздуху. На местных линиях раньше преобладали самолеты АН-24 и АН-2. Последний, созданный в 1946 г., до 1971 г. был выпущен в грузовом и пассажирском вариантах в количестве более 18 тыс. экземпляров, затем до 2002 г. выпускался в Польше. Уцелевшие АН-2 летают по сей день (рис.4.5). Местные перевозки составляют 2% в общем объеме работ авиакомпаний [АН, 2019. – №37]. Например, в пос. Оймякон в Якутии (полюс холода в северном полушарии) летали АН-2 и АН-24 двумя рейсами в сутки из г. Якутска и пос. Усть-Неры. Сегодня есть рейс из Якутска раз в неделю только летом. Жителям регионов, где исчезло авиасообщение, осталось вернуться пока к местному внедорожному транспорту (рис.4.6).

Российский авиапром в 2017 г. выпустил 41 большой пассажирский самолет – половину от среднего производства в СССР [АиФ, 2018. – №33]. В 2012 – 2017 гг. было построено 20 крупных аэровокзальных комплексов, получивших звучные символические названия (в г. Ростове-на-Дону – Платов, в г. Саратове – Гагарин, в г. Нижнем Новгороде – Чкалов и т.п.), реконструировано 26 взлетно-посадочных полос [АН, 2019. – №37].

Возобновляется выпуск регионального самолета – турбовинтового модернизированного Ил-114-300 вместимостью 60 пассажиров и дальностью полета 2000 км. [АиФ, 2018. – №33]. Первый полет Ил-114 совершил в 1990 г., было построено (в г. Ташкенте) 17 экземпляров. Самолет должен

заместить выбывающие по ресурсу АН-24 [АН, 2019. – №37]. На московском авиакосмическом салоне МАКС -19 показали самолет L-10 на 19 пассажиров с дальностью полета 1500 км, способный садиться на грунт, снег и воду, который начали выпускать в 2018 г. [АН, 2019. – №34]. На основе АН-2 создан и готов к серийному производству цельнокомпозитный турбовинтовой биплан ТВС – 2ДТС вместимостью до 14 человек (см. рис.4.5), который будет использоваться на местных малонагруженных воздушных линиях [АН, 2019. – №32]. Возрождаются небольшие аэропорты.

С учетом глубины ямы, в которую скатилась отечественная гражданская авиация, работать придется долго, прежде чем карта страны вновь покроется плотной сетью авиалиний.

**Внутренний водный транспорт** включает речной флот и необходимую инфраструктуру для его обслуживания.

С середины XIX в. рабочим ядром речного флота России стали самоходные суда. Ради исторического примера можно упомянуть, что дореволюционные пароходные общества, такие как «По Волге», «Кавказ», «Меркурий», «Самолет», насчитывали по 50 и более пароходов. На Нижегородскую ярмарку в 1917 г. приходило до 18 тыс. судов различного назначения. Среди пароходов были долгожители. «Святой Иннокентий» постройки 1868 г. (с 1920 г. «Коммунист») брал груз 32 т и 325 пассажиров, проработал 93 навигации на р. Лене, списан в 1961 г. [468]. «Н.В. Гоголь» пассажироместимостью 695 человек был спущен на воду в 1911 г. на Сормовском заводе, ходил на р. Северной Двине по линии Вологда – Архангельск, в 1939 – 1941 гг. у него заменили корпус, в 1950-х гг. паровые котлы перевели с дров на мазут, до сих пор он совершает прогулочные рейсы из г. Архангельска.

Суда внутреннего плавания классифицируются Российским речным регистром в соответствии с классификацией водных бассейнов в зависимости от высот волн (табл. 4.1).

Таблица 4.1

**Характеристики нормативных высот волн применительно к основному символу класса судна**

Основной символ класса	«Л»	«Р»	«О»	«М»	«О-ПР»	«М-ПР»	«М-СП»
Нормативная высота волны, м	0,6	1,2	2,0	3,0	2,0	2,5	3,5
Обеспеченность высот волн, %	1	1	1	3	3	3	3

Основными символами в формуле класса судов внутреннего плавания являются буквы «Л», «Р», «О» и «М», определяющие конструктивные особенности судна и вид водного бассейна, в котором оно может эксплуатироваться (легкое, речное, озерное, морское). Основными символами в формуле судов смешанного (река – море) плавания являются буквенные сочетания «О – ПР», «М – ПР», «М – СП», определяющие конструктивные особенности судна и условия его эксплуатации в морских районах [529].

На начало 2017 г. **речной грузовой флот** России насчитывал 896 судов внутреннего и смешанного плавания основных серий средним возрастом от 15 до 56 лет (табл. 4.2). Так, например, с 1960 г. по 1990 г. флот получил до 225 самоходных сухогрузов «Волго-Дон» разных проектов. Проект 1565М (рис.4.7) – это теплоход с четырьмя закрытыми грузовыми трюмами, кормовым расположением надстройки современной формы, дедвейтом 5100 т. Полный список судов типа «Волго-Дон» и др. можно посмотреть на сайте [[http: river fleet.ru/fleet/2154](http://riverfleet.ru/fleet/2154)]. С нарастающими темпами идет списание судов этих «старых» серий [210].

Таблица 4.2

**Количество и средний возраст основных грузовых судов внутреннего и смешанного плавания (на 01. 2017) [210]**

Тип, проект, дедвейт	Количество судов	Средний возраст, годы
Сухогрузные самоходные суда		
«Волжский», 05074/05074А/05074М, 5100/3900 тонн	33	27,7
«Волго-Дон», 1565, 1565М, 1565А, М1565, 5100 тонн	69	40,4
«Волго-Дон», 507Б, 5210 тонн	64	44,0
«Омский», 1743, 3070 тонн	96	34,2
«Волго-Балт», 2-95, 791, 3140 тонн	41	39,7
«Калинград», 21-88, 21-89, 2200 тонн	48	52,4
«Шестая пятилетка», 576, 2050 тонн	70	56,2
СТК, 326, 326.1, 1540 тонн	31	33,7
«Окский», 559, 559Б, 559М, 1740 тонн; Р97, 1900 тонн	46; 19	43,0; 36,1
Нефтеналивные самоходные суда		
«Волгонефть», 1577/550А, 4875 тонн	118	42,1
«Волгонефть», 558/550, 4900 тонн	18	49,4
«Волгонефть», 630, 5000 тонн	9	28,2
«Волгофлот», 05074Т, 5210 тонн	9	33,2
«Волго-Дон», 507Б, 1565Т, 5210 тонн	4	49,8
«Нефтерудовоз», 1553, 1570, 3345/2855 тонн	25	36,2
«Ленанефть», 621, 3390 тонн	25	29,9
«Ленанефть», Р77, 2890 тонн	46	39,0

Продолжение таблицы 4.2

Тип, проект, дедвейт	Количество судов	Средний возраст, годы
Сухогрузные несамоходные суда		
003020, 003040, 4640/4000 тонн	7	14,9
«Волжский», 05074, 5100 тонн	13	31,5
16800, 2500 тонн	105	31,9
<b>ВСЕГО</b>	<b>896</b>	

Набирает обороты процесс строительства новых грузовых судов (табл. 4.3). Наиболее востребованными остаются суда «Волго-Дон макс» класса, универсальные по своим размерам для работы на внутренних водных путях России и предназначенные для замены советских серий судов «Волгонефть» и «Волго-Дон». К 2016г. их построили 186 единиц или 59 % от общего количества новых грузовых судов [210]. В 2018 – 2022 гг. завод «Красное Сормово» спустил на воду 38 сухогрузов проекта RSD59, в 2020 – 2022 гг. «Окская судостроительная» построила 18 таких судов (рис. 4.8) и т.д. [АН, 2022. – №8].

Таблица 4.3

### Пополнение водного транспорта в XXI веке (на 01.2016) [210]

Тип судна	Построено	Примечания
<b>Самоходные грузовые суда, в том числе:</b>	<b>317</b>	<b>+40 в постройке</b>
самоходные грузовые суда «Волго-Дон макс» класса, из них:	186	+33 в постройке
– нефтеналивные	133	+13 в постройке
– комбинированные	5	+6 в постройке
– сухогрузные	48	+14 в постройке
самоходные грузовые суда других классов, из них:	131	+7 в постройке
– нефтеналивные	12	+1 в постройке
– нефтеналивные (для Каспийского моря)	21	
– танкеры -бункеровщики	14	+2 в постройке
– сухогрузные суда	84	+4 в постройке
<b>Сухогрузные суда с трюмами для проектных грузов (для Каспийского моря)</b>	<b>21</b>	<b>+13 в постройке</b>
<b>Несамоходные грузовые суда, в том числе:</b>	<b>232</b>	
несамоходные грузовые суда «Волго-Дон макс» класса, из них:	63	
– нефтеналивные баржи	30	
– сухогрузные баржи	33	

Продолжение таблицы 4.3

Тип судна	Построено	Примечания
несамоходные грузовые суда других классов, из них:	169	129 для Сибири и Дальнего Востока
– нефтеналивные баржи	47	
– сухогрузные баржи-площадки	94	
– баржи-площадки для автотехники	21	
– сухогрузные трюмные и бункерные баржи	7	
<b>Буксиры и буксиры-толкачи, в том числе:</b>	<b>54</b>	<b>39 для Сибири и Дальнего Востока</b>
– толкачи мощностью 1400 – 1800 кВт	11	
– буксиры и толкачи мощностью 400 – 600 кВт	17	
– буксиры и толкачи мощностью 250 кВт	26	
<b>Вспомогательные и технические суда, в том числе:</b>	<b>более 200</b>	
– обстановочные	76	
– водолазные, пожарные и спасательные	20	
– экологические	6	
– земснаряды	51	

Объективно мал **пассажирский флот** на внутренних водных дорогах России: на всю страну приходится 1,27 тыс. разных пассажирских судов (рис. 4.9), при этом около 130 туристских, но реально в работе их около 90 (рис. 4.10). Примерно половине из 90 туристских судов за 50 лет (табл. 4.4) и в ближайшее десятилетие они, скорее всего, будут списаны [210].

В XX в. остался почти весь многотысячный российский отряд судов на подводных крыльях, выпускавшихся начиная с 1960 -х гг. Удержались «Метеоры» на туристской линии С.-Петербург – Петергоф (рис.4.11), в г. Петрозаводске, катающие отдыхающую публику по Онежскому озеру, кое-где на востоке страны.

Из экзотики имеются три десятка плавучих магазинов. На р. Москве работают 50 банкетходов (рис. 4.12).

В табл. 4.5 отражены данные о пополнении речного пассажирского флота новыми судами в период 2000 – 2016 гг.

Из табл. 4.5 видно, что основную долю из построенных в 2000–2016 гг. составляют небольшие суда (рис. 4.13), около 100 таких насчитывают сейчас на Москве-реке [АН, 2017. – №24].

Таблица 4.4

**Количество и средний возраст речных туристских  
пассажирских судов (на 01.2017) [210]**

Тип, проект	Количество судов	Средний возраст, лет
«Валериан Куйбышев», 92-016	9	36
«Дмитрий Фурманов», 302	17	25
«Владимир Ильич», 301	19	32
«Дунай», 305	20	51
«Максим Горький», Q-040	4	36,5
«Антон Чехов», Q-056	2	33,5
«Сергей Есенин», Q-065	5	26,4
«Октябрьская революция», 26-67	11	51
«Родина», 588	33	56
«Байкал», 646	7	56
«Россия», 785	3	57
<b>ИТОГО</b>	<b>130</b>	<b>43,7</b>

Таблица 4.5

**Речной пассажирский флот постройки 2000 – 2016 гг. [210]**

Тип судна	Построено
Пассажирские и грузопассажирские суда, в том числе:	около 200
– прогулочные для Санкт-Петербурга и Москвы	116
– туристские пассажирские (Александр Грин; Русь Великая; Сура)	5
– пассажирские для местных линий	20
– паромы самоходные и несамоходные	33
Катера различного назначения	более 400

Туристский «Александр Грин» – это модернизированный «Александр Блок», построенный в Австрии в 1984 г., а «Русь Великая» – реставрированный «Генерал Ватутин», сошедший со стапеля в бывшей Германской демократической республике в 1960 г. [АН, 2019. – №37]. Три «Суры» – заднеколесные дизель-электроходы вместимостью по 150 пассажиров, построенные на Городецком судоремонтном заводе в Нижегородской области для плаваний по малым и средним рекам (рис. 4.14).

В 2017 г. в ЦКБ им. Р.А. Алексеева (Нижегородская область) построили и пустили в местное плавание судно на подводных крыльях «Валдай» на 45 пассажиров с корпусом из композитных материалов (рис. 4.15). В



Рис. 4.7. Сухогрузное судно Волго-Дон проекта 1565М на Угличском водохранилище. 2018 г.



Рис. 4.8. Спуск на воду сухогруза проекта RSD – 44 «Капитан Рузманкин» на ОАО «Окская судостроительная верфь» в г. Навашино Нижегородской области



Рис. 4.9. Рейсовый теплоход «Заря – 282» на р. Лене выше г. Усть – Кута. 2000-е гг. [468]





Рис. 4.10. Туристские теплоходы у причала г. Плес на Горьковском водохранилище. 2018 г.



Рис. 4.11. Теплоход на подводных крыльях «Метеор» на р. Неве. 2012 г.



Рис. 4.12. Банкетолод на р. Москве. 2017 г.



Рис. 4.13. Теплоход «Кубань», осуществляющий местные рейсы по р. Кубани у г. Краснодара. 2007 г.

а



б

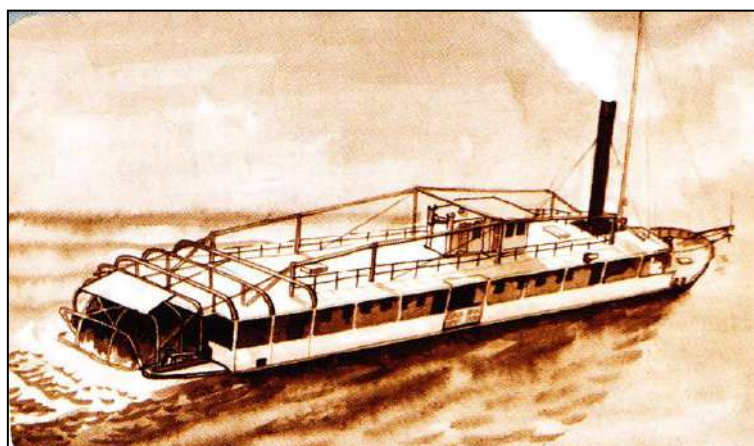


Рис. 4.14. Заднеколесные пассажирские суда: а – дизель- электроход проекта ПКС-40 «Сура», спущен на воду в 2010 г. (150 пассажиров, осадка 0,75 м); б – его предшественник пароход «Пермяк», построен в 1889 г. (200 пассажиров), совершал рейсы по р. Лене, списан в 1924 г. [468]



Рис. 4.15. Судно с подводными крыльями «Валдай» на Чебоксарском водохранилище. 2019 г.



Рис. 4.16. Спуск на воду речного круизного лайнера «Мустай Карим» на заводе «Красное Сормово» в 2019 г. [cruiseinform.ru]

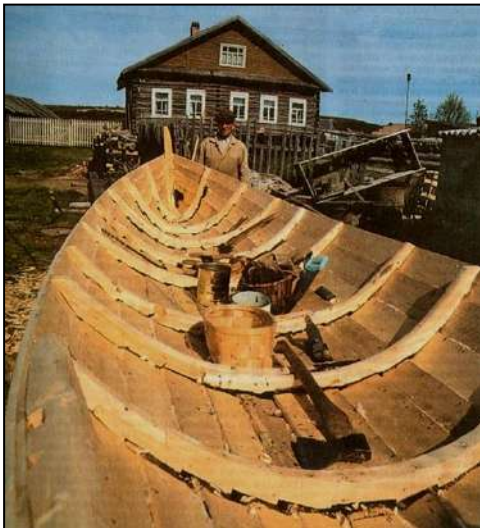


Рис. 4.17. Деревянная лодка – вид местного водного транспорта на Севере России: Архангельская область. Если избу топором «рубят», то лодку «шьют» [Наука и жизнь, 2009. – №9]

2018 г. на заводе «Вымпел» в г. Рыбинске построили судно на подводных крыльях «Комета 120М, рассчитанное на 120 пассажиров для эксплуатации в прибрежных акваториях морей. Этим, возможно, положено начало новому российскому флоту скоростных пассажирских судов.

Осенью 2019 г. на заводе «Красное Сормово» в г. Нижнем Новгороде спущен на воду 342-местный лайнер «Мустай Карим» (рис. 4.36) проекта RV-300 Морского инженерного бюро. Экспертно к 2030 г. рынок водного туризма в России составит до 1 млн человек в год и потребуются серия примерно в 10 подобных судов [210].

У жителей российского Севера не теряют актуальности традиционные виды местных плавательных средств (рис. 4.17).

## **4.2. Внутренний водный транспорт в российской транспортной отрасли**

Внутренний водный транспорт в России используется для перевозок на большие расстояния крупнотоннажных грузов: угля, нефтепродуктов, леса, зерна, строительных материалов, большегабаритных конструкций (рис.4.18 – 4.22) и др., также пассажиров. Сосредоточимся на грузовом транспорте.

Перевозочную деятельность по воде осуществляют более 1 500 хозяйствующих субъектов. Одним из крупных судовладельцев и грузоперевозчиков является, например, ОАО «Судоходная компания Волжское пароходство». Основной собственник компании – *Havensight Shipping Cyprus Limited* (43,44 % акций). У нее 268 единиц сухогрузного и наливного флота. В 2020 г. объем перевозок составил 15,4 млн т. В мировой иерархии тоннажа флот компании рассматривается как «коустер», осуществляющий перевозки партиями от 1,0 до 5,5 тыс. т из портов рек Дона, Невы, Волги в порты Европы, Азии, Африки. Заграничные перевозки компания выполняет судами смешанного плавания «река-море», ежегодно более 1,5 млн т грузов, в том числе около 100 тыс. т генеральных, 90 тыс. т зерновых, 210 тыс. т металла и пр. Номенклатура грузов с годами существенно не меняется [228]. В составе флота компании за последние годы появились 10 речных сухогрузов нового проекта RSD-44 (см. рис. 4.8), оказавшиеся эффективнее 19 старых судов [634].

Работа речного флота по перевозкам грузов в прошлом и настоящем характеризуется следующими данными, млн т: 1995 г. – 144,9; 2007 г. – 153,4; 2012 г. – 143,0; 2017 г. – 110,0 [110; АН, 2018. – №19].

Сравнивать что-либо на основе российской статистики не всегда корректно, так как государственные счетоводы со временем меняют методики подсчетов, но видно, что доля внутреннего транспорта в грузопотоке страны и в прежние годы была сравнительно небольшой: 5,63 % в 1960 г., 3,81 % в 1990 г., а в 2017 г. еще уменьшилась аж до 1 %. Для справки: в США с середины 1950 -х гг. доля водного транспорта во внутреннем грузообороте составляет 15 – 17 %, в Евросоюзе по водным путям перевозят 12 % всех грузов и собираются поднять долю до 20 %. Получается, что в России наземные виды транспорта (в основном железные дороги) перехватили хозяйственные функции водных путей [110; 396; АН, 2018. – №19].

Более 60 % грузооборота внутреннего транспорта России приходится на топливные грузы (см. рис. 4.1, 4.18) потребляемые энергетикой и тем же транспортом. Оптимизация транспортно-энергетического комплекса предполагает уменьшение грузооборота топливных грузов и снижение общей энергоемкости внутреннего транспорта. Первое может быть достигнуто сокращением потребления топлива электроэнергетикой за счет расширения использования гидроэнергетических ресурсов, второе – передачей грузов с автомобильного и железнодорожного транспорта на водный [119; 634].

Неоспоримы достоинства внутреннего водного транспорта.

Затраты на строительство и содержание объектов инфраструктуры водного транспорта в 50 раз ниже, чем на авто- и железнодорожном транспорте [634].

Вес подвижного состава (тары), перемещаемого вместе с грузом, составляет на внутренних водных путях 10 – 20 % грузоподъемности, тогда как на железных дорогах достигает 30 % и более. При этом удельная стоимость подвижного состава, приходящаяся на 1 т груза, на водном транспорте в 2 – 3 раза меньше, чем на железнодорожном [396].

Грузоперевозки по воде экономичнее перевозок наземным транспортом. Относительное энергопотребление на 1 т·км различными видами транспорта выражается так: железнодорожный транспорт 100 %; автотранспорт по стандартны дорогам 80 – 100 %, по прочим 200 – 300 %; водный транспорт 20 – 80 % [110; 139; 634]. Использование на дальних расстояниях железнодорожного и тем более автомобильного транспорта из-за высокой энергоемкости считается в мировой практике нецелесообразным.



Рис. 4.18. Танкеры «Ленанефть» – основной тоннаж для завоза нефтепродуктов по р. Лене на Север страны [468]



Рис. 4.19. Судно груженое лесом в речном участке Нижне - Свирского водохранилища. 2018 г.



Рис. 4.20. Транспорт с гипсовым камнем в Шекснинском водохранилище. 2018 г.



Рис.22.18. Доставка по р. Лене труб на строительство нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан в навигацию 2008 г. [468]



Рис. 4.22. Большегабаритный груз на специальном судне в Цимлянском водохранилище. 2019 г.



Рис. 4.23. Запань на р. Каме: сюда молевым сплавом прибывает заготовленный лес, из которого вяжут плоты, отправляя их вниз по реке. 1980-е гг. (В.М. Песков)

Энергоемкость водного транспорта падает с увеличением грузоподъемности и осадки судов. Этим было обусловлено проведение в Западной Европе, США и России на протяжении многих десятилетий государственной политики, направленной на развитие систем глубоководных путей. Возможность перевозок водным транспортом (а не железнодорожным или автомобильным) дальних массовых грузов обеспечивает значительное энергосбережение [396].

Массовые грузы доставляются потребителю по воде скорее, чем альтернативными видами транспорта (автомобильным, железнодорожным), хотя технические скорости последних и более высоки. Если, например, 5 000 т груза может быть доставлено из одного пункта в другой водным (500 км) или автомобильным (300 км) транспортом, то в первом случае для его доставки потребуется 1 грузовой теплоход «Волго-Дон» и груз будет доставлен за сутки одним рейсом. Во втором случае потребуется 500 рейсов автомобиля КамАЗ и при наличии 10 автомобилей и при двух рейсах в сутки на доставку всего груза потребуется 25 суток [396].

Водный транспорт показывает высокую безопасность: аварии на нем случаются в 178 раз реже, чем на авто-, и в 13 раз реже, чем на железнодорожном транспорте [634].

Внутреннему водному транспорту по сравнению с сухопутными видами свойственно минимальное негативное воздействие на окружающую среду [396]. Выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта в общем объеме выбросов по стране составляют 46,3 %, от железнодорожного транспорта 11,57 %, от водного транспорта 2,31 % [634].

Самым большим недостатком внутреннего водного транспорта является сезонность грузоперевозок. Перерыв на зиму тем больше, чем севернее расположен водный путь. Так, длительность навигации на р. Волге составляет 7 – 8 месяцев, на р. Северной Двине 5 – 6 месяцев, на р. Лене в верхнем течении немногим более 5 месяцев, а в Быковской протоке дельты 3 месяца. В общем грузообороте небольшая доля водного транспорта при его эффективности относительно других видов транспорта объясняется также несовпадением в некоторых районах сети водных путей с основными направлениями грузопотоков, изолированностью речных бассейнов, малыми глубинами на незарегулированных участках рек, неустойчивостью судовых фарватеров и другими причинами. Многие из перечисленных недостатков внутренних водных путей устраняются строительством каналов и созданием водохранилищ [122].



В условиях России выраженная компетентность заключается:

– для автотранспорта – в высокой скорости, реализации принципа доставки груза «от двери к двери» и в обеспечении перевозок мелкопартионных грузов, особенно в районы, не имеющие ни железнодорожных, ни водных путей сообщения, преимущественно на небольшие расстояния;

– для железнодорожного транспорта – в обеспечении перевозок крупных партий грузов независимо от времени года и погодных условий, преимущественно на большие расстояния;

– для внутреннего водного транспорта – в обеспечении перевозок крупных партий массовых и тяжеловесных грузов в приречные регионы в навигационный период. Особенно эффективен и безальтернативен внутренний водный транспорт в условиях отсутствия железных и качественных автомобильных дорог [634].

Особым видом транспортного водопользования является **лесосплав**.

К водным путям тяготеют более 60 % лесных массивов, находящихся в основном в бассейнах рек Северной Двины, Печеры, Онеги, Мезени, Оби, Енисея, Лены и Амура. В 1970-х гг. лесосплавом использовалось 2 000 рек, 250 озер и 11 больших водохранилищ с общей протяженностью сплавных путей 140 тыс. км [149]. Для многих лесных регионов транспорт леса по воде остается единственным видом транспорта. Из 100 млн м<sup>3</sup> заготавливаемой в последние годы древесины до 30 % объема доставляется потребителям водным путем. Молевой сплав леса (рис. 4.23) прекращен, используется сплав в плотках и перевозка судами (см. рис. 4.19) [315; 468].

Так по рекам Ангаро-Енисейского бассейна Мане, Колбе, Бирюсе, Чуне, Кану, Ое, Усолке, Тасеевой, Кунгусу, Агулу, Кебежу, Абакану долгие годы молевым сплавом доставлялось более 40 – 70 % объема лесозаготовок. После прекращения его в 1985 г. в руслах рек оказалось затоплено около 300 тыс. м<sup>3</sup> древесины, часть из которой может быть вовлечена в переработку. Реки Красноярского края продолжают эксплуатировать для водного транспорта леса. Протяженность сплавных путей по Ангаре и Енисею составляет 3 000 км. Древесина сплавляется в плотках с использованием судовой тяги. Например, предприятиям г. Лесосибирска ежегодно доставляется водным путем около 2,5 млн м<sup>3</sup> круглого леса. В 2006 г. объем сплава древесины в Красноярском крае превышал 3 млн м<sup>3</sup> [315].

Водный транспорт леса экономически более эффективен по сравнению с автомобильным при транспортировке леса на расстояния свыше 150 км. При выполнении стандартных требований [175] он является

экологически более чистым по сравнению с сухопутными видами транспорта [315].

### **4.3. Единая глубоководная система в европейской части и водные пути на востоке России**

В начале XXI в. в России используется для судоходства 101,7 тыс. км внутренних водных путей, из которых 43 тыс. км имеют гарантированные габариты судового хода, а 16,7 тыс. км – это искусственные водные пути. Они являются частью транспортной инфраструктуры, обеспечивающей перевозки грузов и пассажиров для 68 субъектов Федерации, а также экспортно-импортные перевозки в 670 портов 45 зарубежных стран [139].

На внутренних водных путях построено и эксплуатируется 723 судоходных гидротехнических сооружения, включая 110 шлюзов, судоподъемник на Красноярском гидроузле, а также 134 порта.

В европейской части страны создана Единая глубоководная система (ЕГС) по шлюзованным рекам Дону, Волге, Кама, Москве, Волго-Донскому судоходному каналу, каналу имени Москвы, Волго-Балтийскому водному пути, Беломорско-Балтийскому каналу, связавшая Черное, Азовское, Каспийское, Балтийское и Белое моря (рис. 4.24). Протяженность судоходных трасс ЕГС составляет 6,5 тыс. км, из них на 6,2 тыс. км поддерживается судоходная глубина 4 м [396].

Важность внутренних водных путей для экономики развитых и развивающихся стран была отмечена многосторонним «Европейским соглашением о важнейших внутренних водных путях международного значения» 1996 г., к которому Российская Федерация присоединилась в 2000 г. Среди российских внутренних водных путей международное значение получили: магистральный водный путь Санкт-Петербург – Рыбинск – Нижний Новгород – Казань – Волгоград – Астрахань с ответвлениями Рыбинск – Москва, р. Волга от Дубны до Твери, р. Кама от ее устья до г. Соликамска; водный путь, который включает Волго-Балтийский канал, Беломорско-Балтийский канал, водную трассу вдоль побережья Белого моря до г. Архангельска, а также внутренние водные пути, которые доступны только с этого маршрута. Таким образом, соглашение закрепило общеевропейское признание российской «магистралей пяти морей» и всех ее крупных портов [128; 625].

С целью модернизации Единой глубоководной системы, разработана концепция проекта судоходного канала «Евразия» (рис. 4.25), предназначенного для пропуска судов из Каспийского моря в Азово-Черноморский бассейн и далее [128; 348]. Трасса канала намечена от устья р. Дона по долинам рек Западный и Восточный Маньчи, затем по малонаселенным степям Калмыкии (рис. 4.26) до р. Кумы, откуда до Кизлярского залива или же до порта Лагань на Каспийском море. В 1930 – 1940 гг. проект был частично осуществлен: на р. Западном Маньче построены три водохранилища и участок водного пути длиной в 329 км эксплуатируется до настоящего времени [520]. Длина канала «Евразия» 755 км. На водоразделе между Азовским и Каспийским морями располагается действующее Чограйское водохранилище. Снабжение водой канала «Евразия» будет обеспечено из дельты Волги по питающему каналу Волга – Чограй длиной 353 км [348]. Реализация проекта чревата экологической напряженностью и рисками изменений состояния водных и околородных систем. Канал затопляет 1 650 км<sup>2</sup> земель и на протяжении 200 км пересекает зону миграции сайгаков, представляющих единственный вид антилоп, сохранившихся на европейской части континента [360]. У концепции имеются сторонники и противники. Решение о сооружении канала «Евразия» будет принадлежать государственной власти [128].

Велика роль водных путей в бассейне р. Оби, особенно в северных районах Тюменской и Томской областей. Освоение нефтяных и газовых месторождений началось в 1960-е гг. здесь на основе массовой перевозки грузов водным транспортом по Оби, Надыму, Пуру, Тазу и другим рекам. Протяженность водных путей в Обском бассейне составляет 32 тыс. км, из них на 16 тыс. км установлены габариты судового хода. Основной объем перевозок выполняется судами грузоподъемностью до 2 800 т с осадкой в грузу до 3,7 м. Перегрузочные работы в бассейне ведутся в 16 портах и более чем на 300 пристанях [114].

Современное судоходство осуществляется по р. Енисею, его притокам Тубе, Кану, Ангаре, Подкаменной и Нижней Тунгускам, Курейке, Хантайке, Абакану, Сыму, Елогу, Турухану, Хете и др. На гидрологический режим Енисея существенное влияние оказывают водохранилища, регулирующие от 23 % до 38,6 % его годового стока: Саяно-Шушенское, Майнское, Красноярское на самом Енисее, Иркутское, Братское, Усть-Илимское, Богучанское на Ангаре, Усть-Хантайское и Курейское на Хантайке и Курейке. Главные порты на Енисее – Абакан, Красноярск, Лесосибирск, Игарка, Дудинка.

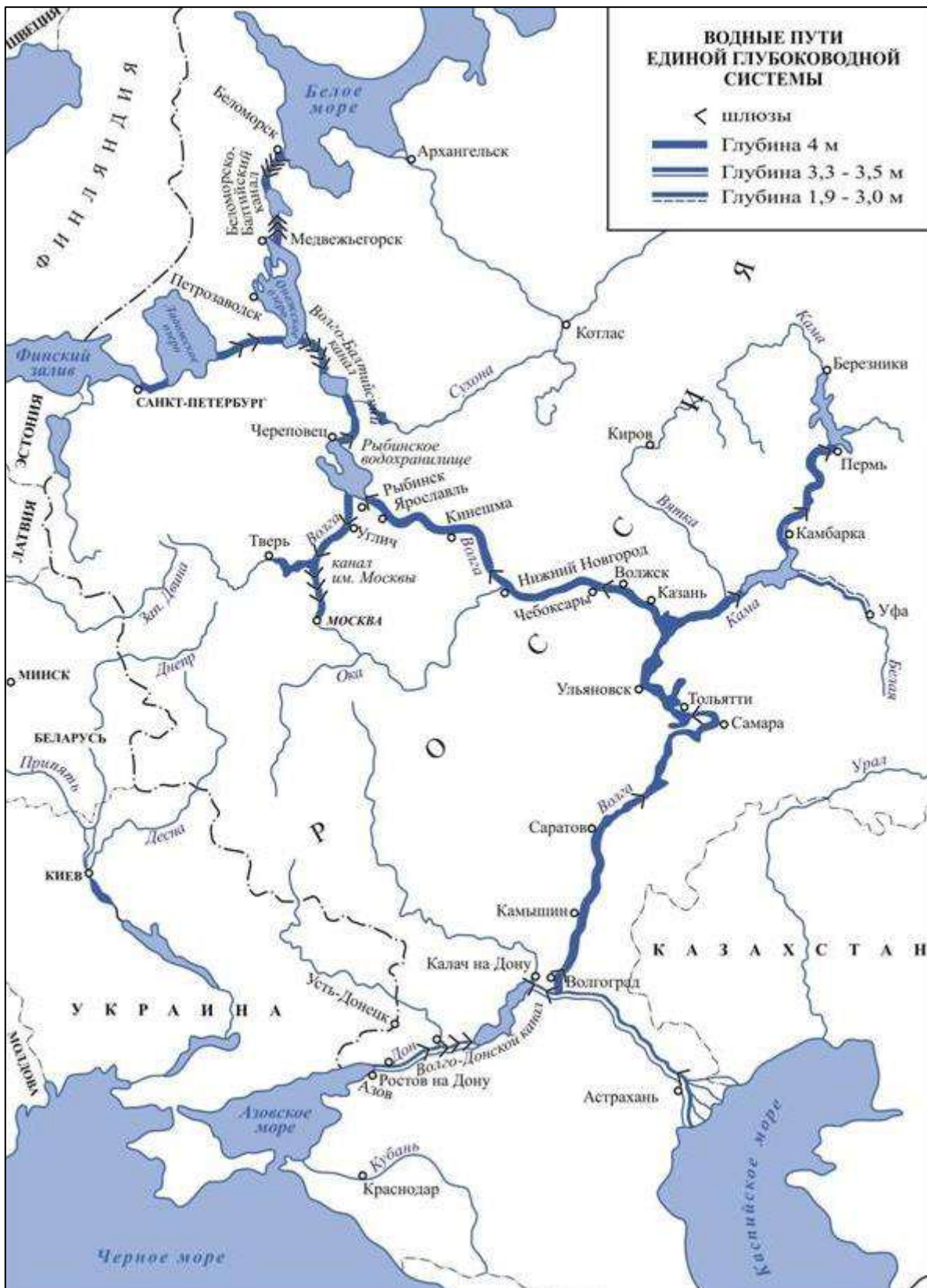


Рис. 4.24. Схема Единой глубоководной системы в Европейской части России [396]



Рис. 4.25. Схема трассы судоходного канала «Евразия» [128; 348]



Рис. 4.26. Ергени: возвышенность на юго-востоке европейской части России от р. Волги в районе г. Волгограда до долины р. Восточный Маныч в Калмыкии; восточный крутой склон обращен к Прикаспийской низменности, западный, пологий – переходит в равнинные полупустыни и степи [128; 603]

Реку Енисей считают «воротами» общеэкономических связей Красноярского края [520].

Река Лена судоходна от г. Усть-Кута до устья. Из притоков Лены судоходны Киренга, Вилуй, Витим, Олекма, Алдан (рис. 4.27). Длина водных путей в бассейне Лены 19 тыс. км, из них с гарантированной судоходной глубиной примерно 7 тыс. км. Лена пересекает промышленные и сельскохозяйственные районы Якутии, связывает их с Байкало-Амурской железнодорожной магистралью и с Северным морским путем, принимает на себя около 50 % всех грузов, ввозимых в Якутию. Основные входы на р. Лену: порт Осетрово в г. Усть-Куте и порт Тикси на море Лаптевых. [114].

На Северо-Востоке России судоходны реки Оленек, Яна, Индигирка, Колыма, Анабар бассейна Северного Ледовитого океана. Эта речная система являет единственные пути сообщения, по которым доставляются грузы в отдаленные внутренние районы региона (см. рис. 4.27). Ленское ГБУ обслуживает 21 тыс. км водных путей северо-востока (вместе с путями в бассейне р. Лены), из них 9 500 км с гарантированными глубинами [200; 467].

Создание на реках каскадов водохранилищ улучшает судоходные условия в части обеспечения гарантированных глубин. Так, гарантированная глубина р. Волги до ее реконструкции составляла в верховьях 0,4 – 0,5 м, в низовьях – до 2 м. С зарегулированием реки она на участке от г. Твери до впадения в Каспийское море приблизилась к 4 м [108]. Увеличение глубин позволяет использовать большегрузные суда (до 5 000 т), а также суда класса «река-море».

Плановое положение внутренних водных путей определяется гидрографией и извилистостью речной сети. Удлинения по сравнению с воздушной прямой, на внутренних водных путях больше, чем на сухопутных трассах [396]. На водохранилищах длина судового хода за счет спрямления сокращается на 5 – 15 %; в несколько раз увеличивается ширина и радиусы закругления, что дает возможность повысить на 10 – 15 % скорость движения судов. Себестоимость перевозок по водохранилищам по сравнению с себестоимостью перевозок по рекам в естественном состоянии уменьшается в 1,5 – 5 раз [122].

Требования речного транспорта к режиму водохранилищ, используемых для судоходства, в основном заключаются в обеспечении необходимых навигационных уровней воды. На участках рек ниже гидроузлов нормируются размеры гарантированных судоходных попусков воды из водохрани-

лиц в нижние бьефы – среднесуточных и минимальных в пределах суток [534]. За счет увеличения попусков по сравнению с бытовыми расходами рек судоходные глубины на участках ниже гидроузлов увеличиваются (табл. 4.6).

Таблица 4.6

**Увеличение навигационных расходов в нижних бьефах гидроузлов в связи с зарегулированием стока [7; 460; 462]**

Река	Водохранилище	Расходы и обеспеченность			
		в условиях регулирования		в естественных условиях	
		расход пуская, м <sup>3</sup> /с	обеспеченность, %	расход м <sup>3</sup> /с	обеспеченность, %
Волга	Горьковское	1 100	90	450	96
– ” –	Куйбышевское	4 000	97	2 400	96
– ” –	Волгоградское	4 000	97	2 310	96
Кама	Камское	900	90	485	97
– ” –	Воткинское	1 000	95	530	96
Дон	Цимлянское	580	93	160	91

Создание водохранилищ имеет и некоторые неблагоприятные для водного транспорта последствия. Трудности в эксплуатации судов вызываются усилением ветра и увеличением волнения. Замедляется движение судов при шлюзовании в гидроузлах. Но опыт судоходства показал, что положительные факторы создания водохранилищ для водного транспорта многократно превосходят отрицательные [122].

Актуальным для России является продление навигации посредством искусственного разрушения ледяного покрова (рис. 4.28) на водных путях. Существует много способов разрушения льда: его ослабление воздействием модификаторами; создание волны (например, набросом нагрузки ГЭС), разрушающей лед в верхнем бьефе гидроузла; взламывание струями воды высокого давления, ледоколами и ледорезными машинами, взрывами, в том числе бомбометанием и др. [298; 299]. Имеются разработки судовых ледоуборочных комплексов, волногенераторов, потокообразователей для создания протяженных, свободных от льда акваторий [84]. Чаще всего на практике задействуется ледокольный флот (рис. 4.29). Например, на Камском водохранилище в начале апреля проводятся ледокольные работы для организации «северного завоза» [112].

Водные пути используются зимой как ледовые дороги при отсутствии обычных дорог. Автозимники устраиваются на ледяных покровах рек, озер,

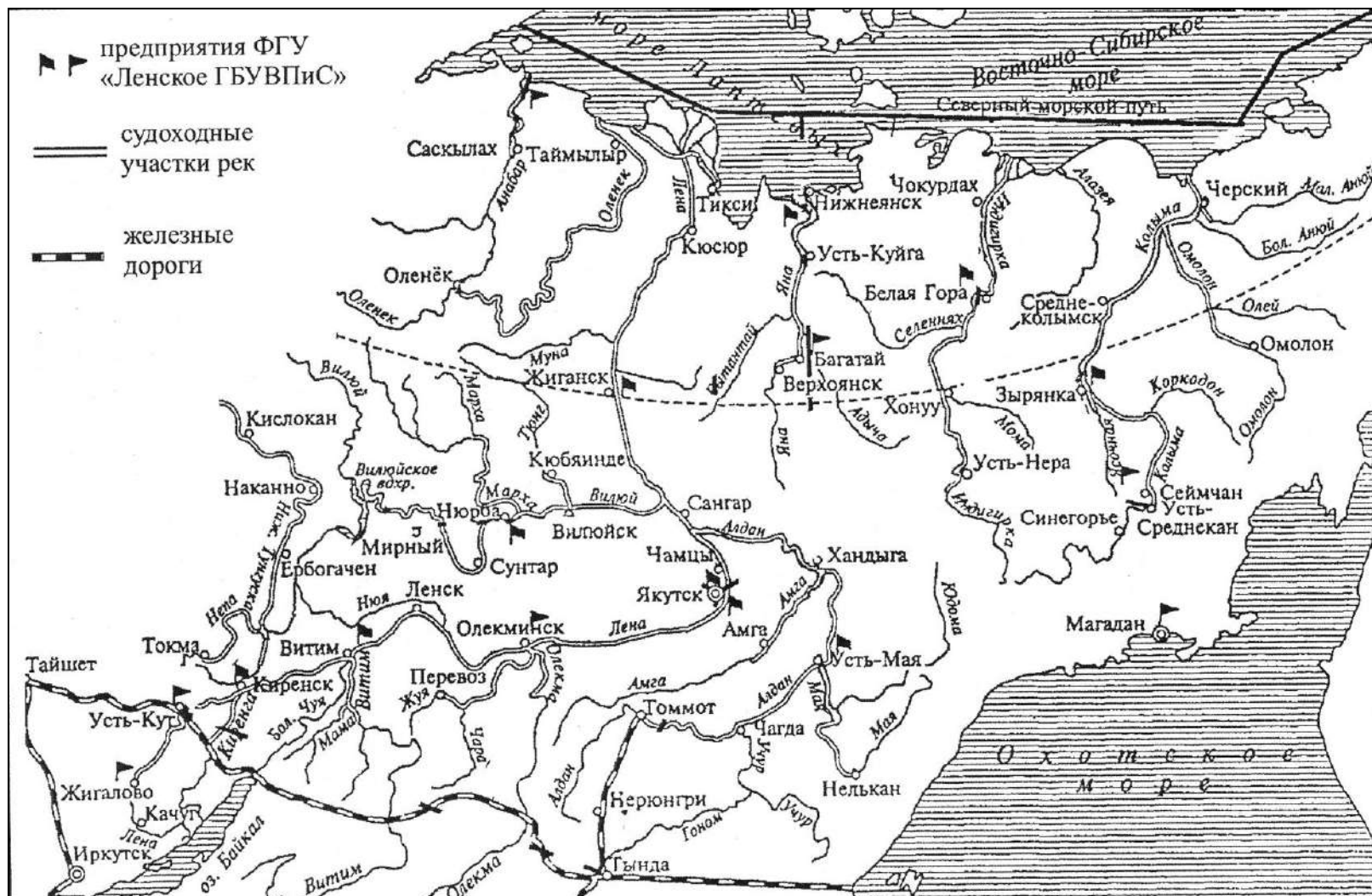


Рис.4.27. Схема водных путей северо-востока России [200]





Рис. 4.28. Ледяной покров р. Лены



Рис. 4.29. Ледокол на р. Лене: специальная форма носа ледокола, обеспечивает практически чистый канал во льду



Рис. 4.30. Автозимник по р. Лене вниз от г. Якутска, 2000-е гг. [468]

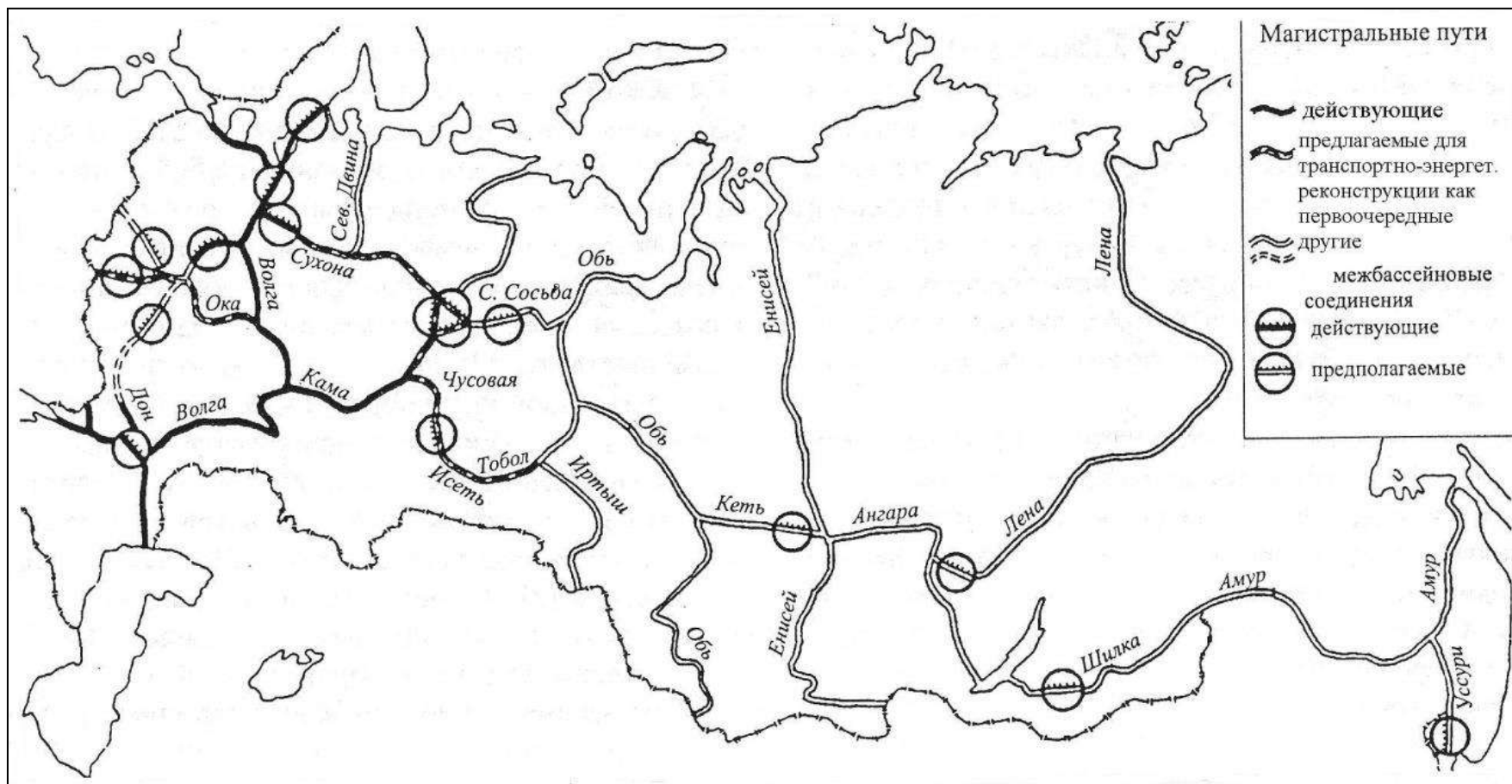


Рис. 4.31. Схема главных глубоководных магистралей России [58]

болот, водохранилищ (рис. 4.30). Например, по замерзшей р. Каме в 1950-х гг. поставлялись на грузовиках строительные материалы из г. Перми за 350 км на строящуюся Воткинскую ГЭС [108]. От г. Усть-Кута до населенных пунктов, расположенных по р. Лене, действует ледовая дорога длиной 335 км, а в отдельные годы автозимник функционирует на протяжении 1 000 км. Ледовая дорога по р. Витиму от станции Таксимо на БАМе до г. Бодайбо имеет протяженность 270 км. По льду оз. Байкал прокладывают автозимники от пос. Усть-Баргузин до пос. Нижнеангарск (280 км) и по другим маршрутам. На Братском водохранилище действуют ледовые дороги Усть-Уда – Аносово (60 км), Усть-Уда – Подволочное (130 км) и др. [680]. По данным МЧС в России зимой 2015/2016 г. действовало более 800 ледовых переправ.

Развитие внутреннего водного транспорта и передача на него грузов с сухопутного транспорта сулит значительные социально-экономические и экологические выгоды [634]. Основой могла бы стать комплексная реконструкция рек с созданием системы глубоководных путей. Еще в плане развития водных путей Российской Империи на 1912 – 1916 гг. была заложена схема, объединяющая реки государства в сеть из трех широтных и пяти меридиональных водных магистралей. Начавшаяся в 1914 г. мировая война, а затем революция 1917 г. остановили развертывание этого плана. В советские годы был построен ряд крупных воднотранспортных соединений, но план в целом не был реализован. Считается, что идея создания единой воднотранспортной сети всей России (рис. 4.31) не потеряла актуальность и, нереализованная в прошлом, сможет быть осуществлено в будущем – в комплексе со строительством каскадов водохранилищ для развития гидроэнергетики, территориального перераспределения водных ресурсов, создания систем защиты от наводнений и др. [58; 396]. Но это из разряда астрологии.

## ГЛАВА 5. ГИДРОМЕЛИОРАЦИЯ

### 5.1. Обводнение и орошение земель

Как известно, граждане России питаются преимущественно сельскохозяйственной продукцией. Добытая археологами берестяная грамота № 842 из г. Новгорода гласит: «Вот мы послали 16 лукошек меда, а масла три горшка. А в среду две свињи и колбасу». Больше всего положительных эмоций доставляет последнее слово в грамоте. Это первое упоминание в русском языке и русской истории о колбасе. Сделано в XII веке.

Табл. 5.1 дает некоторое представление об объемах воды, необходимой для производства сельскохозяйственной продукции.

Таблица 5.1

**Объемы воды, необходимые для производства сельскохозяйственной продукции [349]**

Продукция	Необходимый объем воды, м <sup>3</sup> /т	Продукция	Необходимый объем воды, м <sup>3</sup> /т
Говядина	13 500	Рис	1 400
Свинина	4 600	Пшеница	1 160
Птица	4 100	Молоко	790

Водопользование в сельском хозяйстве включает с одной стороны – орошение, водоснабжение и обводнение земель, а с другой – осушение переувлажненных и заболоченных угодий, сброс дренажных вод после промывки засоленных земель и другие водоотведения [119]. Орошение и осушение входят в понятие **гидромелиорация**.

Орошение и обводнение земель принадлежат к категории водопотребителей и используют воду как вещество, не имеющее заменителя.

**Обводнение** в СССР развивалось в основном для удовлетворения потребностей животноводства: скотоводства, овцеводства, свиноводства, коневодства, верблюдоводства, оленеводства, кролиководства, птицеводства,

рыбоводства, пчеловодства, шелководства и др. [603]. Хотя за истекшие после СССР десятилетия крупного и мелкого скота в России поубавилось (табл. 5.2), на сельскохозяйственное водоснабжение по стране расходуется около 600 млн м<sup>3</sup> воды в год [110].

Таблица 5.2

**Поголовье сельскохозяйственных животных в России**  
(по данным Счетной палаты)

Скот	Количество, млн голов				
	1990 г.	2000 г.	2010 г.	2016 г.	2020 г.
Крупный рогатый	58,2	28,0	21,8	24,8	18,03
Свиньи	38,3	15,8	17,2	22,0	25,9
Козы и овцы	57,0	27,8	20,0	13,7	21,7

**Орошение** в России применяется для выращивания риса, овощей, бахчевых культур, картофеля, кормов для животноводства и др. [736; 745] (рис. 5.1).

Около 80 % сельхозугодий России расположено в зоне рискованного земледелия с недостаточно устойчивым увлажнением, повторяющимися засухами (рис. 5.2), снижающими урожайность и валовые сборы сельскохозяйственной продукции. Гидромелиорация является одним из основных способов повышения урожайности сельскохозяйственных угодий (рис. 5.3). В стране на 2021 г. площадь мелиорированных земель составляла 9,47 млн га, в том числе орошаемых 4,69 млн га и осушенных 4,78 млн га (около 7,9 % из 382,4 млн га сельскохозяйственных угодий) [745]. Задача – довести поливные площади в стране до 6 млн га, т.е. до уровня 1990 г. [115].

Количество воды, потребное для орошения 1 га земли за весь вегетационный период, называется **оросительной нормой**, а количество воды на 1 га за один полив – **поливной нормой**. Оросительная норма для каждой культуры – это сумма поливных норм. Оросительная и поливная нормы учитывают не только полезную затрату воды, которая необходима непосредственно растениям для нормального их развития и роста, но также и потери воды на испарение и фильтрацию при транспортировке ее и непосредственно на полях орошения. Оросительные нормы колеблются в зависимости от культур и географических районов, также от интенсивности осадков и запасов влаги в почве. Самые высокие нормы – для риса. В низовьях р. Кубани это 14 – 28 тыс. м<sup>3</sup>/га. Для зерновых культур в центральных областях России норма составляет от 1,5 до 3,5 тыс. м<sup>3</sup>/га, а в южных областях

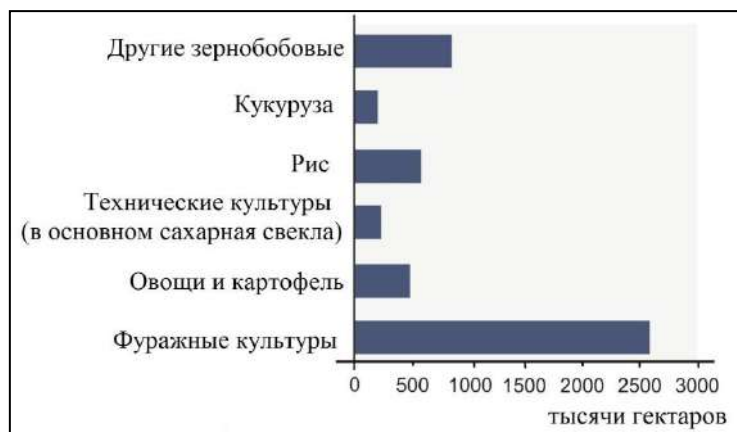


Рис. 5.1. Примерное распределение орошаемых площадей в России [109]



Рис. 5.2 Поле в период засухи

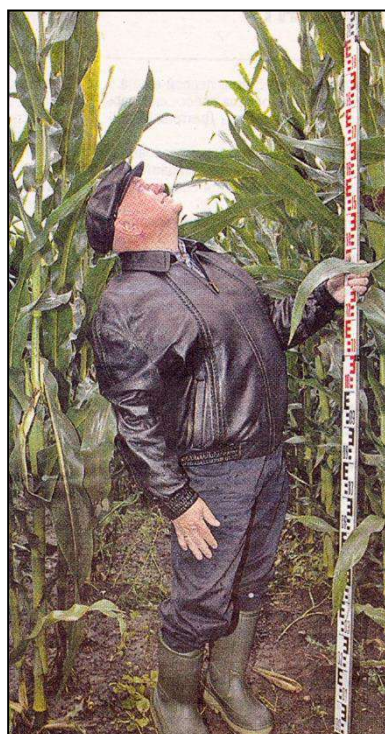


Рис. 5.3. Кукуруза, выращенная по современной технологии

от 2,7 до 3,5 тыс. м<sup>3</sup>/га [534].

Сельское хозяйство России благодаря орошаемому земледелию по объему водопотребления (8369 млн м<sup>3</sup> в 2007 г.) превосходит все отрасли экономики, кроме электроэнергетики [110].

Значительные площади орошаемых земель в ряде речных бассейнов не могут быть обеспечены водными ресурсами рек в естественном состоянии без регулирования их стока. Водохранилища позволяют многократно увеличить площади орошения за счет более полного использования стока, подавать воду на поля в нужном количестве в соответствии с оптимальными сроками поливов, дают возможность увеличить подкомандные площади самотечного орошения, снизить затраты на подкачку воды при машинном орошении [122].

Существенные требования со стороны орошаемого земледелия предъявляются к качеству водных ресурсов. Безвредной для растений считается вода, которая содержит растворенных солей (поваренной и глауберовой соли, соды и др.) от 1,0 до 1,5 г/л. При содержании солей от 1,5 до 5,0 г/л вода считается ограниченно годной для орошения, при большем содержании солей – непригодной, требующей предварительной очистки. Наличие в воде наносов также имеет существенное значение для поливов. При крупности взвешенных твердых частиц до 0,15 мм вода оказывает благоприятное воздействие на орошаемые поля. При большей крупности частиц требуется применять предварительный отстой воды [534].

Если сельхозпроизводство ведется на заливных землях, то к водохранилищам могут предъявляться требования об их затоплении, близком к естественному. Так, требования сельского хозяйства в Волго-Ахтубинской пойме сводятся к обеспечению сбросных расходов воды из Волгоградского водохранилища не менее 25 тыс. м<sup>3</sup>/с весной в течение 2 недель [534] или водоподачи 300 м<sup>3</sup>/с в р. Ахтубу с 15 мая по 1 августа [77; 410].

Основные массивы орошаемых земель сосредоточены в бассейнах рек Волги, Дона и Кубани. Рис. 5.4 отражает динамику орошаемых площадей с 1960 г. до 2020 г. [117].

**Поволжье** по оценкам 1960-х гг. располагало самым большим потенциальным фондом ирригации в стране – 8,2 млн га. Но в 1949 г. поливалось всего 45 тыс. га земель на Нижней Волге. В долгосрочной перспективе предполагалось подвергнуть ирригации 2,6 млн га в Среднем и Нижнем Поволжье и обводнить 6 – 7 млн га прикаспийских земель. При этом наибольшее значение придавалось Волгоградскому водохранилищу (вступившему в

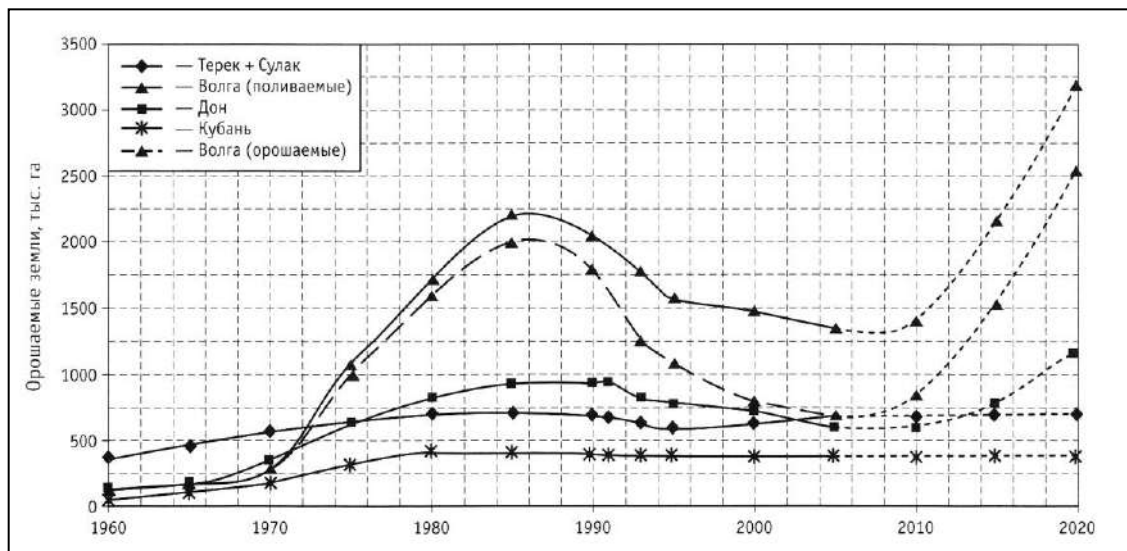


Рис. 5.4. Динамика орошаемых земель в речных бассейнах [117]

строй в 1962 г.), т.к. площадь сельскохозяйственных земель, тяготевших к нему, равнялась 15 млн га. Согласно этим планам к середине 1980-х гг. площадь орошаемых волжской водой земель достигла 2,1 млн га, затем стала уменьшаться и в 2000 г. составляла 1 724 400 га (1,78 % от общей площади сельскохозяйственных земель в бассейне, равной 96 876 400 га).

В 2000 г. суммарный забор воды для нужд сельского хозяйства (включая орошение) в бассейне р. Волги оценивался в 2 км<sup>3</sup>. По сравнению со среднегодовым стоком р. Волги (около 230 км<sup>3</sup>) и его естественными колебаниями эта величина незначительна и не оказывает существенного экологического воздействия на саму реку или на Каспийское море [109; 420].

**В бассейне р. Дона** выделяются две зоны орошения. Первая – Верхний Дон, где на базе дождевальной техники и насосных станций при зарегулировании стока прудами распространено орошение мелких участков (до 200 га) кормовых культур. Таким способом орошается 299 тыс. га земель. Резервы водозабора из незарегулированного стока рек исчерпаны и развитие систем орошения здесь возможно только за счет дополнительного регулирования стока. Вторая зона – Нижний Дон на территории Ростовской области с площадями орошения 337 тыс. га. Основная часть поливных земель сосредоточена в зоне влияния Донского магистрального канала (239 тыс. га), получает воду из Цимлянского водохранилища. Назначением орошаемого земледелия является кормопроизводство, 45,2 тыс. га занято под рисовые севообороты.

Водопотребление на орошение земель в бассейне р. Дона составляет



3,9 млн м<sup>3</sup>/год или 36 % суммарного водопотребления из природных источников и невелико среди других участников донского ВХК [114].

**Низовья р. Кубани** – сложная гидрологическая сеть, состоящая из проток, ериков, лиманов и плавней. Для решения хозяйственной задачи по обеспечению высокой урожайности риса, начиная с 1941 г. значительные площади плавней были осушены и вовлечены в рисовые севообороты, созданы оросительные системы и построены поселки (рис. 5.4). К настоящему времени водохозяйственный комплекс в низовьях р. Кубани включает: четыре крупных водохранилища (Краснодарское, Шапсугское, Крюковское, Варнававинское) и ряд малых; системы обвалования рек для защиты земель от затопления паводковыми водами; Федоровский гидроузел, построенный в 1967 г., и вододелительный Тиховский гидроузел, построенный в 2003 г., служащие для поддержания нужных уровней в р. Кубани при заборе воды на рисовые оросительные системы – Кубанскую (15,3 тыс. га), Петровско-Анастасьевскую (7,5 тыс. га), Марьяно-Чебургольскую (16,45 тыс. га), Федоровскую (18,5 тыс. га), Варнавинскую (10 тыс. га), Черноерковскую (3,5 тыс. га). Урожайность риса с прикубанских чеков составляет 41,2 – 63,0 ц/га.

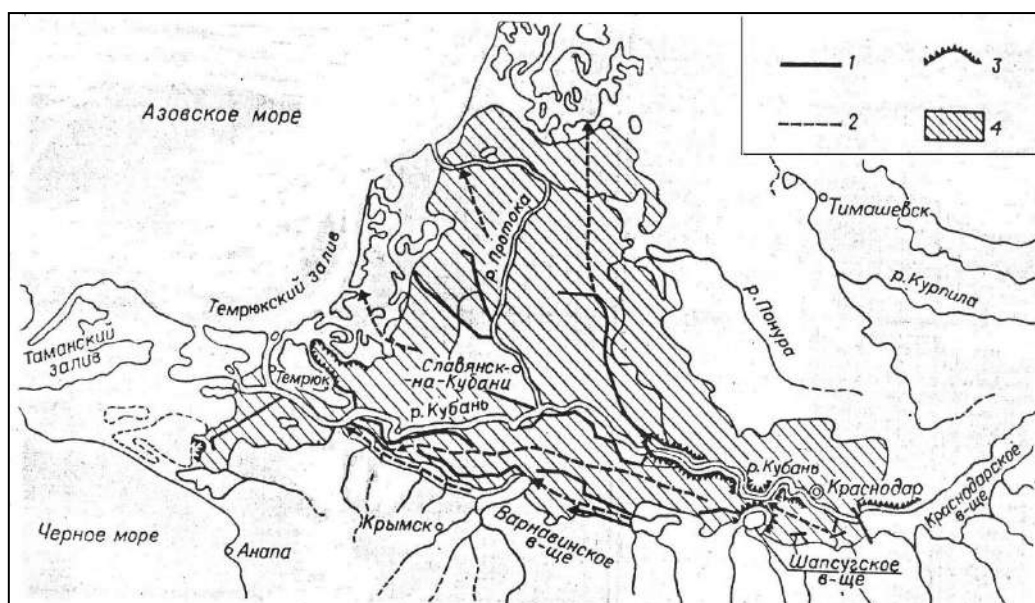


Рис. 5.5. Схема орошения в низовьях р. Кубани:

1 – основные магистральные каналы; 2 – главные коллекторы; 3 – дамбы обвалования; 4 – площади, занятые посевами риса [222]

На прикубанских территориях, имеющих инженерную защиту от затоплений, расположены 87 населенных пунктов с 295 тыс. жителей, при этом социально-экономическое благополучие здесь напрямую зависит от

постоянного водопонижения и надежности защитных сооружений [222].

Рис у нас растет еще на Дальнем Востоке, где орошаемые под него земли сосредоточены в низменности у пресноводного озера Ханка. Здесь динамика орошаемых площадей следующая: 1965 г. – 7,69 тыс. га, 1985 г. – 52,3 тыс. га, 1995 г. – 50,0 тыс. га, 2000 г. – 6,06 тыс. га, 2015 г. – 19,6 тыс. га. Решающий вклад в возрождение рисосеяния с 2005 – 2007 гг. внесли инвесторы из Кореи. Источником водообеспечения служит оз. Ханка, в него же сбрасывают коллекторные воды с рисовых полей. Средний объем озера в 1949 – 2015 гг. был 18,2 км<sup>3</sup>. Водозабор из него не превышал 4 % объема. Безвозвратные потери воды составляли от 7 до 9 тыс. м<sup>3</sup> с гектара в год [41].

## 5.2. Рекомендация ЮНЕСКО

«Единственное средство удержать государство в состоянии независимости от кого-либо – это сельское хозяйство. Обладай вы хоть всеми богатствами мира, если вам нечем питаться – вы зависите от других... Торговля создает богатство, но сельское хозяйство обеспечивает свободу» (Жан Жак Руссо. 1712 – 1778).

В 1980-х гг. камнем на бюджете СССР висели закупки продовольствия: они составляли около 15 % мирового импорта зерна.

В начале 2000-х гг. эксперты ЮНЕСКО провели анализ сельскохозяйственного производства в России [109]. Сравнивалась, в частности, урожайность пшеницы и картофеля в различных странах Европы, включая Россию, в т.ч. бассейн р. Волги (табл. 5.3)

Таблица 5.3

### Урожайность пшеницы и картофеля в России и других странах в начале 2000-х гг. [109]

Страна	Урожайность картофеля, кг/га	Урожайность пшеницы, кг/га
Россия	10 500	1 617
в т.ч. бассейн р. Волги	10 708	1 373
Беларусь	13 189	2 315
Украина	12 163	1 976
Польша	19 376	3 227
Венгрия	18 474	3 604
Франция	39 383	7 116
Германия	46 458	8 398

Низкая урожайность в России объяснялась экспертами малым количеством удобрений (табл. 5.4), отсутствием современной техники, низкой производительностью сельскохозяйственного труда.

Таблица 5.4

**Суммарное использование удобрений в разных странах в 2000 г. [109]**

Страна	Общее применение удобрений в метрических тоннах	Применение удобрений в кг/га пастбищ и пахотных земель
Финляндия	299000	136
Франция	4144800	145
Венгрия	417000	74
Нидерланды	418000	217
Россия	1420000	7

В принципе (указывали эксперты) можно было бы сократить площади обрабатываемых в России земель наполовину за счет двукратного увеличения урожайности с гектара. Такой подход способствовал бы повышению доходов от сельскохозяйственного производства и увеличению территорий, на которых не ведется хозяйственная деятельность [109]. Рекомендация своеобразная.

Далее сработал заряд энтузиазма, таившийся с давней попытки разоренной войной России «догнать и перегнать» передовую Америку. Новые хозяева бывших колхозных полей подняли урожайность пшеницы как раз вдвое (30,4 ц/га в 2018 г.) и ее урожаи перевалили за 100 млн т /год (104,3 млн т в 2015 г., 127 млн т в 2019 г.). Избыток зерна отправляют на экспорт (23 млн т в 2015 г.) [АН, 2019. – №37]. После ввода европейских технологий резко повысилась и урожайность картофеля, на полях совсем не бывает сорняков (но жители окрестных деревень эту картошку не едят). Прилично выглядит Россия с потреблением мясопродуктов 77 кг/чел. в год при средних по миру 43 кг/чел в год. О прорывах по курятине (34,3 кг на душу населения в 2019 г.) и свинине (3,9 млн т в 2019 г.) Минсельхоз упоминает при каждой возможности. Осталось только нарастить производство говядины, чтобы избавиться от импорта из Бразилии, где из-за увлечения поставками ее в Россию и Китай внутренние цены в 2019 г. поднялись на 25 % [АН, 2019.– №43].

Российское сельское хозяйство стало витриной нашей экономики, оно дает 4,5 % ВВП и обеспечивает занятость 9 % населения [АН, 2019. – №38].

# ГЛАВА 6. РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

## 6.1. Рыбы на столе

**Рыбы** – название двух классов водных позвоночных: хрящевых рыб и костных рыб. Всего известно около 25 тыс. видов рыб [603].

Небольшая доза соображения или ума часто наблюдается у животных, даже низко стоящих на лестнице природы [197]: инстинкт ведет рыб на нерест туда, где они сами родились. Среди рыб различают три основные группы:

*рыбы проходные* – заходящие на нерест из морей в реки, проходя по ним до нерестилищ – осетр, стерлядь, семга, кета, горбуша, нерка, севрюга, сельдь, угорь и др.;

*рыбы полупроходные* – заходящие на нерест из предустьевых участков морей и низовий рек вверх по течению – рыбец, чебак, вобла, ряпушка и др.;

*рыбы речные и озерные (туводные)* – окунь, щука, лещ, сазан, судак, сом, налим и др.

Рыбы как источник пищевого белка являются ценным **продуктом питания** человека, а некоторые их виды – деликатесом. Образное представление об этом продукте дает «Книга о вкусной и здоровой пище» [293], выдержки из которой ниже цитируются.

«По изобилию, богатству рыбных товаров наша страна не имеет себе равных.

На первом месте, конечно, красные рыбы – осетр, севрюга, белуга, калуга, шип, стерлядь. Особенно хорош сибирский осетр (рис. 6.1), выловленный в Оби, Енисее, Лене и других реках Сибири: в нем до 30 % жира, тогда как в каспийском и черноморском осетрах жира 15 %. Потребители знают, что в осетровых хороши и мясо, и голова, а особенно икра» (рис. 6.2). Добавим, что после того, как в 1860-е гг. икра волжских осетровых рыб была представлена на Парижской всемирной выставке, она стала для России важным экспортным товаром [108].

«В одном ряду с осетровыми находятся лососевые. Кету, горбушу, нерку, чавычу ловят главным образом у устьев дальневосточных рек, куда они устремляются осенью (а не весной, как другие рыбы) на нерест (рис. 6.3). Ловят их задолго до нереста, когда еще они не потеряли ни в весе, ни в жире. Горбуша амурская и западнокамчатская вкуснее кеты, консервы из горбуши лучше кетовых. Особенно хороша икра горбуши – наилучшая из всех разновидностей красной икры.

Любители рыбной кулинарии ценят серебристую форель – пресноводную рыбу также из семейства лососевых, которая водится в холодноводных озерах, реках и ручьях северо-западных областей. В многочисленном семействе лососевых числятся таймень, сибирский хариус, сизи (пыжьян, муксун, ряпушка, пелядь, чир, тугун), омуль и др. Сизи особенно хороши горячего копчения, а омуль – холодного копчения (рис. 6.4).

В специализированных магазинах потребителям предлагают большой выбор сельдей (рис. 6.5). Лучшие из сельдей – жупановская (ловят вблизи Камчатки), олюторская, керченская, каспийский залом (черноспинка), популярный залом, беломорская, волжская (астраханская), каспийский пузанок и др. Привыкнув к сельди, как к соленому, маринованному и копченому рыбному товару, мы забываем, что жареная свежая сельдь очень вкусна, и что весной, в разгар путины, в рыбных магазинах продают сельдь не только соленую, но и свежую».

В наши дни третьим по популярности у россиян после красных рыб лососевых пород и сельдей СМИ называют океанского минтая.

«Многочисленны среди рыбных товаров представители семейства карповых – сазан, кутум, лещ, карась, линь, шемая, жерех, вобла, рыбец, голавль, чехонь. Высоко ценятся шемая холодного копчения, вяленая чехонь.

Из семейства окуневых заслуженной известностью пользуется судак. Берш, ерш и окунь обычно не имеют промыслового значения, и редко встречаются на прилавках.

Большой популярностью пользуются у нас промысловые рыбы Баренцева моря – треска и пикша. Богатый антирахитическим витамином D рыбий жир добывают из печени трески. Из семейства тресковых широко известна также навага. Лучшая по вкусу мезенская навага вылавливается в северной части Белого моря.

В бассейнах рыбных магазинов чаще всего плавает живой зеркальный карп, а также – карась, сазан, стерлядь, форель. Сома, налима (рис. 6.6), щуку из местных водоемов можно встретить в продаже почти всегда».



Рис. 6.1. «Царь – рыба» енисейский осетр:  
скульптура длиной 4 м из нержавеющей стали водружена в 2004 г. на скале  
над р. Енисеем у д. Овсянки – родины писателя В.П. Астафьева (1924 – 2001)



Рис. 6.2. Черная (осетровая) и красная (кетовая) икра [293]



Рис. 6.3. Нерестовый ход нерки на Камчатке (В.М. Песков)



Рис. 6.4. Соленый бочковой и закопченный ленский омуль Якутского рыбозавода



Рис. 6.5. Селедка. Художник К.С. Петров-Водкин. 1918 г.



Рис. 6.6. Налим: из его шкуры в старину делали мешки, кошельки, вставляли в окна вместо стекол, в наше время используют на мелкую галантерею

Кстати, в среднем течении р. Урала рыболовы-любители вылавливают сомов весом 100 – 120 кг и более. А исторические данные и сохранившиеся скелеты свидетельствуют о том, что в благоприятных условиях сомы вырастали до 3 – 5 м в длину и имели до 300 кг веса [114].

«Молодым хозяйкам (опытные это сами знают) посоветуем щуку фаршировать, судака готовить отварным и жареным, карася – жарить в сметане, уху варить из ершей, окуней и стерляди. Красная рыба (осетрина и др.) хороша для всех рыбных блюд. Вслед за икрой вкуснейшими рыбными изделиями являются балыки – вяленые (провесные) и холодного копчения (куреные). Лучшие балыки – из белорыбицы и нельмы, причем не только из сибирской нельмы, но и из печорской.

Трудно перечислить все рыбные товары, их очень много» [293].

По статистике в России наблюдается увеличение **потребления** населением рыбных продуктов (табл. 6.1). При этом из статистически потребленных 20,1 кг/чел. в 2018 г. половина пришлась не на природных, а на разведенных рыб [АН, 2019. – №35]. Росстат оценивает объем рыбного сырья, идущего на потребление, как бы подразумевая, что потребляются рыбы с хребтом, потрохами и головой. Но мы кости и кишки не едим. Тогда получается 13,5 кг на человека в год [АиФ, 2020. – №37]. Рекомендация Минздрава для россиян – 22 кг/чел. рыбной продукции в год.

Таблица 6.1

### Потребление рыбных продуктов на душу населения в России

Годы	1970	1980	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018
кг/год/чел.	18,3	22,4	20,4	9,7	10,4	13,0	15,6	14,3	20,1

Гурманы обрели возможность есть устриц, производство которых возникло на морских фермах Приморского края (1,3 тыс. т в 2018 г.) и в Крыму, откуда их живыми на самолетах доставляют в Москву [АН, 2019. – №38].

## 6.2. Внутренние рыбопромысловые бассейны

**Рыбное хозяйство** Российской Федерации является комплексным сектором экономики, включает в себя ведение рыболовства на акватории



Мирового океана и освоение рыбных ресурсов внутренних водоемов: рек, озер и водохранилищ, а также сопутствующие виды деятельности – от прогнозирования сырьевой базы до организации торговли рыбной продукцией.

Россия располагает крупным **фондом внутренних рыбохозяйственных водотоков и водоемов**. В федеральной собственности находятся: 523 тыс. км рек с протяженностью участков, используемых рыбным промыслом, около 200 тыс. км; 22,5 млн га озер; 4,3 млн га водохранилищ; более 1 млн га сельскохозяйственных водоемов комплексного назначения. Улов рыб во внутренних водах составляет около 250 тыс. т/год [110].

Самовосстанавливающиеся рыбные запасы во внутренних водах – государственный продовольственный резерв, их охрана и воспроизводство имеют большое народнохозяйственное значение [119].

Ценный рыбохозяйственный водоем – **Каспийское море** с большими запасами осетровых. До 1990-х гг. Советский Союз владел 90 % запасов осетровых в мире (и поставлял на экспорт около 2 тыс. т икры в год), спустя 20 лет России принадлежало только 40 % (рис. 6.7). В 2006 г., в рамках Конвенции по международной торговле вымирающими видами дикой фауны и флоры, был введен мораторий на торговлю черной икрой. Запретили торговать России, Казахстану, Туркмении, Азербайджану, за исключением Ирана с квотой 50 т/год. Промышленная добыча осетровых Россией была прекращена. В 2007 г. мировое сообщество снова разрешило экспорт с долей для России 23,5 т икры в год [290]. Черную икру начали производить на осетровых фермах. По некоторым данным Россия выпускает такой икры 12 т в год, Иран 3, Саудовская Аравия 6, Израиль 4, Китай не менее 35 т/год.

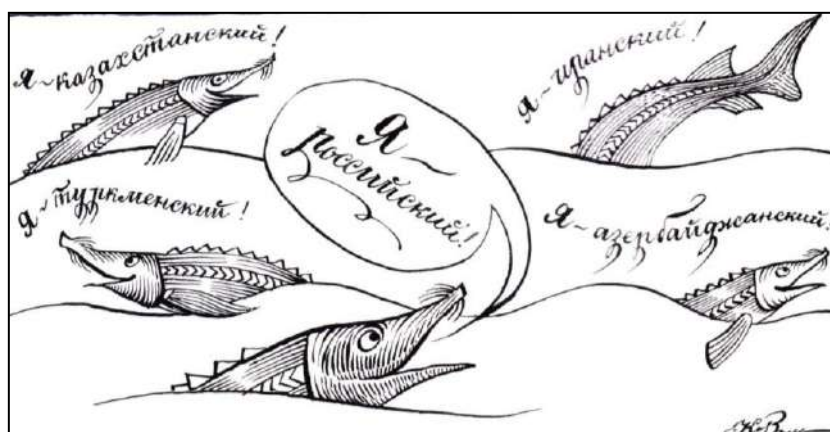


Рис. 6.7. Национализация каспийских осетров [290]

Наибольшее значение для промысла и воспроизводства рыбных запасов в

России имеют низовья рек Волги и Дона, реки Сибири – Обь, Енисей, Лена и др., реки Дальнего Востока и Северо-Запада, речные бассейны Северной Двины и Печоры [110].

**Река Волга** была обильна рыбой: туводной (стерлядь, лещ, сазан, судак, сом и др.), полупроходной (вобла, тарань, сельдь и др.) и проходной (осетр, севрюга, белуга). Осетры поднимались на нерест в Волгу доходя до Твери. Рыбные богатства Волги издавна манили русских людей. С XVI–XVII вв. началось развитие промыслового рыболовства на Средней и Нижней Волге. Река давала несметные уловы стерляди и белорыбицы. Вместе с белугой и осетром, ставшим со временем основной промысловой рыбой, они составляли до 90 % всей добычи. Немало вылавливали лосося. В 1910 г. ниже г. Саратова было поймано 700 белуг, 37 тыс. осетров, 6 тыс. севрюг и 126 тыс. стерлядей, а в верхней Волге – 1,8 млн стерлядей. Воблу на Волге у Каспия выкладывали копнами, как сено [29; 108]. К началу XX в. промыслы оказались в руках крупных рыбопромышленников. Большая часть выловленных рыб сбывалась в разные районы России и за границу. Намети-лась специализация: на ярмарку в г. Ирбит отправлялись икра и балыки; г. Нижний Новгород потреблял преимущественно сильно соленые рыбные то-вары; Санкт-Петербург и Москва требовали в большом количестве свежую как красную, так и частичковую рыбу; западные губернии и Царство Поль-ское предпочитали щуку, окуня и свежего судака; Константинополь – икру частичковых рыб, а Берлин и Вена – зернистую икру. Российская империя была крупной рыбодобывающей державой [621].



Рис. 6.8. Рыбный промысел на нижней Волге. 1930-е гг. [293]

Но времена описанного рыбного изобилия (рис. 6.8) прошли. Уже в конце XIX в. наметилась тенденция к уменьшению стада осетровых в

р. Волге и Каспийском море. Причинами назывались нерегулируемый промышленный лов, браконьерство и массовый прилов молодежи, а также загрязнение реки нефтью, мазутом и керосином, тревожившие современников. Улов сельди в Каспийско-Волжском бассейне упал с 1885 г. к 1911 г. с 307 млн штук до 96 млн [108; 621].

Гидроэнергетическое строительство внесло изменения в условия обитания и размножения волжских рыб. Фонд нерестилищ в результате строительства каскада ГЭС сократился до 400 тыс. га, оставшихся на участке от Волгоградской ГЭС до Каспийского моря. При этом белуга лишилась естественных нерестилищ на 100 %, русский осетр на 80 %, севрюга на 60 %. Надо понимать, что в те годы страна наращивала индустриальную мощь, на переднем плане была электроэнергия, а осетры – на заднем плане, без них (как пищевого продукта) можно было обойтись (также, как большинство населения обходится сейчас), но принимались меры и для сохранения стад осетровых. Для прохода рыб во время нереста в составе Волгоградского и Саратовского гидроузлов были предусмотрены специальные рыбопропускные сооружения. В 1962 г. рыбоподъемник в Волгоградском гидроузле пропустил в верхний бьеф около 1 млн экземпляров различных пород рыб, в т.ч. 27 тыс. осетровых [534], в дальнейшем обеспечивал пропуск не более 10 % рыб в отличие от естественных условий [242]. В целом эффективность работы рыбоподъемников посчитали невысокой, в 1994 г. они были законсервированы.

Начиная с 1960 г. и до настоящего времени в нижний бьеф Волгоградского гидроузла ежегодно подаются специальные весенние попуски воды, назначение которых состоит в том, чтобы в апреле-мае обводнить нерестилища, обеспечив воспроизводство рыб ценных пород, а также чтобы не менее чем на 10 суток затопить сельскохозяйственные земли Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги с целью их влагозарядки. Максимальный расход попуска составляет 25 тыс. м<sup>3</sup>/с [28].

В результате воздействия гидроэнергетического строительства численность осетровых в бассейне Каспия стала снижаться. Согласно официальной статистике, вылов осетра уменьшился с 11 тыс. т/год (1910 – 1930 гг.) до 1,8 тыс. т/год (1996 – 1998 гг.) [109]. По другим сведениям, особенно упали промышленные уловы осетровых в годы перестройки экономики страны: с 24 тыс. т (90 % мировой добычи) в 1984 г. до 4,5 тыс. т в 1994 г. [29].

Наиболее действенными способами решения проблемы сохранения

генофонда и поддержания численности осетровых было определено развитие искусственного воспроизводства рыбного стада с организацией сети рыбопродуктивных заводов и создание индустриального товарного осетроводства. В 1980-е гг. это давало высокие положительные результаты: 13 осетровых заводов (Волгоградский, Александровский, Бертюльский, Житнинский, Сергиевский, Кизанский, Икрянинский – рис. 6.9, Камызякский и др.) ежегодно выпускали к местам нагула в северном Каспии свыше 100 млн штук молоди, обеспечивая уловы белуги на 47 %, осетра на 28 %, севрюги на 15 %. В результате в то время уловы осетровых увеличились даже по сравнению с периодом до зарегулирования стока Волги.

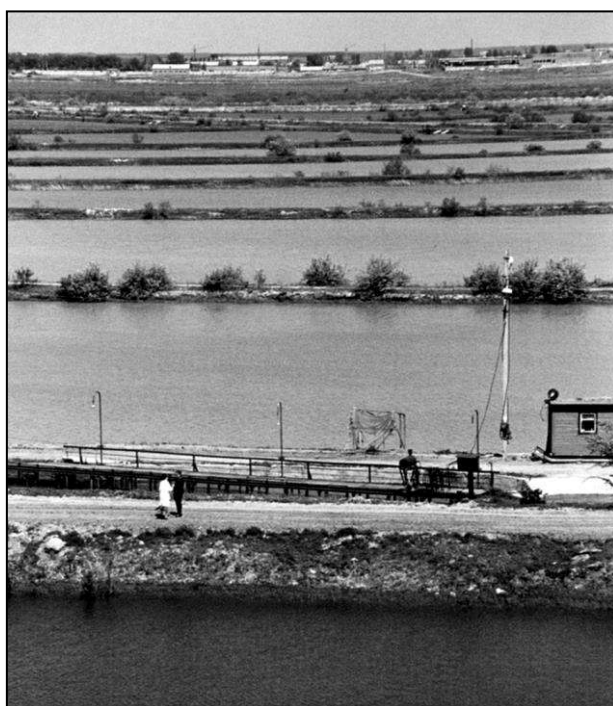


Рис. 6.9. Пруды Икрянинского центра товарного осетроводства в Астраханской области. 1990 -е гг. [420]

Нерестовые хозяйства дельты Волги обеспечивали также до 20 % уловов сазана и леща. Благодаря рыбоводным заводам удалось возобновить промысел белорыбицы, лишенной естественных нерестилищ, восстановился промысел лосося. В последующие годы этот высокопродуктивный бассейн, который благотворно откликается на повышения водности, рыбоводные, мелиоративные и другие мероприятия, оказался под воздействием неблагоприятных факторов, что сказалось на промысле [123]. Однако в 2019 г. Волжско-Каспийский бассейн обеспечил улов 73,5 тыс. т рыб. Возобновился лов легендарной каспийской кильки [АН, 2020. – №3]

Колыбелью осетровых является **река Урал**, располагающая нерестилищами из отложений гравия площадью около 1 700 га. Из проходных рыб, кроме осетровых, наиболее интересна белорыбица, которая нигде в мире, кроме Каспия и его притоков не встречается. После строительства Волжско-Камского каскада ГЭС она лишилась своих нерестилищ, располагавшихся в р. Уфе. Небольшое стадо каспийских белорыбиц поддерживается за счет нерестилищ в р. Урал, одно из которых находится в 200 км выше г. Оренбурга [114].

**В Азово-Донском промысловом бассейне** наибольшее рыбохозяйственное значение имеет речная система ниже Цимлянского гидроузла до Таганрогского залива протяженностью 240 км с общей площадью поймы Дона 306 тыс. га. До зарегулирования стока Цимлянским водохранилищем площадь заливаемых весной нерестилищ достигала в среднем 95 тыс. га при продолжительности затопления 49 суток. После вода в эксплуатацию Цимлянского гидроузла площадь естественных пойменных нерестилищ сократилась до 58 тыс. га, а вероятность их затопления уменьшилась до 30 – 35 %. Для прохода к нерестилищам и эффективного размножения ценных рыб необходимы рыбохозяйственные попуски из Цимлянского водохранилища объемами 0,3 – 0,6 км<sup>3</sup> в марте, 3,2 – 3,6 км<sup>3</sup> в апреле, 4,4 – 6,1 км<sup>3</sup> в мае, организация которых вступает в противоречие с интересами сельского хозяйства, судоходства и других участников ВХК [112].

Нижний Дон на протяжении от Цимлянского гидроузла до устья загрязнен нефтепродуктами, соединениями меди, фенолами, органическими веществами. Уровень загрязнения увеличивается к устью. Загрязненность воды оказывает отрицательное воздействие на рыбопродуктивность основной реки и притоков [114].

Предпринимались попытки увеличения донского рыбного стада в порядке международного обмена рыбами-переселенцами. Таков, например, полосатый окунь – морская рыба, живущая до 20 лет, достигающая 2-метровой длины и массы 50 кг. Родина окуня – атлантическое и тихоокеанское побережье Северной Америки, но он может жить и в пресной воде. В 1968 г. 1 тысячу мальков полосатого окуня выпустили в Таганрогский залив Азовского моря. Убедившись, что рыбы прижились, американского переселенца перевезли в р. Дон. Еще одна североамериканская рыба – буффало (рыба-буйвол): быстрорастущая, за несколько лет нагуливает свыше 40 кг. На реках Дону и Кубани создавались ее маточные стада, самки буффало

созревали к 3 – 4 годам. О том, ловятся ли сейчас эти переселенцы в наших водах, информации нет.

К 2000 г. в пойме Нижнего Дона действовали 3 рыбоводных завода, 4 нерестово-выростных хозяйства, 19 товарных прудовых хозяйств общей площадью 26,9 тыс. га. Их водопотребление составляет 340 млн м<sup>3</sup>/год, в т.ч. безвозвратное – 163 млн м<sup>3</sup>/год [114].

В прежние годы одним из самых рыбопродуктивных в России был **Азово-Кубанский рыбопромысловый район**. Нарушение условий естественного воспроизводства (изменение режима половодий, перекрытие плотинами миграционных путей, изъятие значительной части стока, загрязнение промышленными и бытовыми сточными водами) сократило его рыбопромысловую эффективность. Возникла необходимость искусственного воспроизводства рыбных запасов путем строительства рыбозаводов, рыбопитомников, восстановления и создания новых нерестилищ, а также прудово-озерного товарного рыбопроизводства [114].

**Обь-Иртышский бассейн** является обиталищем таких ценных пород рыб, как осетр сибирский, стерлядь, муксун, пелядь, пыжьян, сырок, щекур, а также карп, язь, щука, судак, карась и др. Всего в водах бассейна обитают 69 видов и подвидов рыб, из которых 33 служат объектами промысла.

Характерной особенностью Нижней Оби является развитая система соров – мелководных пойменных водоемов, служащих основными местами нагула сиговых рыб. Сюда поднимаются из Обской губы, но не заходят выше устья Иртыша ряпушка, корюшка и пыжьян. На левых притоках Нижней Оби нерестятся сырок и нельма. В Северной Сосьве обитает тугун (сосьвинская сельдь).

На Средней Оби наибольшее количество рыб вылавливается в самой реке, ее притоках и пойменных водоемах.

Основными промысловыми водоемами верхней части бассейна, расположенной в степной и лесостепной зонах, являются озера Чаны, Сартлан, Убинское, Кулундинское, Салтаим, Ик и др., а также Новосибирское водохранилище. В областях Свердловской, Кемеровской и Челябинской развиты прудовые рыбоводные хозяйства.

Однако, вылов рыб в Обь-Иртышском бассейне снижается: если за период 1962 – 1976 гг. он составлял 56,4 тыс. т/год, то, например, в 2007 г. – 14 тыс. т. Особенно упал вылов ценных пород рыб: в 1948 – 1972 гг. вылавливалось 2 218 т осетра в год, в 1996 г. – только 5,9 т. Добыча рыб снижается не только в р. Оби, но и в озерных водоемах. Снижение эффективности

рыболовства связывают с сооружением Новосибирского гидроузла, преградившего путь осетру и нельме к местам нереста в устье р. Катуня, загрязнением речных вод продуктами промышленной деятельности, недостатком средств для развития рыбоводных предприятий и др. [110; 114].

**Енисейский бассейн** при многоводности основной реки и притоков в основном рыбохозяйственном районе (Красноярский край, Хакасия, Тыва) имеет промысловый запас рыб 55 тыс. т [РФ, 2019. – №7]. Промышленные рыбные уловы составляли в 2000 г. 1,7 тыс. т, в 2007 г. – 1,35 тыс. т [110]. Сегодня в районе действуют около 300 зарегистрированных рыболовецких организаций. Квота выдается на 12 тыс. т, официально вылавливается около 5 тыс. т рыб в год.

Запрещена добыча осетра, стерляди, гольца, ленка, тайменя, нельмы, под запретом также арктический омуль в р. Енисее выше устья р. Курейки. Но оставлена возможность любителям побаловать себя малосольным муксуном. Для самых распространенных у коренных северян способов приготовления и употребления рыб – сагудая и строганины – пригодны только два вида – чир и сиг. Их разрешено вылавливать соответственно 10 и 20 кг на человека. До 1 т на человека разрешены к ловле язь, карась, елец, плотва, окунь, которые известны коренным народам только по картинкам, так как либо не употребляются ими, либо не водятся в водоемах Таймыра и Эвенкии.

В бассейне работают 2 государственных рыбоводных завода – Абаканский и Норильский. В р. Енисей выпускается ежегодно 1200000 штук мальков осетра и стерляди (рис. 6.10), но это только 5 % от необходимого количества [РФ, 2019. – №7].

**Бассейн р. Лены** большей частью расположен в пределах Якутской Республики. Объектами лова в северной, полярной части Якутии служат главным образом лососевые: нельма, муксун, омуль, ряпушка, таймень (рис. 6.11), сиг, чир, пелядь и лишь отчасти осетровые. Для центральной части Якутии наибольшее значение приобрели рыбы карповые (гольян, карась), а также щука, окунь и налим. Из лососевых рыб здесь имеют некоторое значение нельма и пелядь. Традиционными рыбными продуктами являются: рыба соленая, пупки (брюшки рыб в соленом виде), юкола и хах (соответственно провяленная и прокопченая рыба с удаленной головой и позвоночником), строганина (свежемороженая), балыки, рыбий жир, икра. Состояние отрасли в ленском бассейне примерно то же, что в енисейском [110; 733].

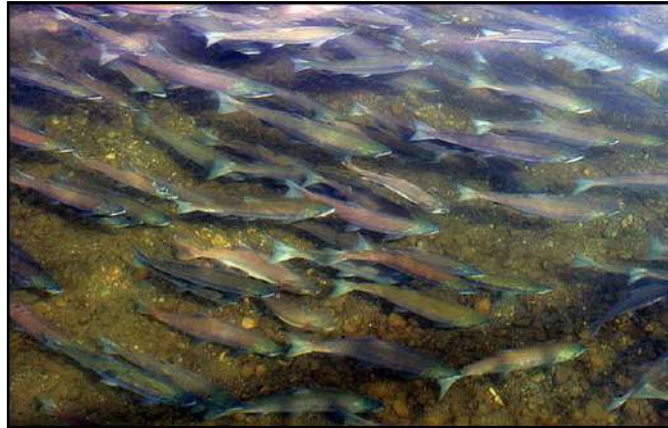


Рис. 6.10. Зарыбление р. Енисея мальками осетра, лосося и сига



Рис. 6.11. Таймень



Рис. 6.12. Рыболовство в реке Жупанова на Камчатке (В.М. Песков)





Рис. 6.13. Обсыхающая икра на мелководье Горьковского водохранилища при уровне воды, пониженном в период нереста (В.В. Логинов)

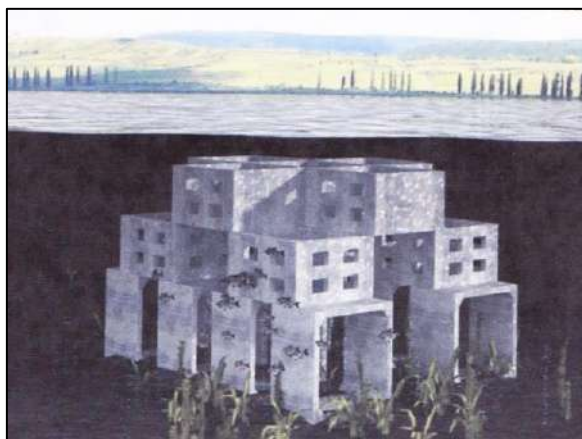


Рис. 6.14. Искусственное нерестилище – рыбообитаемый город. Разработка ОАО «Институт Гидропроект»



Рис. 6.15. Рыбы, погибшие зимой 1976 г. в Воронежском водохранилище (В.М. Песков)

Ситуация с уменьшением уловов рыб наблюдается **на реках северо-запада России** независимо от того, построены на них гидроузлы или нет.

Так, в р. Неве, не имеющей плотин, из-за загрязнения нерестилищ и плохого качества воды пострадали запасы невского стада балтийского лосося. Его уловы с 20 – 27 т/год в довоенные годы сократились до 1 т/год к 2000-м гг. и в настоящее время добыча лосося разрешена лишь для рыбо-водных целей. Кроме того, в реке практически перестали ловиться заходившие ранее из Финского залива сиг и ряпушка, уловы которых в прежнее время достигали 100 т/год [114].

Ситуацию пытаются подправить с помощью рыбо-водных заводов, например в Карелии действуют Кемский, Выгский заводы, Карельская рыбо-водная станция (г. Петрозаводск) и др.

Зато **на востоке России** (на Сахалине, Камчатке, в Магаданской области и др.) каждой осенью добывают рекордные количества тихоокеанских лососей (кеты, горбуши и др.) идущих в реки на нерест (рис. 6.12), причем в четные годы уловы больше, чем в нечетные. Так, в путину 2018 г. рыбаки взяли их 676 тыс. т, по данным на 2019 г. вылов составил около 500 тыс. т, в 2021 г. – 538 тыс.т. Весь дальневосточный улов в 2019 г. достиг 3,42 млн т, из них больше 1,8 млн т наловили минтая. [www.fishnews.ru].

**В целом по стране** добыча водных ресурсов добралась в 2019 г. до 4,92 млн т. 1,665 млн т было поставлено за границу. На 2020 г. пришелся большой скачок по кильке, скумбрии и креветкам [АН, 2020. – №3]. План 2022 г. – 5,2 млн т, из них 449 тыс. т продукция аквакультуры [АН, 2021. – №50].

### **6.3. Рыбохозяйственное использование водохранилищ**

Известно, что рыбы комфортно чувствуют себя только в воде. Поэтому логично утверждать: чем больше в чаше водохранилища чистой воды, тем больше будет в нем рыб. Уловы рыб в водохранилищах возрастают в несколько раз по сравнению с уловами на этих же участках рек до зарегулирования (табл. 6.2) [122; 534].

Промысловая рыбопродуктивность водоемов зависит от географической широты. Если водохранилище расположено севернее 58° с.ш., его рыбопродуктивность ориентировочно составляет 5 – 20 кг/га, у водохранилищ, лежащих между 58° и 52° с.ш., она обычно равна 20 – 50 кг/га, а южнее 52°с.ш. 50 – 80 кг/га [266].

Таблица 6.2

**Уловы рыб в реках Волге, Каме и Дону до и после  
создания водохранилищ [7; 534]**

Водохранилища	Годы заполнения водохрани- лищ	Ежегодный вылов рыб, т				
		в реке до заполне- ния водо- хранилищ	в водохранилищах			
			1960 г.	1962 г.	1965 г.	1968 г.
Иваньковское	1937	30	–	380	–	–
Угличское	1940	–	–	160	–	–
Рыбинское	1941 – 1947	500	4 200	3 320	3 850	2 840
Горьковское	1955 – 1957	260	–	750	–	–
Камское	1954 – 1956	70	–	540	–	–
Куйбышевское	1955 – 1957	1 500	3 730	4 070	4 840	3 890
Волгоградское	1958 – 1960	2 000	940	2 000	2 160	2 770
Цимлянское	1952	2 000	10 330	11 040	10 290	12 130

По рыбохозяйственному значению выделяют водохранилища высокопродуктивные (на реках Дону, Волге), среднепродуктивные, рыбная продукция которых еще может быть повышена (на реках Каме, Оби, Енисее, Ангаре), и малопродуктивные (в Карелии, на Кольском полуострове). Наиболее встречаемая рыбопродуктивность водохранилищ 15...30 кг с 1 га водной поверхности. Уловы рыб в высокопродуктивных водохранилищах сопоставимы и даже превышают уловы в больших естественных озерах. Например, за 1995 – 2005 гг. они были, тыс.т/год: в озерах Ладожском 3,1 – 2,9, Онежском 1,0 – 2,1, Ильмень 1,6 – 1,38; в водохранилищах Куйбышевском 3,2 – 2,11, Волгоградском 1,0 – 1,72, Цимлянском 7,4 – 6,9 [110].

Создание водохранилищ различного назначения в XX в. привело к существенному увеличению рыбных запасов страны. Благодаря водохранилищам рыбохозяйственный фонд внутренних водоемов вырос на 30 %. В 1986 – 1990 гг. среднегодовой статистически учтенный вылов рыб из водохранилищ России составил 68,7 тыс. т, или 1/3 ежегодного улова из пресноводных водоемов [112].

**Требования рыбохозяйственного использования водохранилищ** режимные и сводятся они к обеспечению необходимой динамики повышения и сработки уровней воды.

Для обеспечения нормальных условий воспроизводства рыбных запасов требуется не допускать снижения уровня водохранилища в течение периода размножения весенне-нерестующих рыб. Этот период для северных и центральных районов страны обычно падает на май–июнь. Икра откладыва-

ется в прибрежных зонах водохранилища, преимущественно в заливах и устьях притоков, на залитую водой растительность. Успех нереста в значительной степени зависит от уровня наполнения водохранилища (рис.6.13). Если уровень воды на момент нереста не достигает береговой зоны с остатками прошлогодней растительности, то значительная часть отложенной икры погибает. Эффективность нереста снижается и в том случае, когда сразу после него уровень воды продолжает подниматься быстрыми темпами, тогда икра оказывается в неблагоприятных для развития гидрологических условиях [411].

На период размножения осенне-нерестующих рыб требуется также не допускать глубокой сработки уровня водохранилища, так как эти рыбы откладывают икру в грунт при определенной глубине воды (от 1,5 до 3 м) и большая сработка уровня вызывает гибель отложенной икры.

Для создания нормальных условий зимовки рыб и развития икры сработка уровня в водохранилищах в осенне-зимний период должна быть плавной, без резких колебаний, не превышающих 5 см в сутки. Особенно недопустимо форсировать сработку водохранилищ в марте–апреле, когда рыба может не успеть уйти из зимовальных ям и останется в изолированных водоемах, придавленная ледяным покровом. Негативный опыт имеется. Так, в 1954 г. в результате недопустимо глубокой сработки только что заполненного Цимлянского водохранилища подо льдом погибло 2,5 тыс. т сазана [534]. В 1996 – 1998 гг. зарегистрированы резкие сработки на 1,5 – 2 м Кумского водохранилища (оз. Пяозеро и оз. Топозеро) на р. Ковде в Карелии в периоды нереста и инкубации икры осенне-нерестующих рыб. Вследствие падений уровня произошло промерзание значительной части нерестилищ палии (до 30 % площади нерестилищ), сига (до 50 %), ряпушки (до 40 %), налима (до 15 %). Неблагоприятные последствия данного обстоятельства длительное время отражались на поколениях рыб этих лет рождения [411].

Важным фактором сохранения видового разнообразия рыб и численности их популяций в водохранилищах являются кормовая обеспеченность и рацион питания, которые также зависят от гидрологического режима.

Некоторого увеличения рыбопродуктивности водохранилищ можно добиться искусственными мероприятиями. Рекомендуется, например, доводить протяженность побережья с зарослями макрофитов до 10 – 15 % длины береговой линии [112]. Еще Н. Я. Данилевский (1822–1885), русский мыслитель, по роду своей основной деятельности в труде «Исследования о состоянии рыболовства в России» (1862 г.) отмечал: «Неглубокие места

вообще, а тем более те, которые поросли подводными и надводными травами, весьма скоро прогреваются солнцем, что, как известно, весьма благоприятствует развитию молодого подростка рыб» [196]. На водохранилищах, где происходит значительное колебание уровня воды в период нереста, могут принести пользу искусственные нерестилища (рис. 6.14).

На рыбах отражается техногенное загрязнение водохранилищ, вплоть до их гибели.

В Воронежское водохранилище зимой 1976 г. что-то попало с липецких и воронежских заводов. Когда лед растаял, вся поверхность воды была покрыта погибшими рыбами (рис. 6.15). Никто не представлял такого обилия рыб в водоеме. До причины докопаться не удалось, но это не был естественный замор, т.к. такого больше не повторялось.

В Куйбышевском водохранилище исследованиями 1987 – 1995 гг. было выявлено увеличенное содержание тяжелых металлов в органах рыб, возраставшее от мышц и внутриполостного жира к печени и головному мозгу. Наибольшие концентрации тяжелых металлов отмечались у хищных рыб и стерляди. Были превышения ПДК по свинцу (у леща – 9,1, стерляди – 6,1, берша – 8,4, судака – 19,0 ПДК), никелю и кадмию [112]. В леще и налиме, обитателях Шекснинского плеса Рыбинского водохранилища вблизи г. Череповца, в 1991–1996 гг. специалистами Института биологии внутренних вод РАН обнаруживалось присутствие стойких органических загрязняющих веществ (полихлорированных бифенилов) – побочных продуктов промышленных химико-технологических процессов. Их содержание в мышцах и печени рыб (до 1560 и 15800 мкг/кг) в 2 раза превышало допустимый уровень безопасного потребления человеком.

В средствах массовой информации 1980-х гг. проскальзывали намеки относительно якобы повышенной инвазированности рыб в водохранилищах гельминтами. Однако авторы научных публикаций, регистрируя факты инвазированности рыб и рассматривая факторы, стимулирующие или угнетающие процесс инвазирования, не рисковали утверждать о наличии такой зависимости и были склонны считать причиной гельминтозов упущения в экологической и рыбохозяйственной политике [380].

Профессор биологии В. С. Постоев из г. Санкт-Петербурга в своих трудах много лет муссировал вопрос о массовой гибели рыб «в турбинах ГЭС». Например, писал, что «в летний период в турбинах Волжской ГЭС (последней в каскаде) гибнут десятки миллиардов экземпляров молодой рыб». Некоторые его понимали, хоть и не верили.

Прикинем как это может быть. Можно взять по В. С. Постоеву, что погибают «в турбинах» за лето 50 млрд штук молоди. Но не вся же молодь засасывается на свою гибель в водоприемники ГЭС, а только та, что плавает близко от них. Реально допустить, что это 1 % от всей молоди рыб в большом Волгоградском водохранилище. Тогда всей молоди в водохранилище насчитывается 5 000 млрд штук, что при полном объеме водохранилища 31,5 км<sup>3</sup> составляет более 158 шт/м<sup>3</sup>. Если бы вся эта молодь выросла (без учета погибшей «в турбинах», т.е. 4 950 млрд штук), то в каждом м<sup>3</sup> воды Волгоградского водохранилища плавало бы 157 взрослых рыб. Но выживает, конечно, не вся молодь, а, по некоторым оценкам [109], чуть больше 1 % от ее количества. Тогда в 1 м<sup>3</sup> воды будет плавать примерно 2 рыбы. Пусть взрослая рыба весит в среднем 0,5 кг. В этом случае рыбопродуктивность водохранилища при его площади 3 120 км<sup>2</sup> (312 000 га) достигает фантастической величины – 79326 кг/га. Если всех этих рыб разом поймать, то на каждого жителя России придется по 339 штук (по 169,5 кг). Из одного только Волгоградского водохранилища за один год.

Просматривая научные отчеты В.С. Постоева, в числе других приславшиеся в дирекцию ФЦП «Возрождение Волги» [420] в 1990 -х гг., приходилось констатировать, что профессора-биолога в критике гидростроительства порядочно занесло. Оставил ли он надуманные утверждения о массовой гибели молоди рыб «в проточных каналах гидромашин» в итоговой монографии [493] неизвестно, т.к. мы ее не читали.

Ниже характеризуется рыбохозяйственная ситуация в некоторых водохранилищах.

**Волжско-Камский каскад.** До строительства каскада в р. Волге насчитывали 74 вида рыб, сейчас их 88 видов. 23 вида рыб, обитающих в Каспийском море (осетровые, сельдевые, карповые), заходят в Волгу на нерест, другие виды населяют водохранилища. Популяции некоторых видов рыб, например, хариуса, волжского карпа, сома сократились, но ни один вид не исчез полностью. Другие виды стали многочисленнее и расширили зоны своего обитания. Например, популяции сига и корюшки из Белого озера мигрировали во все водохранилища волжской системы.

К 2000-м гг. в большинстве водохранилищ каскада рыбные запасы стабилизировались на уровне, соответствующем характеру экологических условий водоемов. Ведущее место в рыбных запасах занимает лещ (37 %), далее следуют плотва, синец, густера, судак. Наибольшее на Волге локальное стадо стерляди сохранилось в Волго-Камском плесе Куйбышевского

водохранилища. Наиболее обширен видовой состав рыб (50 видов) в Волгоградском водохранилище (табл. 6.3) [112; 420]. Попадаются весьма крупные экземпляры (рис. 6.16). Интересный факт: местоположение наибольшего сечения фиксировано у всех видов рыб, будучи расположенным на 36 % длины тела, считая от кончика морды [143].

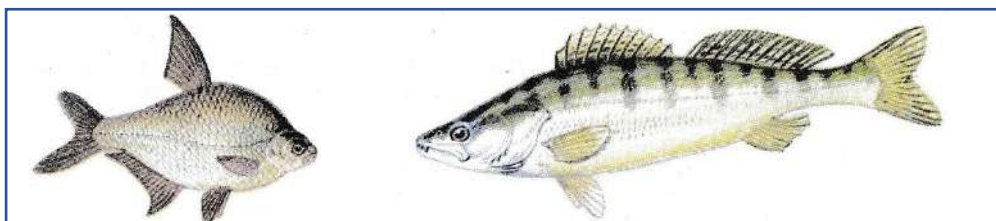


Рис. 6.16. Рекорды рыболовов-любителей на р. Волге:  
лещ 6,3 кг, 63 см, 2006 г.; судак 14 кг, 97 см, 2008 г.

В табл. 6.4 приведены официальные данные об уловах рыб в волжских водохранилищах в 1960 – 2005 гг. Сокращение уловов с 1990-х гг. не связано с падением естественного рыбовоспроизводства [110; 420]. По оценке института «Гидропроект» в водохранилищах Волжско-Камского каскада сегодня вылавливают около 30 тыс. т рыб в год – в 10 раз больше, чем до сооружения каскада. В перспективе улов может составить 50 тыс. т [29]. Например, по Горьковскому и Чебоксарскому водохранилищам допустимые уловы на 2011 г. были равны соответственно 1300,4 т и 1187,4 т, но не были реализованы [606].

Органы местных властей констатируют значительный размах браконьерского рыболовства. Так, Министерство экологии и природных ресурсов Нижегородской области сообщало, что на Горьковском водохранилище в границах области практически неконтролируемый любительский вылов рыб больше, чем объем промысловых уловов (соответственно 177,6 т и 72,4 т в 2009 г.). А также, что в области нет ни одного водоема, в котором бы не стояли браконьерские сети, в результате чего в некоторых озерах и прудах рыба полностью истреблена, а в реках ее количество значительно сократилось. В 85 – 90 % случаев браконьеры используют недоброкачественные сети азиатского производства – сетовало министерство, а успех браконьеров объяснял малой численность сотрудников рыбоохраны [606].

Особое место в воспроизводстве рыбных ресурсов водохранилищ занимает их зарыбление. Но, например, после выпуска в волжские водохранилища в 2001 г. 27,4 млн молоди промысловых рыб: осетровых, частиковых, растительоядных [420], отмечалась низкая выживаемость мальков (около

1 %) из-за их высокой уязвимости [109]. Недостаточный объем рыбоводно-мелиоративных мероприятий и работ по воспроизводству является фактором, сдерживающим развитие рыбного хозяйства в волжских водохранилищах [123].

Таблица 6.3

**Видовой состав рыб в водохранилищах Волжско-Камского каскада [420]**

Водохранилище	Количество видов	Основные промысловые
Иваньковское	33	Лещ, плотва, щука, судак, окунь, сом, линь
Угличское	29	Лещ, плотва, щука, густера, уклея, налим, окунь, ерш
Рыбинское	29	Лещ, судак, щука, синец, чехонь, налим, ряпушка, сом, елец, язь, плотва, густера, окунь
Горьковское	33	Лещ, судак, плотва, щука, чехонь, жерех, густера, налим, язь, окунь
Чебоксарское	22	Лещ, судак, плотва, щука, чехонь, жерех, окунь, густера, ерш, язь
Куйбышевское	40	Лещ, судак, плотва, густера, уклея, щука, чехонь, окунь, ерш, сом, белоглазка, стерлядь, берш, синец
Саратовское	45	Плотва, густера, лещ, судак, синец, стерлядь, щука, окунь, уклея, чехонь, язь, жерех, сом, налим
Волгоградское	50	Лещ, щука, судак, берш, плотва, сом, густера, синец, белоглазка, чехонь, окунь, язь, жерех, толстолобик, амур, красноперка
Камское	32	Лещ, плотва, окунь, судак, густера, щука, язь
Воткинское	36	Лещ, плотва, окунь, судак, густера, щука, язь, карась, линь, чехонь, ерш, тюлька, пелядь
Нижекамское	38	Лещ, судак, щука, густера, язь, карась, линь, чехонь, ерш, тюлька, пелядь, жерех, сазан

Таблица 6.4

**Промышленный вылов рыб в водохранилищах Волжского каскада [110; 420]**

Водохранилище	Годовые уловы, т					
	1960 г.	1970 г.	1980 г.	1990 г.	2000 г.	2005 г.
Иваньковское	464	310	259,8	261,8	190	229
Угличское	112	230	390,5	218,4	140	43
Рыбинское	4 200	2 493	2 243,4	2 272,9	1 448	1 041
Горьковское	–	539	381,3	598,6	391	254
Чебоксарское	–	–	–	519,2	371,8	323
Куйбышевское	3 727	3 998	4 122,1	5 434,0	2 854	2 114
Саратовское	–	114	867,3	1 886,0	535	712
Волгоградское	–	3 140	2 685,8	4 156,0	972	1 830
<b>Всего</b>	<b>8 503</b>	<b>10 824</b>	<b>10 950,2</b>	<b>15 346,9</b>	<b>6 901,8</b>	<b>6 546</b>



К числу высокопродуктивных рыбохозяйственных водоемов относится **Цимлянское водохранилище на р. Дону**, заполненное в 1952 г. Ихтиофауна водохранилища насчитывает 46 видов рыб, из которых основными в промысле являются лещ, судак, синец, чехонь, сазан, плотва. Проектная величина вылова была установлена равной 11,0 тыс. т/год с достижением ее к 1962 г. Фактические ежегодные уловы промысловых рыб в водохранилище доходили почти до 16 тыс. т (15943, 6 т в 1989 г.) [110; 112]. Высокой рыбопродуктивности водохранилища способствует наличие обширных мелководий с глубиной до 2 м (при НПУ = 36,0 м БС – 314 км<sup>2</sup> или 11,6 % площади зеркала), используемых в качестве продуктивных нерестилищ. Рыбное хозяйство ведется по трем направлениям: промышленное воспроизводство ценных промысловых рыб – подращивание в прудовых хозяйствах и последующий выпуск в водохранилище; выращивание товарной рыбы в прудовых хозяйствах, расположенных в заливах водохранилища; выращивание карпа и растительноядных рыб в водохранилище [112].

**Ковдинский каскад**, образованный Кумской, Иовской и Княжегубской гидроэлектростанциями, включает водохранилища общей площадью зеркала при НПУ более 2,8 тыс. км<sup>2</sup>, расположенные в Карелии и Мурманской области. Верхнее Кумское водохранилище, объединившее подпертые озера Пяозеро и Топозеро, ведет многолетнее регулирование стока со сработкой уровня 2,5 м, Иовское и Княжегубское водохранилища со сработками уровней до 1,5 – 1,3 м ведут сезонное регулирование.

В водохранилищах из рыб обитают: кумжа, паляя, ряпушка, сиг, налим, хариус, снеток, щука, плотва, лещ, язь, окунь и др. Запас основных промысловых рыб Кумского водохранилища в 2002 г. составлял 571 т, возможный вылов (часть промыслового запаса) этих же рыб – 149 т. По косвенным оценкам в 1950-е гг. до зарегулирования Пяозера и Топозера промысловый запас был выше современного в 1,5 – 2 раза. По рыбохозяйственному значению это малопродуктивные водоемы.

Для каскада смоделировано функционирование гидроэлектростанций с учетом требований рыбного хозяйства к скоростям сработки-наполнения водохранилищ. В грубом приближении общие потери рыбопродуктивности водохранилищ из-за работы ГЭС, составляют от 20 до 70 т/год. Экспертное сравнение в рублевом эквиваленте компенсационных затрат на рыбное хозяйство и энергетических потерь показало, что они соизмеримы между собой. Выбор режима использования водных ресурсов водохранилищ

Ковдинского каскада ГЭС за тем, что важнее для региона – рыбы или электроэнергия [411].

По данным Красноярского НИИ экологии рыбохозяйственных водоемов в **Красноярском водохранилище** от плотины гидроузла до с. Казачинского любители вылавливают ежегодно около 400 т хариуса, тогда как во времена развитого промысла (в середине прошлого века) во всем Енисейском рыбохозяйственном регионе добывалось не более 70 т этого вида рыб [РФ, 2019. – №7].

**Зейское водохранилище** на Дальнем Востоке – равнинно-горное со средней глубиной 37 м и величиной зимней сработки уровня 6 – 7 м.

До его образования (1975 г.) в аборигенном составе ихтиофауны доминировали представители озерно-речной группы рыб – карась серебряный (40 % в уловах) и щука амурская (22 %) с небольшой долей тайменя (6 %), хариуса (4 %) и других видов. В уловах из водохранилища доминируют чебак (41,7 %) и косатка-скрипун (38,3 %) с долями щуки (6,7 %), сома (2 %) и карася (2,8 %) (рис. 6.17). Ценные породы рыб (калуга, амурский осетр, хариус, сиги) вытеснены в горные притоки. Запас основных групп рыб в водохранилище оценивается примерно в 5 тыс. т. Основным фактором, оказывающим влияние на состояние ихтиофауны, является нестабильность уровня режима водохранилища.

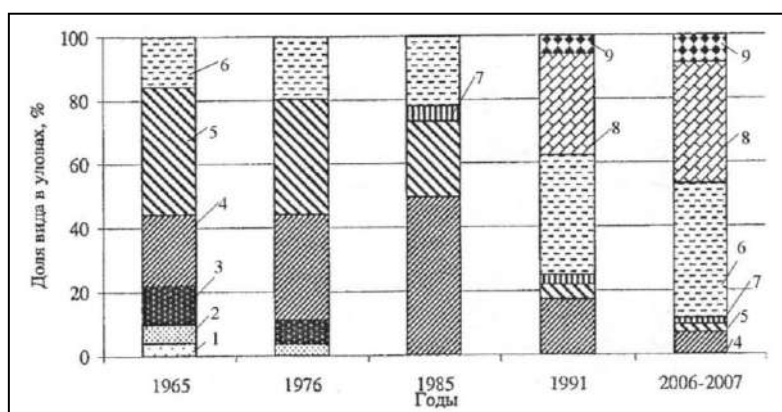


Рис. 6.17. Динамика видовой структуры уловов в р. Зее (1965 г.) и в Зейском водохранилище (с 1975 г.): 1 – хариус; 2 – таймень; 3 – ленки; 4 – щука; 5 – карась; 6 – чебак; 7 – сом; 8 – косатка-скрипун; 9 – налим [318]

Для повышения рыбохозяйственной значимости Зейского водохранилища проводилось его зарыбление: в 1986 – 1990 гг. и в 2001 – 2002 гг. было выпущено 87,4 млн штук байкальского омуля и 24,9 млн штук пеляди. Нерест омуля отмечался ежегодно на галечных грунтах, но эффективность

его была низкой – зимой и весной наблюдалась массовая гибель икры, фактический возврат составлял 0,02 – 0,03 %. В целом работа по внедрению акклиматизантов дала неудовлетворительный эффект [318].

По Волжскому каскаду, Цимлянскому и Зейскому водохранилищам выше приводились данные о мерах по **искусственному воспроизводству рыбных запасов**. Попытки не всегда были эффективными. Однако, в условиях негативного влияния на среду обитания различных видов хозяйственной деятельности, искусственное воспроизводство предстает единственным источником пополнения рыбных ресурсов. На 2007 г. в России действовали 72 рыбоводных предприятия Федерального агентства по рыболовству, производившие молодь ценных промысловых видов рыб – осетровых, лососевых, сиговых, частиковых. Выпуск этой молоди в естественные водоемы и водохранилища составил 5 216 млн штук в 1996 г., 6 646 млн штук в 2000 г., 7 654 млн штук в 2007 г. [110]. Позднее в средствах массовой информации проходили сообщения о строительстве крупных рыбоводных заводов в Калуге, Рязани, Самаре, Новосибирске и др., так что отрасль в развитии не останавливается.

#### **Высокоэффективно товарное рыбоводство:**

– разведение карпа, сазана, толстолобика, амура в прудах. К нему тяготеют предприниматели на юге страны. Прудовые хозяйства менее подвержены влиянию других водопотребителей и количество рыб можно увеличить в относительно короткий срок до любых необходимых пределов [242];

– выращивание красных рыб (семги, форели) в садках. Налажено в Карелии, Ростовской, Астраханской, других областях. Но местные жители в Карелии жалуются, что после появления садков в озерах вода становится непригодной для употребления и дикие виды рыб почти исчезают;

– в Крыму 75 хозяйств выращивают мидий, устриц, креветок, осетровых и лососевых рыб [АН, 2020. – №8].

Всего в России за 2017 г. было выращено 219,7 тыс. т водных биоресурсов, а к 2030 г. планируется выращивать их 700 тыс. т/год [НВ, 2019. – №34]

# ГЛАВА 7. ЗАЩИТА ОТ НАВОДНЕНИЙ

## 7.1. Наводнения в поймах рек

**Катастрофа** обычно определяется как серьезное нарушение функционирования общества, вызывающее повсеместно человеческие жертвы, материальные потери и нарушения окружающей среды, которые превышают способность общества преодолеть последствия за счет своих собственных ресурсов. Катастрофа может быть природной или техногенной [109].

**Стихийное бедствие** в терминологии ООН – это результат воздействия природного явления на социально-экономическую систему с уровнем уязвимости, который не позволяет пострадавшему обществу адекватно справиться с негативными воздействиями любых опасных природных явлений, которые могут произойти. Сами по себе природные явления не обязательно ведут к стихийным бедствиям. Только их взаимодействие с людьми, с их средствами к существованию и их окружением создают воздействия, которые могут достичь бедственных масштабов и привести к чрезвычайным ситуациям [109].

**Наводнение** – затопление территории водой, являющееся стихийным бедствием. Под речным наводнением надо понимать затопление водой прилегающей к реке местности, которое причиняет материальный ущерб, наносит урон здоровью населения или приводит к гибели людей. Затопление же водой местности, не сопровождающееся ущербом, есть разлив реки [101; 424; 633].

История населения долин многих равнинных рек – это одновременно печальная летопись драматической борьбы человека с водной стихией. Как показывает статистика, в целом по земному шару наводнения представляют большую опасность для людей (36 % всех погибших и пострадавших в мире) и обеспечивают 20 % экономических потерь [48]. Всемирный экономический форум (г. Давос, Швейцария) опубликовал доклад о глобальных рисках на 2019 год (The Global Risks Report 2019). События, ранжированные по вероятности, выстроены в докладе так: экстремальные погодные

явления; массовая вынужденная миграция людей; стихийные бедствия (в т.ч. наводнения); теракты; кража данных и т.д. Риски событий, ранжированных по размеру оказываемого воздействия, расположены следующим порядком: применение оружия массового поражения; экстремальные погодные условия; нехватка воды; стихийные бедствия; неудачи в борьбе с изменениями климата. Как видим, стихийные бедствия в части наводнений состоят в пятерке главных рисков для людей на Земле.

На территории Российской Федерации наводнения являются одним из наиболее часто повторяющихся стихийных бедствий, а по площади охватываемых территорий и наносимому годовому ущербу в многолетнем разрезе превосходят все остальные. В зонах затоплений при формировании максимальных уровней воды рек находится порядка 400 тыс. км<sup>2</sup>, из которых ежегодно затапливается около 50 тыс. км<sup>2</sup>. При наводнениях вероятностью 1 – 5 % в зонах затоплений оказываются 746 городов и тысячи других населенных пунктов с числом жителей более 4,6 млн человек, 150 тыс. км<sup>2</sup> земель, в том числе 7 млн га сельхозугодий [633].

По размерам и наносимому ущербу различают **четыре вида наводнений**.

1. *Низкие (малые, небольшие) наводнения.* Имеют вероятность 12 – 20 %, затапливают менее 10 % сельскохозяйственных угодий, наносят незначительный ущерб и почти не нарушают ритма жизни населения.

2. *Высокие (большие) наводнения.* Вероятность 4 – 10 %, затапливаются большие участки речных долин, 10 – 15 % сельскохозяйственных угодий, наносится ощутимый материальный ущерб, нередко требуется частичная эвакуация населения.

3. *Выдающиеся наводнения.* Имеют вероятность 1 – 2 %, охватывают целые речные бассейны, приводят к затоплению 50 – 70 % сельскохозяйственных угодий и значительного количества населенных пунктов, парализуют хозяйственную деятельность, наносят большой материальный ущерб, резко нарушают бытовой уклад населения. На время таких наводнений обычно возникает необходимость массовой эвакуации людей и материальных ценностей из зон затопления

4. *Катастрофические наводнения.* Имеют вероятность менее 1 %, затапливают громадные территории, например, нескольких субъектов Российской Федерации, более 70 % сельскохозяйственных угодий, множество населенных пунктов, объектов экономики, коммуникаций. В зоне затопления полностью парализуется хозяйственная и производственная

деятельность. Такие наводнения приводят к огромным экономическим ущербам и гибели большого количества людей [424; 430].

В России нет единой системы оценки ущерба, причиненного наводнениями. В сводном труде «Наводнения на территории Российской Федерации», изданном Федеральным агентством водных ресурсов в 2008 г., среднемноголетний годовой ущерб от наводнений до 2003 г. в целом на территории Российской Федерации оценен в 1,3 – 1,4 млрд долларов США [633].

Размеры ущерба в городах зависят от высоты и продолжительности стояния опасных уровней воды, площади затопления, времени затопления (весной, летом, зимой), своевременности прогноза, организованности населения. Чем плотнее застройка, тем больше ущерб в пересчете на один гектар затопленной площади; чем город меньше, тем этот показатель ниже. Сегодня для каждого города известен так называемый **критический уровень воды** – уровень по ближайшему гидрологическому посту, с превышением которого начинается затопление данного города. Так, в Санкт-Петербурге критическим уровнем, приводящим к затоплению жилых кварталов, считается уровень воды 210 см над ординаром (2,21 м БС); в Нижнем Новгороде – уровень 70,2 м БС, при котором начинается затопление частных секторов окраинной застройки, и т.д.

Для сельского хозяйства решающее значение имеют время (сезон) и продолжительность затопления. Допустимые сроки весеннего затопления различных луговых растений находятся в пределах от 5 – 10 суток (клевер красный) до 25 – 30 суток, (полевица белая, мятлик болотный). Чувствительны к весеннему затоплению озимые зерновые культуры. Так, при продолжительности затопления озимой ржи в 14 суток гибель урожая составляет 97 %. Все культурные растения (кроме риса) более чувствительны к летнему затоплению, чем к весеннему. Так, в случае летнего затопления теплой водой люцерна погибает через 2 – 3 дня, а весной при затоплении холодной водой выдерживает 10 – 15 дней. Продолжительность летнего затопления (в сутках) без снижения урожайности для некоторых культур следующая: зерновые, картофель 0,5 – 0,7; овощи, корнеплоды 0,8 – 1,0; сеяные многолетние травы 1,0 – 1,5.

По-разному переносят затопление водой пойменные леса. Кратковременное затопление не вредит лесу. Деревья, которые затапливались с молодого возраста, намного устойчивее, чем изредка затапливаемые взрослые деревья. С повышением температуры воды устойчивость деревьев к затоплению падает. В стоячей воде деревья чувствуют себя хуже, чем в

проточной. Особенно долго (до 3 – 5 месяцев) могут стоять в воде ольха, береза, ива [424].

Регистрация наводнений в России ведется с летописного периода. По одной из летописей «В лето 7052 (1544 г.) ... в Новгороде была вода велика, потопила монастыри многие и дворы многие, и воду черпали с моста Волховского колпаки, а в Ильмень и ниже Новгорода по Волхову и по иным рекам дворы и оранная земля в потопе». На основании указа Петра I с 1709 г. стали фиксировать все высокие наводнения. Многие описаны в специальных изданиях [101; 151; 424; 633], составлен «Каталог наводнений на территории России» [633], охвативший период с 991 г. (девятьсот девяносто первого) по 2001 г.

В долинах рек нашей страны зарегистрировано немало выдающихся и даже катастрофических наводнений. Тем не менее наводнения в России не достигали столь грандиозных размеров, как в долинах рек Янцзы и Хуанхэ в Китае, Ганга в Индии, Миссури и Миссисипи в США, Амазонки в Бразилии. Главная причина – в особенностях климата. На большей части нашей страны наводнения приурочены к весеннему половодью, а на Дальнем Востоке – к периоду летних муссонных дождей. О них знают, их ждут. На всех же названных реках подъемы уровней воды вызываются ливневыми осадками, место и время выпадения которых заранее неизвестно [424].

**Наводнения, вызванные снеготаянием**, типичны для большинства равнинных рек. Они могут приобрести катастрофический характер, если сочетаются с весенними дождями и обильным предзимним увлажнением почвогрунтов [227; 424].

До создания каскада гидроузлов половодные наводнения часто наблюдались на р. Волге, при них уровни воды поднимались на 10 – 13 м над средними многолетними [151]. Наибольший ущерб несли города Тверь, Углич, Калязин, Рыбинск, Ярославль, Кострома, Нижний Новгород, Казань, Самара, Камышин, Астрахань [61; 151; 371; 633].

Оригинальное мнение по поводу наводнений на р. Волге (рис. 7.1) имеется у ученых РосНИИВХ. В капитальном труде «Вода России» они написали: «Огромное санитарное значение имели ежегодные половодья в течение двух месяцев со средними подъемами воды у Нижнего Новгорода до 10 м, в устье Камы – 12 м, у Волгограда – 9 м» [114].

В начале XX в. весьма частые весенние наводнения происходили в нижнем течении р. Дона (рис. 7.2). Например, станица Старочеркасская почти ежегодно затоплялась поймой водой на 2 – 3 месяца, вследствие чего



Рис. 7.1. Весенний разлив на Волге. Начало XX в. [621]



Рис. 7.2. Традиционное жилье донских казаков: второй этаж спасал при разливах Дона, и современная казачья усадьба на его берегу



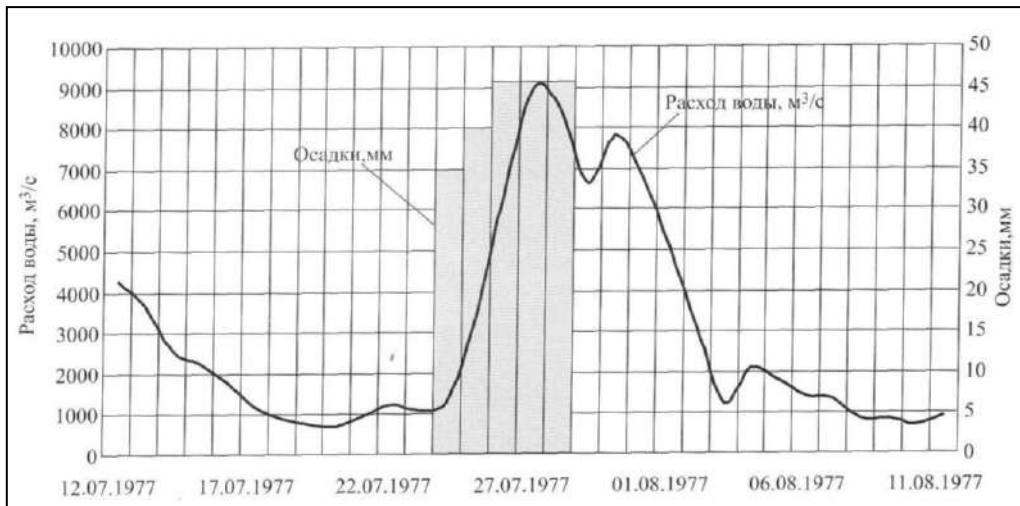


Рис. 7.3. Гидрограф р. Зея в урочище Зейские ворота и ход осадков по метеорологической станции Бомнак в июле 1977 г. [227]



Рис. 7.4. Затон Якутгоспароходства на р. Лене в г. Киренске в ледоход 1915 г. [733]



Рис. 7.5. Затопление новых дачных строений в пойме р. Сухоны половодьем 2012 г.

по улицам на значительной высоте, до 4 – 5 м над землей, были устроены постоянные мостки для сообщения между домами, учреждениями, базаром и пр. [128]. Сегодня казаки, проживающие на берегах зарегулированного Дона, половодий не опасаются (см. рис. 7.2).

**Наводнениям, вызванным дождями большой интенсивности,** подвержены Дальний Восток, юг Восточной Сибири, Северный Кавказ и другие регионы страны.

Частыми ливневыми наводнениями известно Приамурье. Они приходятся, как правило, на июль-август – период муссонов [514]. В случае катастрофического наводнения нижний Амур на 120–160 суток превращается в водоем шириной до 40 – 50 км. Четкие связи осадков и стока прослеживаются в бассейне р. Зеи, левого притока Амура (рис. 7.3). Минимальный наблюдаемый расход р. Зеи у г. Зеи составляет 1,6 м<sup>3</sup>/с, а максимальный 14200 м<sup>3</sup>/с [122; 311]. В целом по бассейну р. Амура паводки 1 %-й вероятности превышения затапливают в современных условиях 176 городов и крупных населенных пунктов, в том числе: в Читинской области – 19, в Амурской – 98, в Хабаровском крае – 35, в Приморском крае – 20; затапливаются также 2,7 млн га земель, пригодных к сельскохозяйственному использованию: в Читинской области – 5 тыс. га, в Амурской области – 489 тыс. га, в Хабаровском и Приморском краях – 450 и 600 тыс. га [114]. Высокие наводнения посещали Приамурье в 2013, 2020, 2021 гг.

В связи с обильными дождями летом 2019 г. в Иркутской области двумя волнами прошел паводок по притокам р. Ангары – Уде, Ие, Оке, Бирюсе, Белой, Иркуту и случилось большое наводнение в их поймах. Такое все предвидели, но никто не ожидал. В первую волну (25 июня – 2 июля) было затоплено 109 населенных пунктов, в которых проживает 42760 человек, пик паводка пришелся на 29 июня, когда уровень воды в р. Ие у г. Тулуна поднялся до 13,8 м при критическом для города уровне 0,70 м. Во вторую волну (с 28 июля по 4 августа) вновь затопило 58 поселений с 5,5 тыс. жителей. Всего затоплению подверглись 10890 жилых домов, из которых 5,4 тыс. снесло с фундаментов потоками воды. Пришлось эвакуировать более 1000 человек. 25 человек погибли. Ущерб оценен в 35 млрд 152 млн рублей, из них больше 20 млрд руб. по инфраструктурным объектам и административным зданием, около 8 млрд руб. по жилому сектору, 420 млн руб. по аграрному комплексу. Для ликвидации последствий наводнения потребовалось вмешательство Президента Российской Федерации [<https://lenta.ru/news/2019/07/08>].

Река Кубань имеет смешанное питание: дождевая составляющая годового стока у г. Краснодара 38 %, грунтовая 36 %, ледниковая 24 %, снеговая 2 %. Наибольший годовой сток здесь достигает 17,7 км<sup>3</sup> (1915 г.), наименьший – 6,9 км<sup>3</sup> (1969 г.), и характеризуется значительной сезонной неравномерностью. За последние десятилетия на реке ниже Краснодарского водохранилища (введено в 1973 г.) наводнения были в феврале 1993 г., январе 2002 г., июне 2002 г. [376].

На северных реках вскрытие от льда происходит сверху вниз и наблюдаются **наводнения, связанные с ледовыми явлениями** (заторами). **Затор льда** представляет собой скопление крупно- и мелкобитых льдин в русле, стесняющее живое сечение реки и вызывающее подъем уровня воды на участке выше него [371; 424; 534].

Весенние заторы льда с подъемом уровня воды характерны для нижнего течения р. Енисея, где они являются неотъемлемой частью процесса вскрытия реки [424].

С первых лет освоения Восточной Сибири известны затопления больших территорий в долине р. Лены, связанные со специфическим ледовым режимом (рис. 7.4) [467; 733]. Расположенные вдоль Лены города Киренск, Якутск, Ленск затапливались многократно. В районе г. Якутска выдающимися были наводнения 1864, 1933, 2000 гг. Уровень воды в мае 2000 г. соответствовал повторяемости 1 раз в 100 лет. Город был почти полностью затоплен [200; 633]. Катастрофических размеров в бассейне Лены достигло наводнение в половодье 1998 г. От г. Ленска до п. Жиганска на расстоянии 1754 км из-за множественных заторов повсеместно затопило прибрежные территории, в их числе 95 % г. Ленска с превышением критической отметки уровня воды на 3 м. Во время этого наводнения по данным МЧС России в зоне затопления находилось 23 улуса, 203 населенных пункта, в которых проживало 512 тыс. человек. Было затоплено 15,5 тыс. жилых домов, 500 объектов социально-культурного назначения, 934 административных здания, разрушен 341 мост, 280 опор ЛЭП, размыто 2,5 тыс. км дорог, уничтожены 234 защитные дамбы, покрыты водой около 40 тыс. га сельхозугодий. Погибли 15 человек. По охвату территории и нанесенному ущербу наводнение 1998 г. в Якутии входит в число наиболее крупных в нашей стране [31; 468; 514].

В верхних и нижних бьефах речных гидроузлов могут наблюдаться **наводнения техногенного характера, обусловленные эксплуатацией гидротехнических сооружений и водохранилищ**. Чаще всего происходят

наводнения в результате форсированных сбросов воды в нижние бьефы гидроузлов. Этим наводнениям способствует бесконтрольная застройка пойм в нижних бьефах, игнорирующая возможности таких сбросов. Наиболее опасными представляются наводнения в нижних бьефах гидроузлов, происходящие в результате аварийного разрушения (прорыва) плотин [101].

**Техногенными причинами увеличения высоты наводнений** в поймах рек являются: бездумное сведение лесов при забвении их водоохранной и водорегулирующей роли; неосмотрительная ликвидация плотин, ранее созданных в речной сети для регулирования стока; строительство дорог большой протяженности, когда оно ведется без учета условий стекания поверхностных вод, характера размещения речной сети и особенностей гидрологического режима рек; любое строительство на поймах, которые предназначены природой для пропуска вод половодий и паводков, когда они не вмещаются в речное русло.

Извечное стремление человека к воде нередко берет верх над здравым смыслом. Застраивая поймы речных долин, он забывает и недооценивает опасность, которую таят в себе реки в период половодий и паводков [151] (рис. 7.5).

## **7.2. Противопаводковая функция водохранилищ**

Почти во всех странах мира, в том числе и в России, защита от наводнений является общегосударственным делом.

Следуя мировому опыту страны ЕС к 2015 г., должны были идентифицировать все территории, подверженные угрозе наводнений, и разработать для них два типа карт: опасности и риска наводнений. На картах опасности отображаются границы затоплений различной повторяемости, соответствующие глубины и скорости потоков. Карты риска предназначены для оценки возможных последствий наводнений – числа жителей в зонах затоплений, ущербов экономике и вреда окружающей среде. В отношении указанных территорий разрабатываются планы риск-менеджмента, включающие меры, направленные как на снижение вероятности затоплений, так и на уменьшение их потенциальных последствий. При этом особое внимание обращается на вопросы предотвращения возрастания ущерба: запрет строительства зданий и промышленных объектов, восстановление паводкорегулирующей способности пойм и водосборов, подготовку населения и органов управле-

ния к действиям во время наводнений.

В Российской Федерации отсутствуют правовые механизмы управления риском наводнений. По всей видимости, необходим федеральный закон «О защите от наводнений» с соответствующими подзаконными актами. Это позволит преодолеть сложности, обусловленные невозможностью регулирования использования земель и объектов недвижимости, не являющихся государственной собственностью, в паводкоопасных зонах [161; 649; 704].

Оконтуривание зон затопления в плане, определение глубин и скоростей течения воды в этих зонах при прохождении половодий и паводков по долинам рек ведется посредством **физического и математического моделирования**.

*Физическое моделирование* было и остается наиболее точным методом гидравлических исследований и зачастую является единственным путем получения количественных закономерностей, непредсказуемых существующей теорией или описываемых ею недостаточно полно [338]. В научных учреждениях нашей страны – Государственном гидрологическом институте, ОАО «ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева» и др. – функционируют крупные гидравлические лаборатории. Иногда гидравлические модели строились на открытых площадках. Так, при проектировании Сталинградской (Волжской) ГЭС проводились исследования на модели в масштабе 1:150, построенной у подножия Мамаева кургана в г. Сталинграде [108]. Лабораторному моделированию в большинстве случаев подвергаются площадки гидроузлов, гораздо реже – недлинные участки свободных рек (рис. 7.6), а построить модель речной долины большого протяжения для прогнозирования паводочных затоплений в лабораториях не удастся. Такое прогнозирование обычно основывается на математическом моделировании.

*Математическое моделирование неустановившегося течения в реках* отражает влияние наиболее важных факторов, придерживаясь допущения, что течение одномерное или двухмерное. Моделирование зон затопления ведут численными методами гидродинамики с использованием географических информационных систем (ГИС) как на стадии подготовки данных – для построения цифровых моделей рельефа (ЦМР), создания расчетных сеток и гидродинамических моделей, так и на стадии обработки результатов расчетов для их графического отображения с целью дальнейшего использования. Наиболее часто исследователи работают с продуктами фирмы ESRI – ArcView и ArcGIS. ЦМР создаются в виде совокупности высот, отметок, глубин и иных значений аппликат в узлах треугольной сети (TIN), или как

совокупность записей горизонталей (изогипс, изобат) и иных изолиний. Наиболее распространенным способом цифрового представления рельефа при моделировании гидродинамики является растровое представление Grid. Источниками исходных данных для создания ЦМР служат топографические карты, аэрофотоснимки, космические снимки, карты подводного рельефа. На рис. 7.7 приведена ЦМР района слияния рек Волги и Оки в г. Нижнем Новгороде, составленная в ArcView на основе TIN-модели местности.

*В качестве компьютерного инструментария* получил известность в нашей стране программный комплекс «МІКЕ-11», разработанный Датским институтом гидравлических исследований. Комплекс применяют для создания имитационных моделей гидродинамических процессов, включая прохождение прорывных и паводковых волн, транспорта наносов, переноса загрязняющих веществ водой в речных системах [42; 86; 478; 718]. В ОАО «НИИЭС» разработан и реализуется в Институте водных проблем РАН комплекс компьютерных программ для расчета течений в системе русел с затопляемыми поймами [53; 54; 55; 56]. В ННГАСУ составлена компьютерная программа Stream 2D, опробованная моделированием участков р. Волги и малых рек [561; 562; 563; 565; 594]. С помощью последней моделировались, например, гидродинамические условия половодья вероятностью превышения 1 % в районе слияния рек Оки и Волги при максимальном суточном расходе в р. Волге (до впадения р. Оки) 8460 м<sup>3</sup>/с, в р. Оке – 18700 м<sup>3</sup>/с. По результатам моделирования наиболее сложная ситуация проявилась в левобережье р. Оки, где скорость течения в Гребневской протоке достигает 1,8 м/с, а зона затопления распространяется на городскую территорию (см. рис. 7.7).

Стоит отметить, что при моделировании гидравлических процессов в долинах рек всегда проявляется неточность исходной информации. Ошибки в исходных данных служат главной причиной погрешностей теоретических прогнозов. Поэтому подбору исходной информации для моделирования следует уделять значительное внимание.

Отечественной **практикой защиты от речных наводнений** определен состав технических мероприятий, позволяющих в какой-то мере решать эту задачу: возведение дамб обвалования защищаемой территории; строительство противопаводковых гидроузлов с объемом водохранилищ, позволяющим осуществить срезку максимальных уровней на нижележащем участке реки; вынос жилой застройки и хозяйственных объектов на незатопляемую территорию; углубление, спрямление, расширение русел рек

для увеличения пропускной способности с соответствующим снижением высоты паводковой волны. Каждое из этих мероприятий имеет свои преимущества и недостатки и выбор их эффективного сочетания является проблемой, требующей учета множества факторов природного, технического и социального характера [31].

Земляные защитные дамбы (валы) известны с древности. На реках Хуанхе, Янцзы и др. в Китае они строились еще 4000 лет тому назад. В правобережной части бассейна р. Амура после разрушительного для северо-восточных провинций Китая наводнения 1988 г. за 15 лет построили несколько тыс. км защитных дамб, но в 2013 г. большая их часть была разрушена или повреждена паводком обеспеченностью 5 %, прошедшим по правым притокам р. Амура [362]. В Европе строительство защитных дамб продолжается с VIII в. В США основным видом инженерной защиты от наводнений являются одноцелевые противопаводковые водохранилища. Их резервные емкости составляют примерно 1/3 от суммарного объема водохранилищ США [633]. В России применяется то и другое.

Для предотвращения наводнений, вызываемых заторами льда, пытаются разрушать сами заторы, обычно с применением взрывных работ. Наибольший эффект дают заряды, укладываемые параллельными цепями на лед или вбуриваемые в него. Бомбометание и минометный обстрел признаются малоэффективными из-за низкой точности попадания. Иногда добиваются ускоренного таяния льда в проблемных местах, посыпая его угольной пылью, сажой, шлаком, солью. Метод показывает себя хорошо: лед становится рыхлым и пористым [250]. Мероприятия эти применяют абстрагируясь от их воздействия на фауну рек.

**Дамбами обвалования** в нашей стране защищены от затопления такие города, как Белозерск, Абакан, Благовещенск, Биробиджан, Комсомольск-на Амуре, Новокузнецк и ряд других. В период 2001 – 2010 гг. осуществлено строительство дамбовых защитных сооружений от паводочных вод городов Якутска (18,5 км), Ленска (19,2 км), Олекминска (7,1 км) вдоль р. Лены (рис. 7.8). Всего в 2000-е гг. за счет средств Федерального бюджета выполнялись работы на 165 объектах, обеспечивающих защиту от наводнений и другого вредного воздействия вод в 32 городах и 106 населенных пунктах [658], и они непрерывно продолжаются.

Радикальным направлением деятельности в борьбе с речными наводнениями является **использование регулирующих водохранилищ**.



Рис. 7.6. Гидравлическая модель 40-километрового участка р. Оби в русловой лаборатории ГГИ

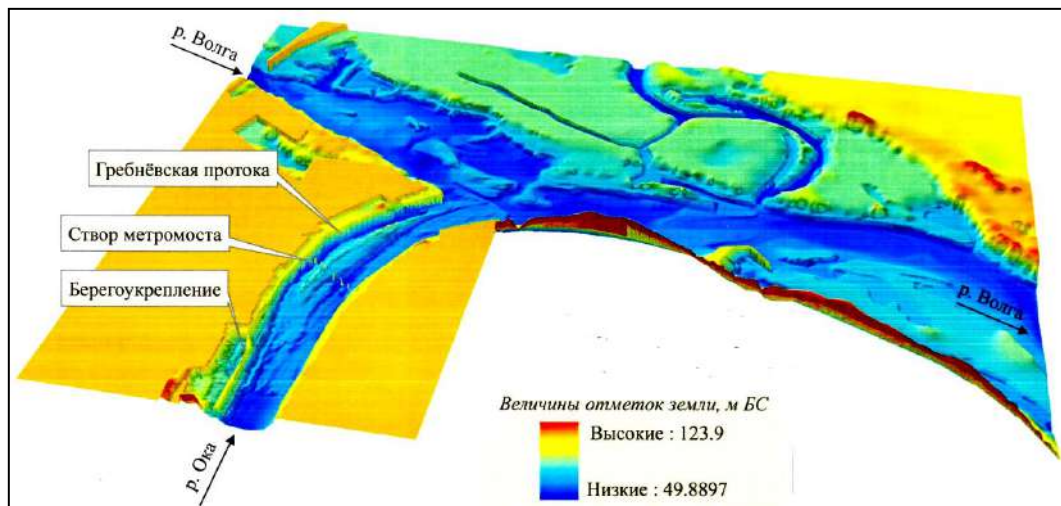


Рис. 7.7. Цифровая модель рельефа в районе впадения р. Оки в р. Волгу



Рис. 7.8. Защитная дамба г. Ленска вдоль р. Лены





Рис. 7.9. Зейский гидроузел на р. Зее [tass.ru]



Рис. 7.10. Схема размещения действующих и перспективных гидроузлов в бассейне р. Амура [362]

Водохранилища многолетнего и сезонного регулирования комплексных гидроузлов в той или иной степени влияют на снижение паводковых расходов воды. К этой группе принадлежит большинство больших водохранилищ.

Так, создание Рыбинского водохранилища многолетнего регулирования позволило выровнять сток верхней Волги: если ранее в периоды половодий подъемы уровней воды у г. Ярославля доходили до 8 – 10 м, то теперь они не превышают 2 – 3 м [108; 534]. Реализация проекта «Волго-Дон» со строительством Цимлянского водохранилища позволила исключить проблему наводнений в пойме Нижнего Дона [128]. И т.д.

Когда специальной задачей гидроузла поставлена борьба с наводнениями, то в водохранилище предусматривается резервная противопаводковая емкость, которая заполняется водой только в особо многоводный период и затем быстро опорожняется для принятия возможного повторного паводка.

Построенная во второй половине XX века противопаводковая система в бассейне р. Кубани включает 4 водохранилища с общей противопаводковой емкостью 1,18 км<sup>3</sup> и обвалования русел рек Кубани от Краснодарского гидроузла до устья (250 км) и Протоки (рукав Кубани, 133 км). В результате ежегодному затоплению на 15 – 20 суток подвергается только русловая пойма, ограниченная валами, от наводнений защищено 600 тыс. га пойменных и дельтовых земель, 87 населенных пунктов, 300 тысяч жителей [376]. Однако, половодья редкой повторяемости к наводнениям все же приводят [250].

Река Белая (приток р. Камы) в среднем течении угрожает половодными затоплениями части территорий городов Салават (6,2 км<sup>2</sup>) и Стерлитамак (7,4 км<sup>2</sup>). Лимитирующим в створе г. Стерлитамака, т.е. не приводящим к затоплениям, является расход 2 200 м<sup>3</sup>/с при бытовых расходах половодий 3 540 м<sup>3</sup>/с (5 %) и 4 800 м<sup>3</sup>/с (1 %). В бассейне созданы два водохранилища: Нугушское на р. Нугуш (приток р. Белой) полезным объемом 0,356 км<sup>3</sup> и Юмагузинское на р. Белой полезным объемом 0,279 км<sup>3</sup>, объемом от УМО до ФПУ 0,504 км<sup>3</sup>. Они призваны обеспечивать выработку электроэнергии на ГЭС, поддерживать необходимые уровни в р. Белой для работы водозаборов, а также решать противопаводковую задачу. Пропуск 5 %-го половодья с понижением расхода воды с 3 540 м<sup>3</sup>/с до лимитирующего 2200 м<sup>3</sup>/с в створе г. Стерлитамака водохранилища обеспечивают, но максимальные расходы 1 %-го половодья могут срезать только на 15 – 20 %. Для

предотвращения наводнений в г. Стерлитамаке требуются дополнительные мероприятия. Действенным вариантом называется создание сети прудов на притоках р. Белой. Общий объем прудов в 20 млн м<sup>3</sup> позволит полностью решить проблему наводнений в среднем течении реки [42; 86; 478].

Предотвращение наводнений является специальной функцией энергетического гидроузла на р. Зее, левом притоке р. Амура (рис. 7.9). Зейский гидроузел, построенный к 1975 г., располагается на выходе р. Зеи из узкой каньонообразной части долины на обширное Амуро-Зейское плато. Водохранилище полным объемом 68,4 км<sup>3</sup> и полезным объемом 32,2 км<sup>3</sup> позволило в нижнем течении р. Зеи расход обеспеченностью 1 % уменьшить с 8 320 м<sup>3</sup>/с до 3 500 м<sup>3</sup>/с, избавило долину реки от наиболее разрушительных наводнений, а те наводнения, которые повторялись каждые 2 – 4 года, могут формироваться теперь лишь 1 раз в 10 – 50 лет. В результате улучшились условия ведения сельского хозяйства на площади в 300 тыс. га. Среднегодовой ущерб от наводнений в бассейне р. Зеи уменьшился в 3 раза. Для достижения столь значительного эффекта в Зейском водохранилище приходится держать порожний резервный объем в 18,9 км<sup>3</sup> [122; 424].

Нельзя оставить без внимания пропуск Зейским гидроузлом в 2007 г. летнего паводка редкой повторяемости, самого большого за 106 лет наблюдений. 19 июля 2007 г. приточный расход достиг абсолютного максимума и составил 15 200 м<sup>3</sup>/с. Соизмеримые паводки происходили и раньше: 1928 г. – 14 200 м<sup>3</sup>/с, 1953 г. – 12 700 м<sup>3</sup>/с, 1972 г. – 12 500 м<sup>3</sup>/с, 1974 г. – 11 700 м<sup>3</sup>/с. В отсутствие Зейского гидроузла при их прохождении наблюдались выдающиеся наводнения с затоплением большого количества населенных пунктов и частично городов Зея, Свободный, Благовещенск. После заполнения Зейского водохранилища до проектной отметки значительные паводки формировались в 1982 г. (11 260 м<sup>3</sup>/с), 1984 г. (13 700 м<sup>3</sup>/с), 1987 г. (11 100 м<sup>3</sup>/с), 1990 г. (11 990 м<sup>3</sup>/с). В период с 1976 по 2007 гг. сбросы из водохранилища производились всего 3 раза – в 1982, 2006 и 2007 гг. В напряженной ситуации 2007 г. Зейский гидроузел выполнил одну из своих основных функций – защитил от наводнения нижележащие населенные пункты и сельскохозяйственные земли. Максимальный сбросной расход имел место 25 июля 2007 г. и составил 4 844 м<sup>3</sup>/с. При этом ФПУ в водохранилище не был достигнут, так что при надежном прогнозе объема паводка сбросной расход мог быть еще уменьшен. Главной причиной затопления некоторых населенных пунктов, расположенных ниже Зейской ГЭС явилась неконтролируемая застройка территорий, находящихся в зоне затопления при пропуске



Рис. 7.11. Схема размещения перспективных энергетических гидроузлов с противоаводковыми функциями на р. Лене и притоках: точки – места крупных заторов [371]; линии – створы гидроузлов [31]

Таблица 7.1  
**Показатели водохранилищ перспективных гидроузлов  
 в бассейне р. Лены [31]**

Гидроузел	Река	Объем водохранилища, км <sup>3</sup>		Объем половодья, км <sup>3</sup>	
		полный	полезный	P = 5 %	P = 1 %
Верхне-Ленский	Лена	6,6	6,3 (6,3)	8,5	10,0
Ленский-И	Лена	18,8	12,3 (15)	55,0	60,0
Ленский-ИИ	Лена	96,6	40,1 (70)	100,0	112,0
Якутский	Лена	35,5	15,5 (28)	176,0	198,0
Шороховский	Киренга	21,7	9,1 (16)	12,0	14,0
Мокский	Витим	20,2	13,2 (16)	20,0	23,0
Олекминский	Олекма	13,7	6,1 (10)	22,0	26,0

сбросных расходов гидроузла вероятностью превышения 1 %, что соответствует 3500 м<sup>3</sup>/с [81].

Примерно такая же ситуация в долине р. Зеи повторилась в июле – сентябре 2013 г. [362].

В р. Амур с российской стороны поступает 45 % его годового стока в створе г. Хабаровска. Наиболее значимый вклад в защиту населенных пунктов и территорий от наводнений в бассейне Амура, наряду с водохранилищами действующих Зейской ГЭС на р. Зее, Бурейской ГЭС на р. Бурее и Нижнебурейской ГЭС, могут внести водохранилища Нижнезейской и Селемджинской ГЭС, затем Нижнениманской, Гилуйской, Транссибирской (Шилкинской) гидроэлектростанций и каскада ГЭС в среднем течении реки Большой Уссурки (рис. 7.10), рассматриваемые в АО «Ленгидропроект» на перспективу. Названные гидроэлектростанции способны покрыть максимум зимней нагрузки ОЭС Востока в 10530 МВт и электропотребление в 63,52 млрд кВт·ч/год, прогнозируемые к 2030 г. с учетом экспорта электроэнергии в Китай [362].

В ОАО «Институт Гидропроект» рассмотрены возможности ослабления наводнений в бассейне р. Лены. Анализ формирования половодий на р. Лене показал, что значительная часть половодного стока образуется на основных ее притоках: Киренге (15 км<sup>3</sup>), Витиме (47 км<sup>3</sup>), Олёкме (32 км<sup>3</sup>), Алдане (126 км<sup>3</sup>), Вилюе (45 км<sup>3</sup>). В половодье вероятностью превышения 1 % сток составляет 470 км<sup>3</sup>. Предпроектные работы по гидротехническому строительству на р. Лене и ее притоках были связаны с энергетическим использованием водотоков Ленского бассейна. Водоохранилищам перспективных энергетических гидроузлов (рис. 7.11) могут быть приданы противопаводковые функции. В табл. 7.1 приведены соотношения их объемов (полного и полезного) с объемами половодного стока в створах гидроузлов. Регулирующий объем водохранилищ может быть несколько увеличен за счет понижения УМО. Примерные значения увеличенного противопаводкового объема водохранилищ показаны в скобках. Из сопоставления предельно возможных регулирующих объемов водохранилищ с объемами стока половодий следует вывод о том, что суммарный противопаводковый эффект водохранилищ в бассейне р. Лены может оказаться существенным [31].

# ГЛАВА 8. РЕКРЕАЦИЯ

## 8.1. Рекреационное значение водохранилищ

**Рекреация** – отдых, восстановление сил человека, израсходованных в процессе труда. Во многих странах, включая Россию, рекреационное обслуживание – крупная отрасль экономики [603].

Особая роль в организации отдыха принадлежит водным объектам. Бóльшая часть учреждений здравоохранения, рекреационных учреждений и почти все зоны кратковременного отдыха населения располагаются вблизи них (рис. 8.1). Среди водных объектов суши наибольшее рекреационное значение имеют водохранилища, которые расположены в густонаселенных районах.

Рекреационные ресурсы водохранилищ России значительны. Суммарная длина их береговой линии (76 тыс. км) превышает длину береговой линии омывающих страну морей (60 тыс. км). Воспользоваться отдыхом на водохранилищах могут 77 млн человек (табл. 8.1) [597].

Для организованного отдыха только на берегах трех волжских водохранилищ – Куйбышевского, Саратовского и Волгоградского – находится 1 200 учреждений здравоохранения, рассчитанных на одновременный прием 100 000 отдыхающих. В Московской области лишь благодаря созданным водохранилищам стало возможным развитие массовых водных рекреаций. Так, по берегам одного Истринского водохранилища расположено более 200 объектов массового отдыха, а посещаемость водохранилища достигла 4 млн человек в год. И т.д. [112].

Россияне на водохранилищах отдыхают следующим образом.

- купаются с принятием солнечных ванн (рис. 8.2).
- катаются на прогулочных теплоходах (см. рис. 4.13), весельных лодках, парусных яхтах (рис. 8.3), быстроходных катерах (рис. 8.4) и судах на воздушной подушке (рис. 8.5), гидроциклах, иных плавательных средствах.

Таблица 8.1

**Обеспечение городского населения России  
рекреационными ресурсами водохранилищ [597]**

Экономические районы	Городское население, имеющее возможность отдыхать на водохранилищах с учетом транспортной доступности, тыс. чел. (%)			
	всего	живущее на берегах	живущее в пределах одночасовой доступности	живущее в пределах двухчасовой доступности
Северный и Северо-Западный	1 644 (18)	823 (9)	609 (7)	211 (2)
Центральный	17 444 (71)	4 917 (20)	11 751 (48)	776 (3)
Центрально-черноземный, Волго-Вятский, Поволжский	7 937 (84)	6 336 (67)	1 519 (16)	152 (1)
Северо-Кавказский	3 039 (16)	550 (3)	1 756 (9)	734 (4)
Уральский	6 597 (54)	3 183 (27)	2 352 (19)	1 007 (8)
Западно-Сибирский	2 877 (36)	376 (5)	339 (4)	2 161 (27)
Восточно-Сибирский	2 516 (58)	1 235 (28)	909 (21)	372 (9)
Всего	77 822 (53)	26 703 (18)	34 774 (24)	16 340 (11)

- Занимаются рыбной ловлей с берега, с лодок, со льда и другими способами (рис. 8.6). Например, каждое из 4-х московских водохранилищ, ставших объектами платного спортивного и любительского рыболовства, ежегодно посещают от 45 до 200 тыс. рыболовов из г. Москвы, Московской и других областей центра России [112]. По результатам учета уловов рыбаков-любителей рыбопродуктивность в водохранилищах Московско-рефской водной системы достигает 33 кг/га.

- Охотятся на побережьях. С ростом доходов населения любительская охота как вид отдыха принимает все больший размах. Например, в Нижегородской области, в том числе по берегам Горьковского и Чебоксарского водохранилищ, год от года увеличивается численность лесного населения – всего, кроме рысей (рис. 8.7). Кабанов здесь стреляют запросто, также, как белок, зайцев и лисиц [606]. Писатель М. М. Пришвин (1873 – 1954) в своем дневнике отметил: «Почему-то рыбаки выглядят интеллигентнее охотников».

- Некоторые граждане всем видам рекреации предпочитают выпить кофе в плавучем ресторане (рис. 8.8).

- Другие для повышения комфортности отдыха строят хижины (рис. 8.9) или добротные дома. Бум подобного строительства в 2000-е годы



Рис. 8.1. Бальнеологический курорт Усть-Качка на берегу Воткинского водохранилища на р. Каме



Рис. 8.2. Купающаяся публика на водосливе из Сулакского водохранилища на р. Большой Иргиз в Саратовской области

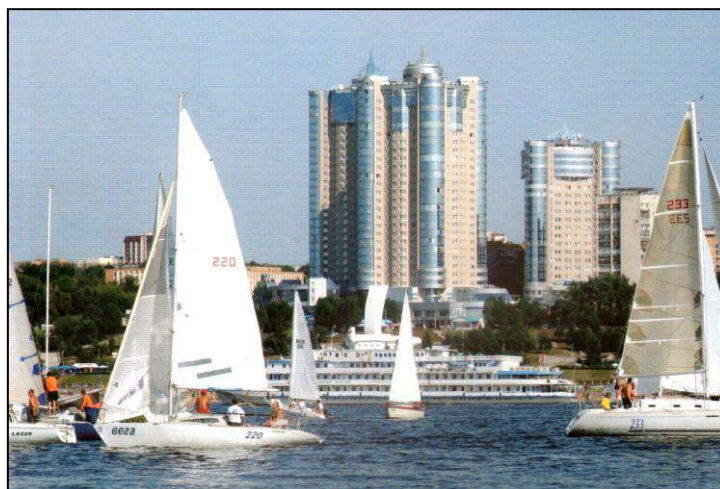


Рис. 8.3. Яхты на Саратовском водохранилище у г. Самары [552]





Рис.8.4. Быстроходный катер на Вилюйском водохранилище в Якутии.  
2011 г.



Рис. 8.5. Прогулочные суда на воздушных подушках у набережной  
г. Пlesa на Горьковском водохранилище. 2008 г.



Рис. 8.6. Рыболов-спортсмен на  
Чебоксарском  
водохранилище



Рис. 8.7. Рысенок  
в лесу [241]



Рис. 8.8. Строительство плавучего ресторана на судоремонтном заводе в г. Городце. 2008 г.



Рис. 8.9. Рыбацкая избушка на берегу обводного канала Онежского озера. 2011 г.



Рис. 8.10. Плавающий дом в канале имени Москвы: образец для продажи, судя по рекламе на крыше. 2016 г.

охватил доступные побережья многих водохранилищ России. В Европе прижилась традиция плавучих домов, особенно вдоль каналов и внутренних водных путей Франции и Нидерландов. В поисках сельского спокойствия городские жители давно обнаружили, что плавающий дом – хорошая альтернатива дачному коттеджу на выходной день. Бизнес начал приучать россиян к такому виду времяпровождения (рис. 8.10). Преимущество здесь в том, что такой дом создает лишь незначительное и легко поправимое вмешательство в природную среду [724].

Для рекреации в нашей стране используются, в основном, водохранилища комплексные, хотя имеются водохранилища и сугубо рекреационного назначения, обычно небольшие [597].

Водоохранилища рекреационного использования характеризуют рекреационным потенциалом. **Рекреационный потенциал** – это возможности той или иной территории или акватории при ее использовании для отдыха. Различные территории и акватории характеризуются различной степенью рекреационной ценности. Так, для жителей лесной зоны Европейской части России наилучшими условиями для кратковременного отдыха обладают территории с сочетанием воды и леса. На рекреационную ценность влияет также характер отдельных составляющих природной среды: климата, лесной растительности, рельефа, водоемов. Последние с точки зрения рекреационного использования разделяются так: хорошие – теплые озера, водохранилища, крупные реки с температурой воды около 16 °С в течение 2...3 летних месяцев; удовлетворительные – прохладные озера, водохранилища и реки; плохие – теплые малые реки.

Качество береговой зоны водоемов принято оценивать по пяти классам: I класс – наиболее высокий рекреационный потенциал; II класс – удобна для рекреации; III класс – можно использовать; IV класс – не рекомендуется использовать; V класс – территория для отдыха непригодна. Выделение классов проводится по комплексу критериев (табл. 8.2). Создание водохранилищ улучшает качество побережья рек благодаря формированию живописных ландшафтов.

Для оценки потенциала рекреационных зон на акватории и побережье могут быть применены нормы размеров зон (длина, ширина, площадь, глубина) на одну рекреационную единицу или нормы плотности, измеряемые количеством рекреационных единиц на единицу площади зоны рекреации (табл. 8.3). В соответствии с российскими правилами [611] нормы для пляжей составляют не менее 8 м<sup>2</sup> и береговой полосы 0,26 м на человека.

### Рекреационная бонитировка береговой зоны водоемов

Критерии	Классы				
	I	II	III	IV	V
Крутизна берега, град.	< 10	10...15	15...20	20...25	> 25
Группа леса	1	2	2	3	4
Соотношение лесных и луговых участков, %	70:30	60:40	30:70	20:80	10:90
Привлекательность пейзажа, баллы	4	3	2	2	1
Ширина пляжной зоны, м	> 50	30...50	20...30	10...20	< 10
Ширина рекреационного участка, м	> 200	100...200	50...100	50	< 50

Рекреационный потенциал должен приниматься во внимание, когда стоит вопрос об экономической эффективности создания водохранилищ.

Рекреация как водопользователь предъявляет к водным объектам **специфические требования.**

Так, при организации купания продолжительность купального сезона определяется климатическими условиями и температурным режимом водохранилища. Температура воды должна быть не ниже 17 °С, наиболее благоприятна температура 20 – 24 °С, вода с температурой 14 – 16 °С считается холодной для купания. Глубина в местах купания взрослых должна быть не более 4,0 м, детей – 1,5 м. Уклон дна не должен быть круче 1: 5, что обеспечивает полосу воды вдоль берега необходимой ширины (около 15 м). Скорость течения не должна превышать 0,5...1,0 м/с. Допустимая амплитуда колебания уровня воды в летний период при организации пляжей равна 1,5 – 2 м. Устройство пляжей на участках с возможным повышением уровня воды на 0,5 м и более в течение часа запрещается [554].

Санитарно-гигиеническое состояние акватории и побережья водохранилища должно соответствовать стандарту [173]. В первую очередь необходимо обеспечить качество воды для купания, любительского рыболовства, подводного плавания, катания на водных лыжах.

Другие виды отдыха на воде предъявляют менее жесткие требования к качеству воды, поскольку при них обычно отсутствует непосредственный контакт человека с водой. Качество воды является одним из главных лимитирующих факторов в рекреационном использовании побережья и акватории водоемов: оно должно удовлетворять требованиям санитарных норм [553].

Таблица 8.3

**Расчетные рекреационные нагрузки на природные комплексы  
в зонах кратковременного отдыха [1; 97; 597]**

Объекты отдыха	Норма площади, м <sup>2</sup> /чел	Предельная рекреационная нагрузка	
		побережье, чел./га	акватория, чел./га
Лесные массивы с преобладанием пород:			
- хвойных	3 300–10 000	1–3	–
- широколиственных	1 600–2 200	4,5–6	–
- мелколиственных	1 300–1 600	6–7,5	–
Пойменные низменные земли и луга с нормальной увлажненностью	500–1 000	10–20	–
Природные парки с реликтовыми лесами, памятниками природы, уникальной системой водоемов и т.д.	20 000–30 000	0,3–0,5	
Лесопарки с преобладанием пород:			
- хвойных	700–1 000	10–15	–
- широколиственных	500	20	–
- мелколиственных	400	25	–
Загородные парки	200–250	40–50	
Оборудованные пляжи:			
- побережье	5–8	1 250–2 000	–
- акватория проточных водоемов	5–10	–	100 000–200 000
- акватория слабопроточных водоемов	10–15	–	70 000–100 000
Водные станции, гребные базы, водно-моторные станции:			
- побережье	50	200	–
- акватория – гребные суда	2 000–3 300	–	300–500
- акватория – моторные лодки и водные лыжи	10 000–20 000	–	50–100
- акватория – парусные суда	5 000–10 000	–	100–200
Рыболовные базы:			
- побережье	50–60	–	–
- прибрежная акватория	–	–	500–1 000

На здоровье людей оказывает влияние санитарно-гигиеническое состояние донных отложений в береговой зоне. Оценка этого состояния проводится по санитарно-химическим и микробиологическим показателям.

К числу неблагоприятных условий для организации отдыха на больших водохранилищах относятся цветение воды, а также переработка берегов и изменение положения уреза вследствие сработки водохранилищ, затрудняющие подступы к воде.

**Малые реки** обычно характеризуются низкими рекреационными возможностями. Это обусловлено их небольшой глубиной и шириной. Многие виды рекреаций – водный спорт, рыболовство с лодок и пр. – на малых реках осуществляться не могут.

Создание водохранилищ на малых реках приводит к увеличению глубин в зоне подпора, длины и ширины глубоководной части. Так, средняя глубина водохранилищ, сооруженных для малой гидроэнергетики [713], превышает 2 – 3 м, площадь водной поверхности составляет не менее 0,5 км<sup>2</sup> (табл.8.4). Благодаря увеличению параметров водохранилищ по сравнению с малыми реками происходит повышение рекреационного потенциала так, что эти водохранилища могут быть использованы для широкой гаммы различных видов отдыха.

Таблица 8.4

**Обобщенная характеристика малых водохранилищ [597]**

Тип водохранилища	Средняя глубина, м	Площадь акватории, км <sup>2</sup>	Полный объем, км <sup>3</sup>
Малое мелководное	≤ 2	0,5...15,0	0,001...0,02
Малое и небольшое	2...3	до 25,0	до 0,05
Среднее	> 3	5...35	до 0,15

В качестве примера рассматривается реконструированное в 2000-е гг. водохранилище Протяжка в зоне отдыха жителей г. Сарова Нижегородской области (рис. 8.11) [589].

Рекреационная система водохранилища предназначена для повседневной сезонной эксплуатации неорганизованными отдыхающими. Она состоит из акватории водохранилища и его побережья. Акватория окружена девственным лесом. Водоохранилище не ведет регулирования стока, поэтому его уровень определяется только осадками: повышается в период половодий и паводков и остается постоянным (равным НПУ) в период межени. Площадь рекреационной системы составляет почти 50 га, в том числе 42 га – акватория, около 8 га – побережье, и соответствует нормативным требованиям [611]. Комфортным для летних видов отдыха в зоне водохранилища Протяжка является период с мая по август.



Рис. 8.11. Водохранилище Протяжка на р. Саровке в лесной зоне г. Сарова

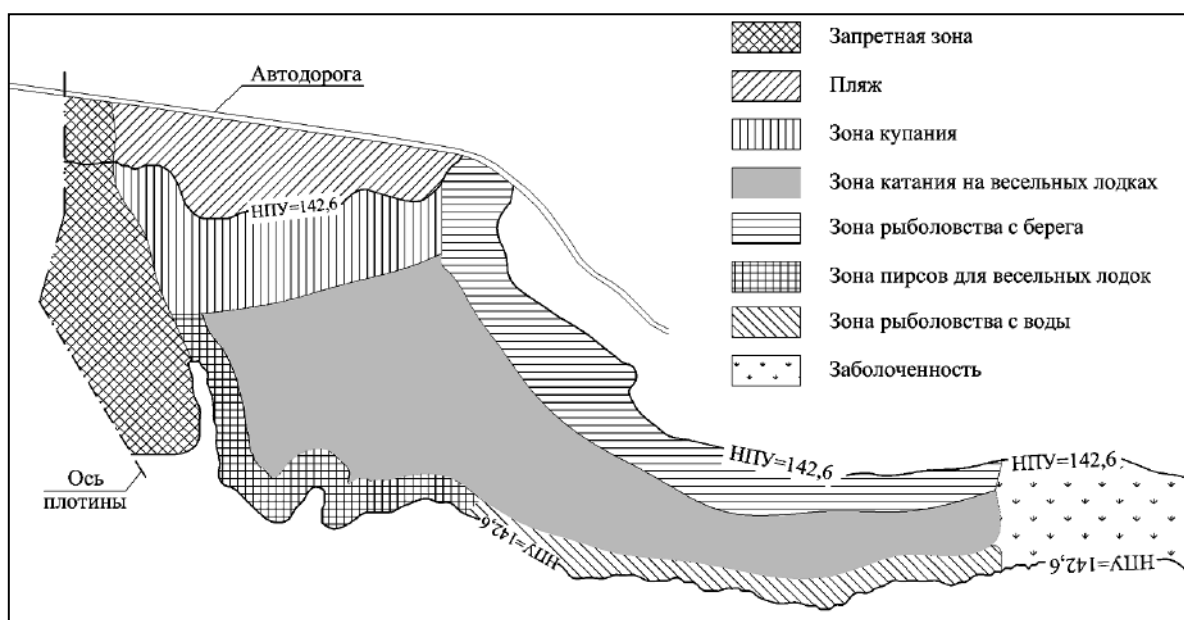


Рис. 8.12. Рекреационное зонирование водохранилища Протяжка [597]

На принципах, изложенных выше, осуществлено зонирование водохранилища и предложено следующее использование выделенных зон (рис.8.12): в комфортной береговой зоне (II–III класс) размещается пляж, западная граница которого назначена не ближе 50 м к плотине; зона пониженной комфортности (IV класс) предназначена для размещения весельных лодок у причалов; в малокомфортной зоне (V класс) целесообразно любительское рыболовство с берега; примыкающая к пляжу акватория назначена для купания, она ограничена глубиной 3,0 м; остальная акватория глубиной

более 0,75 м отведена под катание на весельных лодках; при этом вдоль берегов остается акватория, которая может использоваться для рыболовства с берега; предусмотрена запретная зона шириной до 100...150 м, примыкающая к гидротехническим сооружениям.

В табл. 8.5 приведены результаты оценки рекреационного потенциала зоны отдыха в виде количества единиц единовременного посещения.

Оцененный рекреационный потенциал водохранилища Протяжка жителями г. Сарова фактически недоиспользуется, поэтому имеется возможность увеличения количества отдыхающих без ущерба для окружающей природной среды [597].

Таблица 8.5

### Оценка рекреационного потенциала водохранилища Протяжка [597]

Зона отдыха	Размеры зоны отдыха	Норма на рекреационную единицу	Потенциал единовременного посещения
Пляж	37 100 м <sup>2</sup>	8 м <sup>2</sup> /чел.	4 637 чел.
Береговая линия пляжа	600 м	0,25 м/чел.	2 400 чел.
Акватория для купания	5,2 га	0,02 га/чел.	260 чел.
Акватория для весельных лодок	15,8 га	0,4 га/ед.	40 ед.
Побережье для весельных лодок	14 250 м <sup>2</sup>	50 м <sup>2</sup> /ед.	285 ед.
Рыболовство с берега (длина берега)	720 м	10 м/чел.	72 чел.
То же, площадь побережья	21 600 м <sup>2</sup>	60 м <sup>2</sup> /чел.	360 чел.
Рыболовство с лодок (акватория)	5 га	0,02 га/ед.	250 ед.

## 8.2. Туризм на объектах гидроэнергетики

В понятие рекреации включается **туризм** – путешествие, поездка, поход в свободное время, один из видов активного отдыха [603]. В XXI в. ожидается туристический бум: число путешествующих в мире в 2020 г. приблизится к 1,6 млрд человек. В 2008 г. Федеральное агентство по туризму разработало Стратегию развития туризма в Российской Федерации [626]. Туристская деятельность получила признание как один из перспективных развивающихся секторов экономики в нашей стране.



У туристов есть известный девиз: «Иди туда, куда глаза глядят». Глаза же глядят на красивые места и не глядят на некрасивые, от которых он тут же отворачивается и идет в другую сторону [671].

Водохранилища радуют глаз туристов-путешественников красотой своих берегов, причудливым сочетанием водного зеркала с поверхностью суши и растительным миром. Экзогенные процессы по берегам водохранилищ создают своеобразные формы рельефа. Многочисленные обнажения пород (рис.8.13), крутые уступы, небольшие пляжи весьма привлекательны в эстетическом отношении. Поэтому береговая зона водохранилищ является объектом оздоровительного, познавательного, водного и других видов туризма [211; 357]. Так, бассейн р. Волги с его богатым биоразнообразием и прекрасными местами для отдыха и туризма считается уникальным в Европе [109]. На берегах волжских водохранилищ и водохранилищ Сибири в летний период пребывают миллионы отдыхающих и туристов.

С 2000 г. наблюдается рост туристской активности на внутреннем водном транспорте (рис. 8.14). Особенно возрос спрос на услуги прогулочных теплоходов, на которых катаются более 4 млн человек в каждую навигацию [110]. Эстетическое восприятие водной глади и прибрежных ландшафтов позже положительно сказывается на производительности труда в промышленности и сельском хозяйстве. Короче становятся очереди к докторам.

Анализ статистических данных показывает: стремясь на природу люди в массе своей с большим удовлетворением воспринимают как естественный природный ландшафт, так и ландшафт с вкраплением антропогенного фактора. Об этом свидетельствует усиливающийся приток туристов на Красноярскую, Братскую ГЭС, на ГЭС Волжско-Камского каскада (рис.8.15) и др. Много желающих посмотреть, что там внутри (рис. 8.16).

Гидроэлектростанции и гидроузлы являются крупными туристскими объектами, представляют исключительные возможности для расширения туризма. Так, приливная электростанция Ранс во Франции по посещаемости стоит на втором месте после Эйфелевой башни. Примером организации туризма на объектах гидроэнергетики служит уникальная ГЭС «Три ущелья» на р. Янцзы в Китае. Район гидроузла стал крупнейшим объектом «индустриального» туризма и пользуется известностью в разных странах, его ежегодно посещают более миллиона человек, что приносит немалый доход. Организовать экскурсионное обслуживание на российских ГЭС возможно и целесообразно. Каждая ГЭС неповторима и уникальна [108].

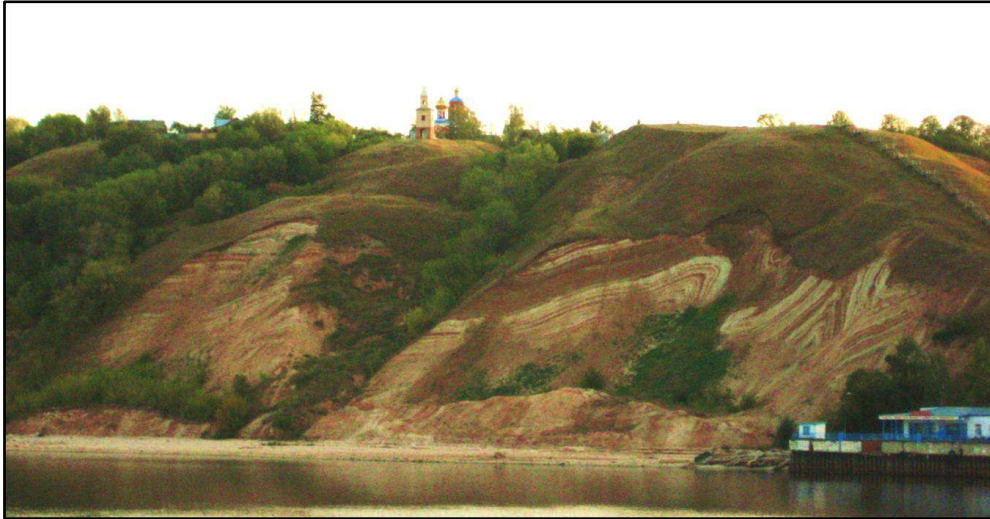


Рис. 8.13. Обнажение слоистых горных пород на правом берегу Куйбышевского водохранилища у пос. Тетюши. 2010 г.



Рис. 8.14. Теплоход «Николай Яковлев» на стоянке в туристском рейсе по Северо-Двинскому водному пути. 2011 г.



Рис. 8.15. Машинный зал Саратовской ГЭС [108]

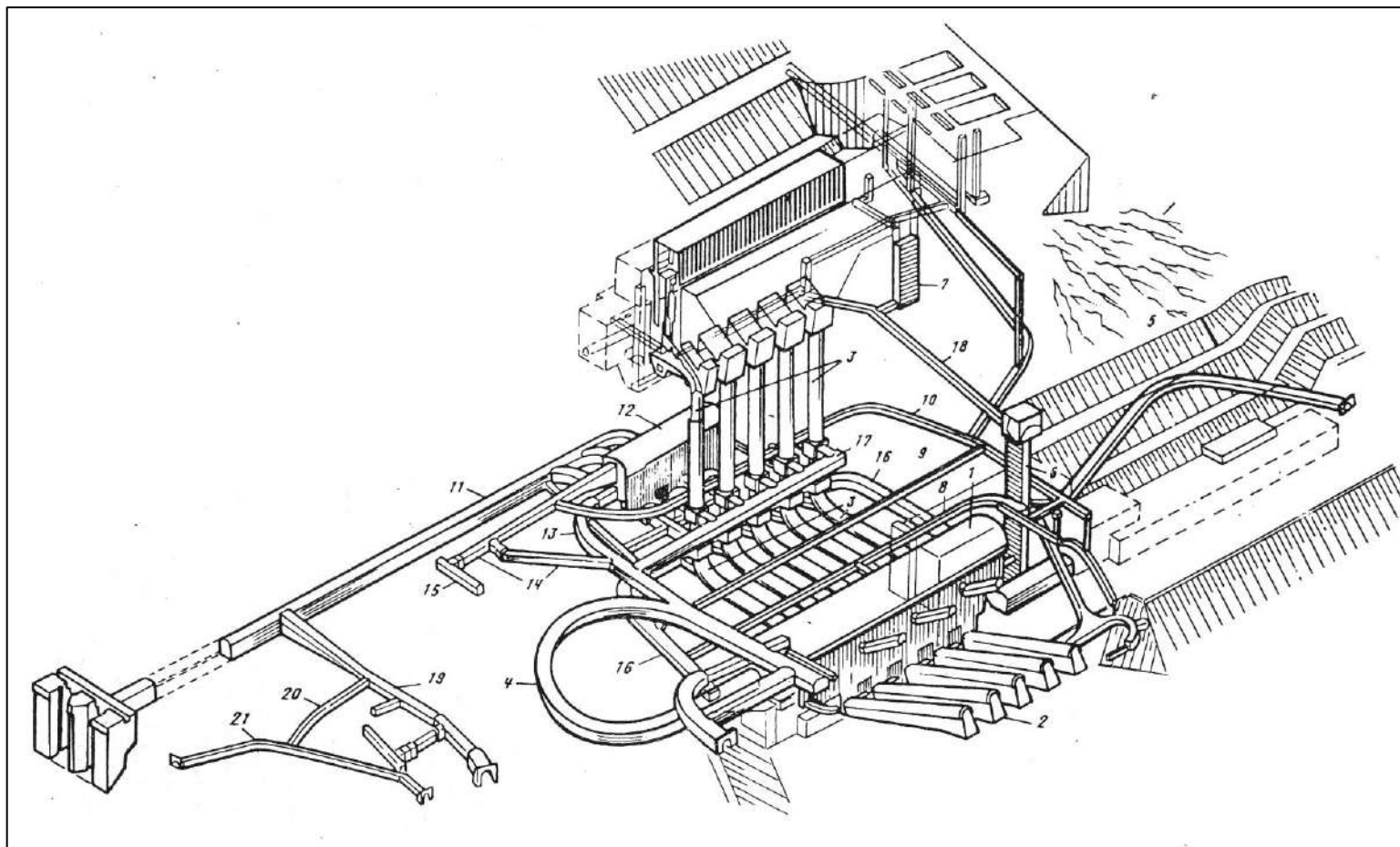


Рис. 8.16. Подземный комплекс Колымской ГЭС: 1 – машинный зал; 2 – отсасывающие трубы; 3 – напорные водоводы; 4 – транспортный туннель здания ГЭС; 5 – сливная галерея; 6 – шинные галереи; 7 – подходная выработка №8; 8 – пешеходные переходы №1,2,3; 9 – шахты лифтов №1,2,3; 10 – дренажные штольни №1,2,4; 11 – дренажные и цементационные штольни водосброса; 12 – подводящий туннель современной деривации; 13 – временные подводящие туннели; 14 – щитовое помещение; 15 – транспортный туннель щитового помещения; 16 – временные напорные водоводы; 17 – подходная выработка №1; 18 – подходная выработка №2; 19 – подходная выработка №3; 20 – строительный туннель; 21 – подходная выработка №9 [296]

## ГЛАВА 9. ДРУГИЕ ОТРАСЛИ

### 9.1. Добыча полезных ископаемых в зонах водохранилищ

ГЭС с водохранилищами – это макрообъекты, затрагивающие непосредственно или косвенно различные отрасли экономики за пределами перечисленных в главах 2 – 8.

**Промышленность нерудных строительных материалов (НСМ)** состоит из предприятий по добыче, дроблению, обогащению строительного камня, щебня, гравия, песка и т.д. По объему продукции в тоннаже она занимала 1-е место в горнодобывающей промышленности СССР [603].

В берегах рек, ввиду удобной организации транспорта, добыча строительных материалов ведется с давних пор – открытым способом (рис. 9.1) или в горных выработках (рис. 9.2). Так, бассейн р. Кубани интенсивно используется для выемки песка, гравия и гальки на пойменных участках водотоков – самой р. Кубани в ее среднем и нижнем течении, рек-притоков Белая, Пшеха, Псекупс, Афипс, Хабль и др. На р. Белой выемка руслового материала в 2000-е гг. (см. рис. 9.1) многократно превышала естественный сток наносов [550]. Добыча стройматериалов не прекратилась, но расширилась в берегах водохранилищ (рис. 9.3, 9.4).

Со дна крупных рек и больших водохранилищ добывают песок и гравий (рис. 9.5). Причем добыча из водохранилищ предпочтительнее, потому что не приводит к деформации русел и посадке уровней воды за счет понижения дна. Например, по всей длине Угличского водохранилища имеется 16 мест разрешенной добычи минерально-строительных материалов [121] (рис. 9.6). Такая добыча является прибыльным бизнесом, поэтому иногда ведется несанкционированно (рис. 9.7). Если донные карьеры располагаются в речных (более мелких) участках водохранилищ, как, например в месте слияния рек Оки и Волги у г. Нижнего Новгорода (рис. 9.8), то



Рис. 9.1. Река Белая в районе г. Белореченска: последствия работ по выемке инертных стройматериалов [550]



Рис. 9.2. Горные выработки по добыче палыгорскита у пос. Тетюши, затопленные Куйбышевским водохранилищем: палыгорскит (горное дерево) – минерал белого или серого цвета, применяющийся для тепло- и звукоизоляции в строительном деле [603]



Рис. 9.3. Камско-Устьинский рудник по добыче палыгорскита на берегу Куйбышевского водохранилища, функционирующий более 100 лет. 2018 г.



Рис. 9.4. Карьер известняка на правом берегу Саратовского водохранилища в Самарской луке у пос. Ширяево. 2018 г.



Рис. 9.5. Земснаряд на добыче гравелистого материала со дна Нижнекамского водохранилища в 70 км ниже Воткинского гидроузла. 2009 г.



Рис. 9.6. Песок, добытый со дна и разгруженный на необорудованный правый берег Угличского водохранилища вблизи гидроузла. 2016 г.



Рис. 9.7. Несанкционированная выемка песка из отмели на Камском водохранилище [418]

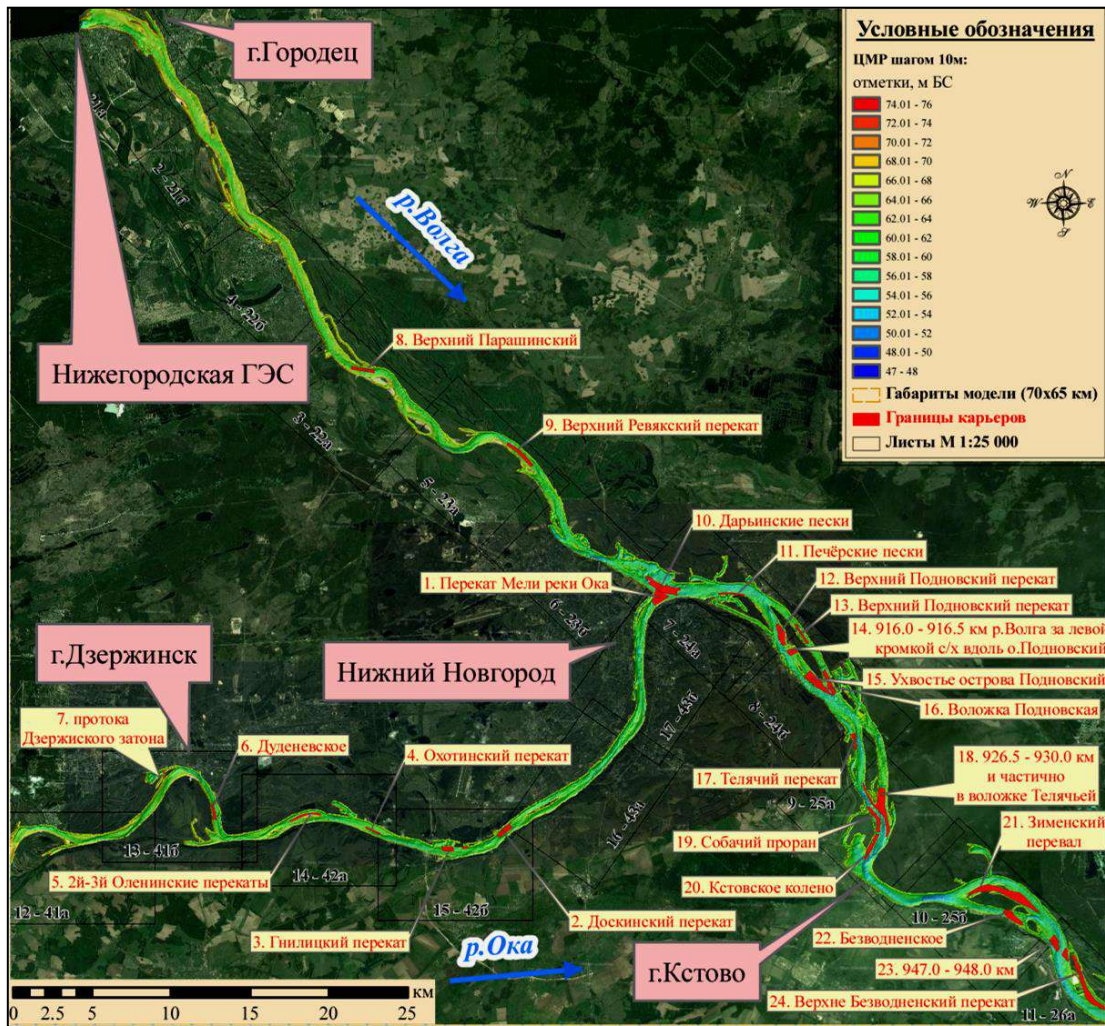


Рис. 9.8. План участков рек Волги и Оки с русловыми карьерами НСМ [564]

изменение поперечных сечений русел приводит к изменению уровня и скоростного режима течений. С целью минимизации нежелательных последствий антропогенного вмешательства, на стадии проектирования карьеров выполняется численное моделирование гидродинамических условий посредством зарубежных [354] или российских [563; 564; 565] компьютерных программ.

Подводные карьеры нерудных строительных материалов обладают преимуществом перед наземными карьерами: они не нарушают природные ландшафты. Но добыча материалов из береговых отмелей интенсифицирует процесс переформирования берегов.

**Нефтедобыча** – одна из ведущих отраслей экономики России – задела водохранилище Нижнекамской ГЭС (рис. 9.9, 9.10).



Рис. 9.9. Нефтекачалки в Республике Башкортостан на берегу Нижнекамского водохранилища [251]



Рис. 9.10. Спецплощадки нефтедобычи, связанные дамбой, на Нижнекамском водохранилище



Створ Нижнекамской ГЭС расположен в 225 км выше прежнего устья р. Камы, затопленного Куйбышевским водохранилищем, у г. Набережные Челны. Гидроузел построен в 1963 – 1988 гг. Водоохранилище, у которого проектный НПУ = 68,00 м БС, с 1982 г. эксплуатируется при ВПУ = 62,0 м БС. По данным проектной организации [380; 397] площадь зеркала водохранилища 1000 км<sup>2</sup> (при НПУ была бы 2570 км<sup>2</sup>), полный/ полезный объемы 2,8/0,0 км<sup>3</sup> (при НПУ 13,8/ 4,4 км<sup>3</sup>), оно ведет лишь суточное регулирование стока. Почему так? Нижнекамское водохранилище накрыло несколько нефтяных месторождений. Работы по добыче нефти из недр под водохранилищем включали устройство оснований островного типа (120 спецплощадок), соединяющихся безнапорными дамбами [397]. Чтоб их не затапливать водохранилище недозаполнили.

По заключении научно-технического совета РАО «ЕС России» и научного совета РАН от 2001 г.: ГЭС загружена на 30 % установленной мощности; сооруженные под НПУ = 68,0 м БС инженерные защиты сельскохозяйственных земель, нефтяных месторождений, городов, причалы, водозаборы не эксплуатируются или разрушаются и требуют все возрастающих затрат на ремонты; выведенные в 1980 г. под отметку 68,0 м сельхозземли в зоне отчуждения постепенно деградируют; при ВПУ = 62,0 м водохранилище является крайне мелководным (до 50 % площади), не имеет регулирующей емкости; наиболее приемлемым решением по выходу из сложившейся ситуации является подъем уровня водохранилища Нижнекамской ГЭС до проектной отметки НПУ = 68,0 м БС [108].

## **9.2. Возможности вовлечения в экономическую деятельность мелководий водохранилищ**

Участки водохранилищ, имеющие при стоянии уровня воды на отметке НПУ глубину 2 м и менее, относят к мелководьям. Санитарными правилами проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ [554] площадь мелководий с глубиной 2 м и менее ограничивается, она не должна превышать 15 – 20 % общей площади водохранилища.

Мелководья более свойственны водохранилищам равнин. Рис. 9.12 иллюстрирует их единообразие в направлении от севера к югу. Мелководья водохранилищ с незначительными колебаниями уровня воды мало чем отличаются от мелководий равнинных озер (рис. 9.13).



Рис. 9.12. Мелководья (сверху вниз) в озерной части Шекснинского водохранилища на р. Шексне близ устья р. Ковжи, 2007 г., в верховье Рыбинского водохранилища близ г. Мышкина, 2000-е гг. [163], на Карповском водохранилище Волго-Донского судоходного канала, 2010 г.



Рис. 9.13. Мелководное озеро Неро у г. Ростова Ярославской области:  
площадь 54,4 км<sup>2</sup>; глубина до 3,6 м



Рис. 9.14. Дикий рис у шлюза №2 Волго-Донского судоходного канала.  
2010 г.



Рис. 9.15. Кошение трав на заболоченных землях [541]

В табл. 9.1 выписаны показатели мелководий волжских и камских водохранилищ. Ряд из них имеют превышение допустимых пределов. Прецедент создают Иваньковское, Угличское, Чебоксарское при ВПУ = 63 м водохранилища на р. Волге и Нижнекамское при ВПУ = 62 м на р. Каме. При этом Иваньковское водохранилище, образованное в 1930-е гг. с площадью мелководий глубинами до 2 м 45,6 %, болеет процессами заболачивания и сплавинообразования, чему способствует исходная заболоченность района. К сожалению, уровень проектных решений тех лет не учитывал экологических и санитарных требований. Из табл. 9.1 видно, что при сохранении существующих временных подпорных уровней (ВПУ) на Чебоксарском и Нижнекамском водохранилищах, первое останется с 33,3 %, а второе с 50 % нормируемых мелководий. В то же время наполнение до предусмотренных проектами НПУ ставит их в ряд экологичных по фактору мелководности. Что касается площадей волжских и камских водохранилищ с глубинами более 3 м, то их доля по большинству водохранилищ адекватна величинам, характерным для естественных озерных равнинных водоемов [380].

Из равнинных водохранилищ Сибири наибольшие площади мелководий у Усть-Хантайского (до 20 %), Новосибирского на р. Оби (14 %), Курейского (8 %) [545].

Водоохранилища предгорных и горных местностей имеют обычно незначительные площади мелководий: так, у Красноярского и Саяно-Шушенского – от 1,4 до 5 % площади зеркала [545].

Мелководные участки являются наименее эффективными составными элементами водохранилищ. Они увеличивают потери воды на испарение и не представляют интереса для энергетики и водного транспорта ввиду их малой емкости. В некоторых случаях мелководья причиняют вред – здесь вода летом прогревается и «цветет», вследствие заболачивания создаются благоприятные условия для выплода малярийного комара, а в зимний период сработка уровня воды при дефиците растворенного кислорода приводит к заморным явлениям, нанося урон рыбному хозяйству [534]. Вместе с этим на участках мелководий в зарослях растительности развивается обильная и разнообразная фауна, создаются условия для нереста и нагула многих видов рыб, для откорма различных видов водоплавающих и болотных птиц. В пределах мелководных зон воспроизводится 85 – 90 % рыбных ресурсов водохранилищ [7].

Земли, изымаемые под затопление водохранилищами, нежелательно полностью исключать из сельскохозяйственного производства.

Таблица 9.1

## Показатели мелководий волжских и камских водохранилищ [380]

Водохранилище	НПУ или ВПУ, м БС	Объем, млн м <sup>3</sup>	Пло- щадь, км <sup>2</sup>	Площадь мелководий с нарастающим итогом при глубине						Средняя глубина, м	Максималь- ная глубина, м
				от 0 до 1 м		От 0 до 2 м		От 0 до 3 м			
				км <sup>2</sup>	%	км <sup>2</sup>	%	км <sup>2</sup>	%		
Иваньковское	124,0	1 120	327	86	26,3	149	45,6	195	59,6	3,4	19,0
Угличское	112,5	1 245	249	49	19,7	88	35,3	118	47,4	5,0	23,2
Рыбинское	102,0	25420	4 550	500	11,0	250	20,9	1400	30,8	5,6	30,4
Горьковское	84,0	8 820	1 591	211	13,3	396	24,9	561	35,3	5,5	22,0
Чебоксарское	63,0	4 550	1 110	180	16,2	370	33,3	537	48,4	4,1	24,0
	68,0	14 200	2 189	259	11,8	439	20,2	675	30,8	6,5	29,0
Куйбышевское	53,0	57 300	6 448	426	6,9	880	14,3	1331	21,6	8,9	44,0
Саратовское	28,0	12 870	1 831	170	9,3	329	18,0	493	26,9	7,0	16,0
Волгоградское	15,0	31 450	3 117	269	8,6	484	15,5	691	26,2	10,1	37,0
Камское	108,5	12 200	1 915	205	10,7	400	20,9	595	31,0	6,4	25,0
Воткинское	89,0	9 360	1 120	40	3,6	135	12,0	200	19,6	8,4	20,0
Нижнекамское	62,0	2 800	1 000	285	28,5	500	50,0	900	90,0	2,8	18,5
	68,0	13 800	2 570	230	8,9	470	18,3	720	28,0	5,4	23,5

В настоящее время мелководные участки водохранилищ почти не используются. Чаще всего они зарастают жесткой растительностью, постепенно заиливаются и еще больше мелеют, превращаясь в болота.

Между тем, значительные площади мелководий равнинных водохранилищ могли бы стать базой получения высоких урожаев кормовых трав [515; 534]. Известно, что в Европейской части России с 1 га водной поверхности можно получить больше белковой массы, чем с 1 га сельскохозяйственных угодий [96]. В 1950-х гг. институтом Гидропроект проводились опыты по разведению на мелководьях водохранилищ Волго-Донского судоходного канала кормовых болотно-водяных трав, в частности, однолетнего и многолетнего дальневосточного дикого риса. Это злаковое растение цицания водяная, образующее густые заросли из толстых стеблей, достигающих высоты 3 м. При покосе он давал с 1 га в среднем 780 ц зеленой массы с выходом из нее 350 ц сена, а также до 50 ц кормового зерна. Кроме того, заросли многолетнего риса проявили свое санитарное значение: они неблагоприятны для обитания личинок малярийного комара. В некошеных зарослях риса на мелководьях водохранилищ Волго-Донского канала летом содержалось в среднем 5 личинок малярийного комара на 1 м<sup>2</sup> водной поверхности, а в окружающих зарослях узколистого рогоза в это же время – 50 личинок комара на 1 м<sup>2</sup> [367]. Дикий рис сегодня самостоятельно растет на мелководьях водоемов ВДСК (рис. 9.14). Кстати, диетологи рекомендуют включать зерно цицании водяной в рацион для похудения в связи с низкой калорийностью продукта.

Мелководные участки водохранилищ в ряде случаев, при вложении средств на сооружение оградительных дамб и проведение мелиоративных мероприятий, могут быть эффективно использованы для создания высокоинтенсивных хозяйств по выращиванию ценных пород рыб, раков, водоплавающих птиц, нутрии и ондатры [534]. Конкретные мероприятия по использованию мелководных заливов под рыбоводно-утино-нутриевые хозяйства предлагались для камских водохранилищ. Проектом было предусмотрено отчленение заливов дамбами для предотвращения иссушения при сработке водохранилищ, регулирование в них уровня, проточности, кислородного режима. Технически вполне возможно произвести обвалование мелководных участков равнинных водохранилищ и высвободить, таким образом, для сельского хозяйства сотни тысяч гектаров пойменных земель [534]. Используя современные технологии (рис. 9.15) с них, можно получать высокие урожаи трав и сельскохозяйственных культур.

Но пока мы не научились еще умело хозяйствовать на просторах мелководий искусственных водохранилищ.

### 9.3. Транспорт воды

В главе 1 упоминались действующие в водохозяйственном комплексе России системы межбассейновых и внутрибассейновых перебросок стока (транспорта воды). Их общая протяженность около 3 тыс. км с годовым забором воды  $16,6 \text{ км}^3$ . Все системы канальные [119]. Переброски стока, как известно, имеют многовековую историю. Накопленный опыт показывает, что они в большинстве случаев оправдали возлагавшиеся на них надежды. Вопросы переброски стока рек стоят в XXI в. на повестке дня в США, Австралии, Китае и других странах. Китай в 2002 г. приступил к реализации одного из самых крупных в истории человечества водохозяйственных проектов – переброске части стока с юга из бассейна р. Янцзы на север страны. К 2050 г. объем перераспределения воды должен составить  $45 \text{ км}^3/\text{год}$  [349].

В 1960-х гг. в СССР была разработана схема переброски стока сибирских рек в Среднюю Азию (рис.9.16). Проект связывался с обеспечением водными ресурсами среднеазиатских союзных республик и Казахстана и решением проблемы Аральского моря [149; 556].

Исследование водохозяйственных балансов показывало, что в бассейне р. Оби использование стока в отдаленной перспективе не превысит  $20 \text{ км}^3/\text{год}$  (по факту в 1991 г. –  $10,66 \text{ км}^3$ , в 1997 г. –  $7,51 \text{ км}^3$  [114]), свободный сток р. Оби составит примерно  $390 \text{ км}^3$ . Использовать часть свободного стока предполагалось, зарегулировав его Нижне-Обским водохранилищем емкостью около  $60 \text{ км}^3$ . Водозабор из Нижне-Обского водохранилища намечалось осуществить в месте его выклинивания по р. Иртышу у с. Демьянского. Трасса переброски была проведена по р. Иртышу и нижнему течению р. Тобола, затем по правому берегу р. Тобола и через Тургайскую долину на юг к р. Сырдарье и на запад в сторону р. Эмбы. Протяженность перебросного канала  $2\,500 \text{ км}$  (см. рис. 9.16). На трассе 5 насосных станций. Расчетная водоподача  $190 \text{ км}^3/\text{год}$ . Показатели этой схемы переброски приведены в табл. 9.2.

Рассматривался также вариант схемы при отсутствии Нижне-Обского водохранилища с той же водоподачей при водозаборе из нижней Оби ( $50 \text{ км}^3/\text{год}$ ), верхней Оби ( $60 - 70 \text{ км}^3/\text{год}$ ) и Енисея ( $70 - 80 \text{ км}^3/\text{год}$ ) с

созданием водохранилищ Осиновской ГЭС на р. Енисее и Чулымской ГЭС на р. Оби (см. рис. 9.16). Стоимость этого варианта существенно выше, а срок осуществления на 13 лет дольше [149].

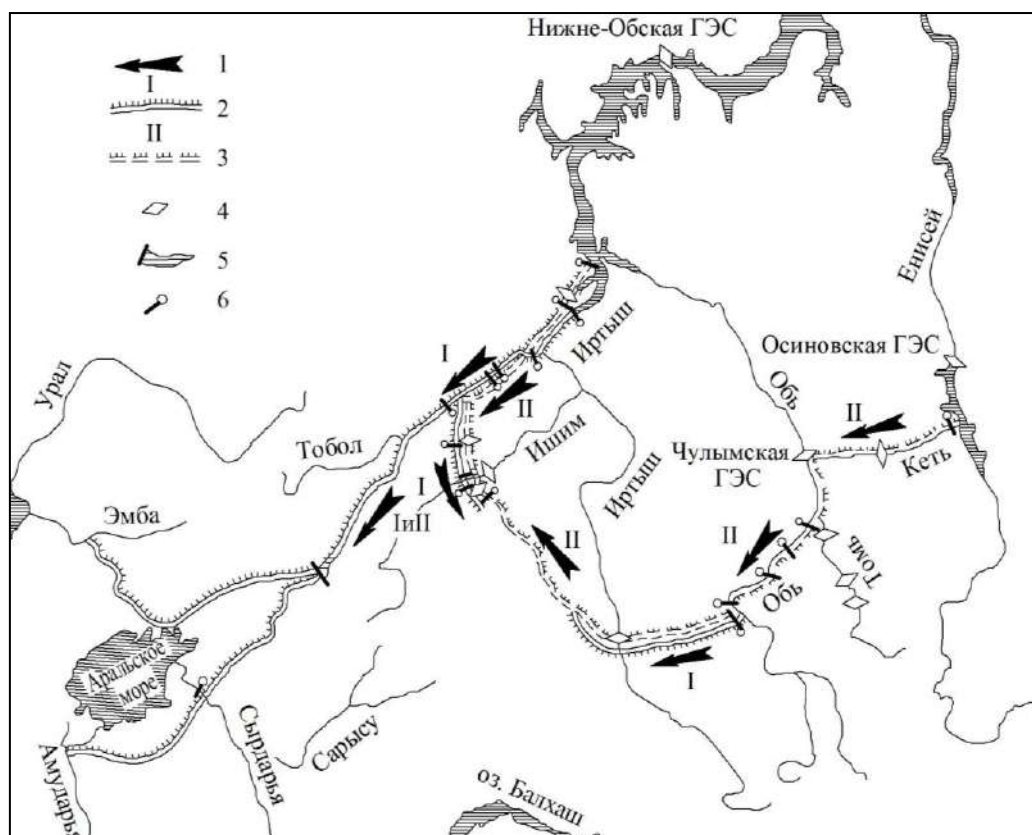


Рис. 9.16. Схема переброски части стока сибирских рек в Среднюю Азию:  
 1 – направление перебросок; 2 – переброска стока из Оби при строительстве Нижне-Обской ГЭС; 3 – переброска стока из Оби и Енисея без Нижне-Обской ГЭС;  
 4 – гидроэлектростанции; 5 – водохранилища; 6 – гидроузлы с насосными станциями [149]

Таблица 9.2

**Показатели схемы переброски части стока р. Оби в Среднюю Азию [149]**

Этап строительства	I этап	Полное осуществление схемы
Орошаемые площади, млн га	8	33
Объем водозабора, км <sup>3</sup>	50	190
Мощность насосных станций, МВт	2 500	9 400
Объемы работ, млн м <sup>3</sup> : земляных бетонных	6 800 4	20 000 12
Удельные капиталовложения на 1 км <sup>3</sup> перебрасываемого стока, млн руб. (в ценах 1960-х гг.)	120	100
Срок строительства, лет	11	26

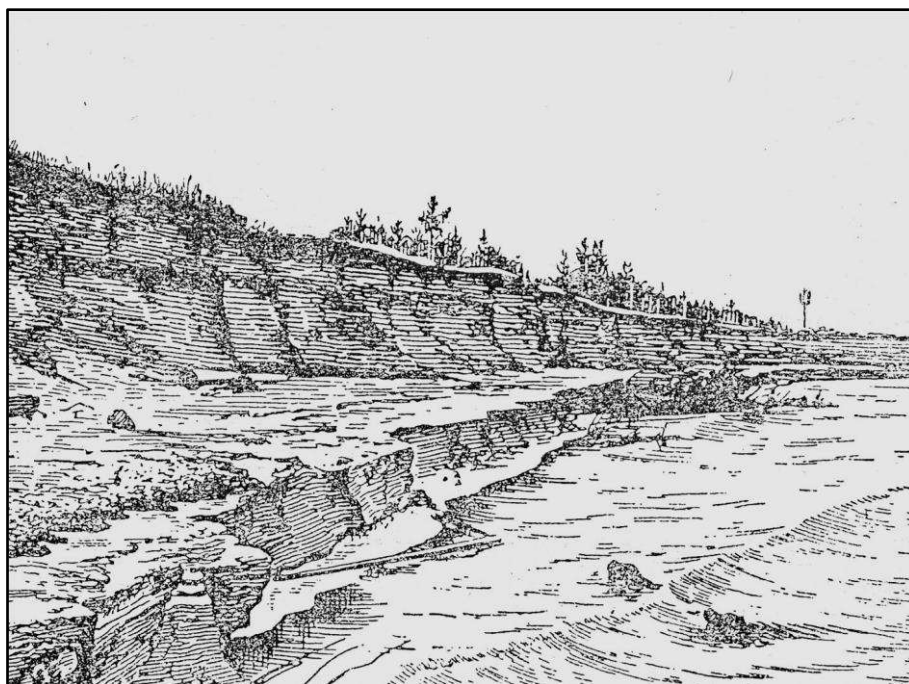


Проект был отклонен в 1986 г. Постановлением ЦК КПСС и Совета министров СССР из-за непомерно больших затрат и недостаточной проработки экологических вопросов. Как выразился в 2003 г. известный профессор-физик С. П. Капица, «проект сибирской переброски стока в Среднюю Азию был зарублен эмоциями народившегося зеленого движения» [349].

Ввиду обостряющегося водного дефицита во многих районах мира в последнее время обращается внимание на возможности использования водных ресурсов в экспортных целях. Например, в США такой подход считается перспективным и его рассматривают как новую индустрию XXI века. В этой связи появились предложения реанимировать проект 1960-х гг. для трансграничной переброски части стока р. Оби на обеспечение потребности в воде экономик зарубежных стран [93; 117; 535]. На первом этапе предлагается осуществить забор воды из р. Иртыша у г. Тобольска в объеме около 4 км<sup>3</sup>/год, из которых примерно 3 км<sup>3</sup> должны пойти на решение внутренних проблем водообеспечения Тюменской, Курганской, Челябинской и Оренбургской областей, а оставшийся 1 км<sup>3</sup> воды – на продажу в Казахстан. Водная трасса по правому берегу р. Тобола до границы с Казахстаном требуется протяженностью 506 км. На втором этапе намечен забор воды из р. Оби в объеме 27 км<sup>3</sup>/год для продажи в среднеазиатские страны. Строительство предлагается осуществлять на новой технологической и технической основе с транспортом воды по трубопроводам, а финансирование – путем создания международного консорциума с долевым участием заинтересованных в проекте организаций и частных инвесторов [535]. Стоимость мероприятий для переброски стока по обобщенным данным ГГИ колеблется в пределах от 100 до 800 млн долларов на 1 км<sup>3</sup> перебрасываемой воды [117].

В результате Россия к своей экономике, ориентированной на экспорт энергоносителей и сырья, подключит еще один экспортный поток – водный. Остается понять кому нужна в Средней Азии эта дорогая вода и кто из современных потребителей будет за нее платить [535].

## ЧАСТЬ 2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ



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 10. ВОДОХРАНИЛИЩА КАК ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ

**Водохранилищами** называют искусственно созданные водоемы с замедленным водообменном полным объемом более 1 млн м<sup>3</sup>. Водоемы меньшего объема называют **прудами**. Такое определение принято в России и большинстве стран Западной Европы. В США к водохранилищам относят водоемы с полезным объемом более 6 млн м<sup>3</sup>, уровень которых регулируется работой гидротехнических сооружений [515].

В соответствии со своим назначением – регулированием стока – водохранилища аккумулируют сток в одни периоды времени и отдают накопленную воду в другие. Процесс аккумулирования стока – это **наполнение водохранилища**, а процесс отдачи накопленной воды – **сработка водохранилища**.

Естественные и искусственные емкости, в которых аккумулируется вода, называют **чашами водохранилищ**. Водохранилище имеет **ложе** (дно), **основание** и **берега**.

На рис.10.1 представлена схема долинного водохранилища, образованного путем подпора реки плотиной гидроузла. Водохранилище, расположенное по течению реки выше плотины, считается **верхним бьефом**, участок реки ниже плотины – **нижним бьефом** гидроузла.

**Уровень воды** – высота поверхности воды над условной плоскостью сравнения. В России абсолютные отметки точек земной поверхности, дна акваторий, уровней воды исчисляются в Балтийской системе высот (БС) от нуля Кронштадтского футштока (0,00 м БС).

Для плотинного долинного водохранилища характерны следующие уровни воды:

– нормальный подпорный уровень (НПУ) – высший проектный уровень водохранилища, поддерживаемый в нормальных эксплуатационных условиях;

– уровень мертвого объема (УМО) – минимальный уровень водохранилища, до которого возможна его сработка;

- форсированный подпорный уровень (ФПУ) – уровень, превышающий НПУ и допускаемый в период половодья редкой повторяемости для кратковременного увеличения аккумулирующей емкости водохранилища;
- уровень навигационной сработки (УНС) – уровень между НПУ и УМО, которым ограничивается сработка водохранилища в период навигации.

Уровень водохранилища по его длине неодинаков. Если в приплотинной части он соответствует, например, НПУ, то по мере удаления в среднюю и верхнюю части водохранилища несколько повышается. Линия свободной поверхности воды на продольном профиле водохранилища представляет собой динамическую кривую подпора (см. рис. 10.1)

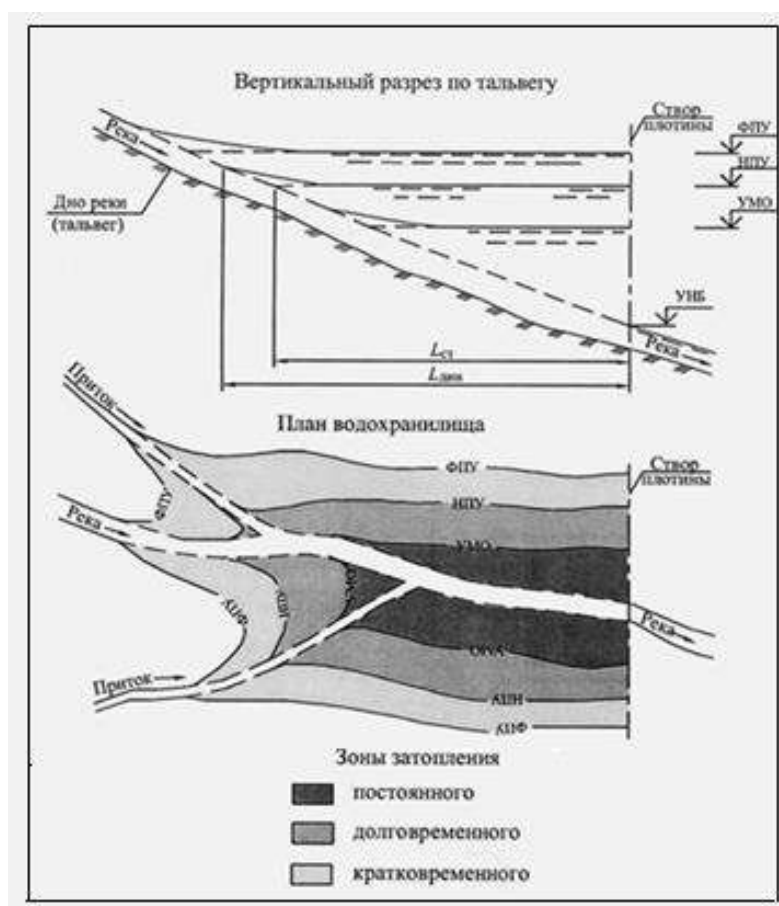


Рис. 10.1 Схема плотинного долинного водохранилища

Важными характеристиками водохранилища являются его **морфометрические параметры**.

Длина – расстояние от плотины до места выклинивания подпора на основной реке.

Ширина наибольшая и средняя. Средняя ширина определяется как частное от деления площади водной поверхности на длину водохранилища.

Длина (протяженность) береговой линии. Измеряется по урезу воды на правом и левом берегах от плотины до мест выклинивания подпора на основной реке и притоках.

Глубина наибольшая и средняя. Средняя глубина определяется как частное от деления объема воды на площадь водной поверхности.

Площадь водной поверхности, называемая площадью зеркала.

Перечисленные выше параметры даются при НПУ.

Объемы водохранилища: полезный (между НПУ и УМО); мертвый (ниже УМО); полный (сумма полезного и мертвого объемов); резервный (между ФПУ и НПУ).

По морфометрическим параметрам российские водохранилища классифицируют на очень большие, большие, средние и малые (табл. 10.1).

Таблица 10.1

**Классификация водохранилищ по морфометрическим признакам**  
[174]

Площадь водной поверхности		Полный объем		Максимальная глубина	
Категория	Значение, км <sup>2</sup>	Категория	Значение, км <sup>3</sup>	Категория	Значение, м
Очень большое	> 1000	Очень большое	> 10	Большое	> 50
Большое	101...1000	Большое	1,1...10,0	Среднее	11...50
Среднее	10...100	Среднее	0,5...1,0	Малое	5...10
Малое	< 10	Малое	< 0,5	Очень малое	< 5

Нами предложена еще классификация водохранилищ по сложности плановой конфигурации (табл. 10.2). Критерием взят коэффициент плановой формы  $K_F = L/\sqrt{F}$ , где  $L$  – длина береговой линии,  $F$  – площадь водного зеркала [601].

Таблица 10.2

**Классификация водохранилищ по сложности плановой конфигурации** [601]

Категория	Коэффициент формы $K_F$
Очень сложная	более 40
Сложная	от 40 до 20
Средней сложности	от 19 до 10
Простая	менее 10

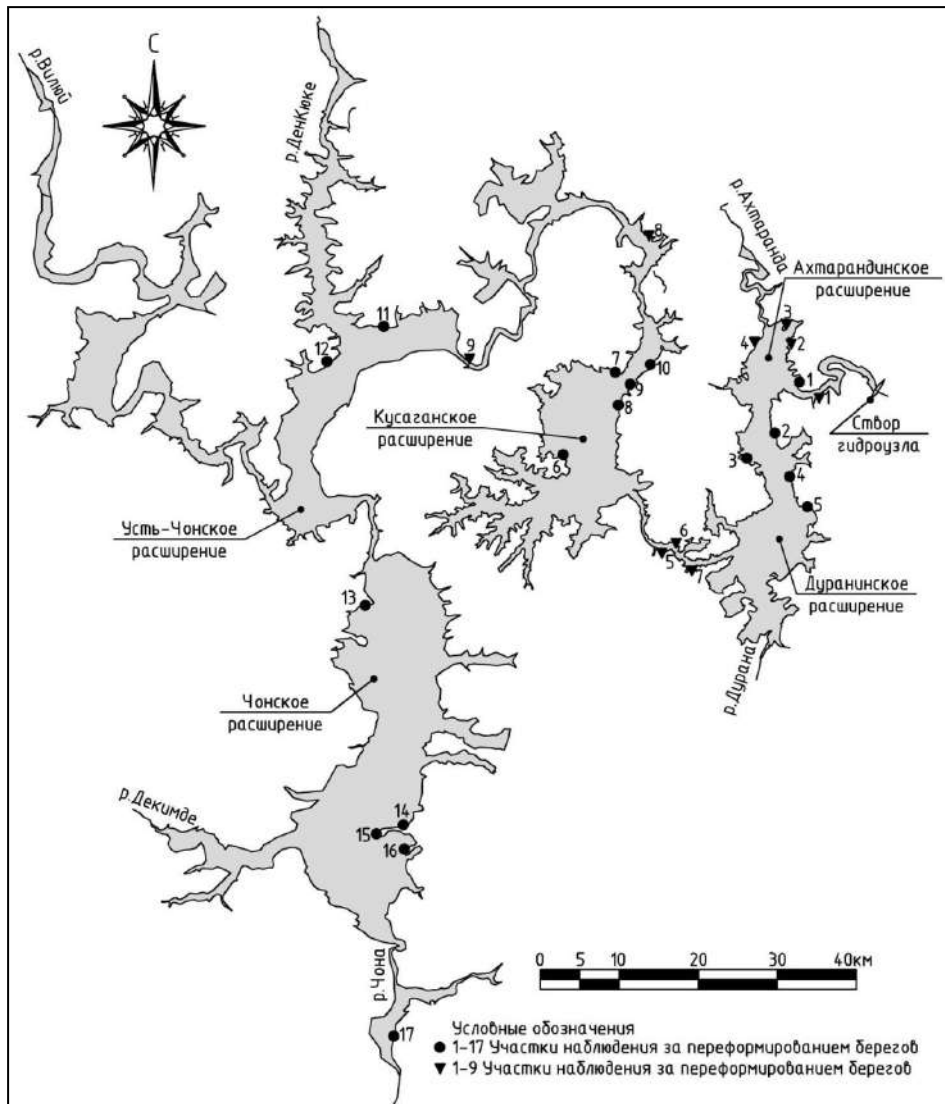


Рис. 10.2. Схема Вилойского водохранилища на р. Вилуе [277; 587; 602]

Для примера охарактеризуем проектными данными Вилойское водохранилище на р. Вилуе (рис. 10.2), левом притоке р. Лены, имеющее сложное линейно-вытянутое очертание в виде чередования озеровидных расширений, приуроченных к долинам наиболее крупных притоков [90; 277; 587; 602; 699]:

год заполнения	1967;
НПУ	244,0 м БС;
УМО	236,0 м БС;
длина	470 км;
ширина наибольшая	15 км;
глубина: наибольшая	75 м;
средняя	16 м;
площадь зеркала	2170 км <sup>2</sup> ;
объем полный	35,88 км <sup>3</sup> ;

длина береговой линии	2750 км;
коэффициент плановой формы	58,28;
категория по морфометрическим признакам	очень большое;
категория по конфигурации в плане	очень сложная.

В России наибольшие из водохранилищ (рис.10.3):  
по объему – Братское на р. Ангаре (169,3 км<sup>3</sup>);  
по площади – Куйбышевское на р. Волге (6450 км<sup>2</sup>);  
по глубине – Чиркейское на р. Сулаке в Дагестане (300 м).

Следует иметь в виду, что значения морфометрических параметров конкретного водохранилища с течением времени его эксплуатации могут изменяться вследствие переформирования его чаши.

В настоящее время основной электронной платформой с информацией по водным объектам России является Федеральный информационный портал «Вода России» [734]. Разработанная в Северо-Кавказском филиале РосНИИВХ автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [10] и созданные в Государственном гидрологическом институте (ГГИ) базы данных HIDROLARE [38] и «Озера Земли» [257] предоставляют общие данные о водных объектах, морфометрических параметрах, водоохраных зонах, измеренных уровнях воды, температуре воды, толщине льда озер и водохранилищ, состоянии водохозяйственных систем.

Строительством гидроузлов с водохранилищами на реках нарушаются складывавшиеся веками естественные природные условия.

В нашей стране значительное число крупных энергетических гидроузлов с водохранилищами было создано в необжитых прежде местах, и они явились пионерными техническими объектами регионов. Например, сооружение Братской и Красноярской ГЭС привело к созданию в районах их влияния алюминиевой, машиностроительной, целлюлозной, лесной, горно-обогатительной и другой промышленности. Здесь значительно возросла численность населения. Это привело к развитию транспортной сети и созданию сельскохозяйственных объектов более высокого уровня, чем до строительства ГЭС. Очевиден вывод: крупные гидроузлы оказывают воздействие на природу как непосредственно, так и косвенно – через производственные объекты порожденные ими и вследствие преобразования инфраструктуры регионов, воздействующей на природную среду [96].



Собственно гидроузлы оказывают несущественное воздействие на природу. Если удастся построить плотину в гармонии с окружающей природной средой, то образуется своеобразный ансамбль, который придает новую ценность красоте естественного пейзажа, а по эстетическому восприятию не уступает произведению искусства.

Хорошо запроектированное сооружение создает впечатление простоты и уверенности в его надежности. Важно, чтобы при включении в окружающую обстановку не выделялось ни само сооружение, ни то, для чего оно предназначено. При этом не должен нарушаться окружающий ландшафт и сооружение не должно с ним дисгармонизировать. Оно должно создавать впечатление, что всегда здесь находилось и что это самое подходящее для него место.

В художественном отношении гидроузлы являются образцами величественных монументальных сооружений, с которыми не могут сравниться другие технические достижения. Такое объясняется местоположением гидроузлов и их особым функциональным характером. Всеобщей известностью пользуются многие сооружения отечественного гидростроительства. Как композиционные центры урбанизированных ландшафтов, выделяются, например, Куйбышевский и Волгоградский гидроузлы на р. Волге. Органично вписываются в природные ландшафты бетонные плотины Красноярской и Саяно-Шушенской ГЭС на р. Енисее, Братской и Усть-Илимской ГЭС на р. Ангаре, Зейской ГЭС на р. Зее. Высокую оценку эстетического восприятия заслуженно получила арочная плотина Чиркейской ГЭС на р. Сулаке. Плотины из грунтовых материалов по прошествии времени воспринимаются как неотъемлемая часть природного ландшафта [96] (рис. 10.4). В Интернете можно полюбоваться видами многих гидроузлов на реках России [168].

Наибольшие возмущения в природную среду, взаимодействуя с ней, вносят вновь созданные водохранилища. Природная среда претерпевает разнообразные изменения в силу многогранности воздействия водохранилищ, особенностей их показателей и динамики развивающихся процессов.

Среди антропогенных изменений можно различать детерминированные (определенные) и стохастические (случайные). На рис. 10.5 отображена схема антропогенных детерминированных изменений в природной среде, вызываемых созданием и эксплуатацией водохранилищ [99; 122; 587].

Прежде всего изменяется природа самих водных объектов.



Рис. 10.3. Наибольшие водохранилища России, сверху вниз: Братское – по объему; Куйбышевское – по площади (на снимке – наиболее широкая часть в районе слияния рек Волги и Камы, плавучий знак обозначает бывшее камское устье); Чиркейское – по глубине

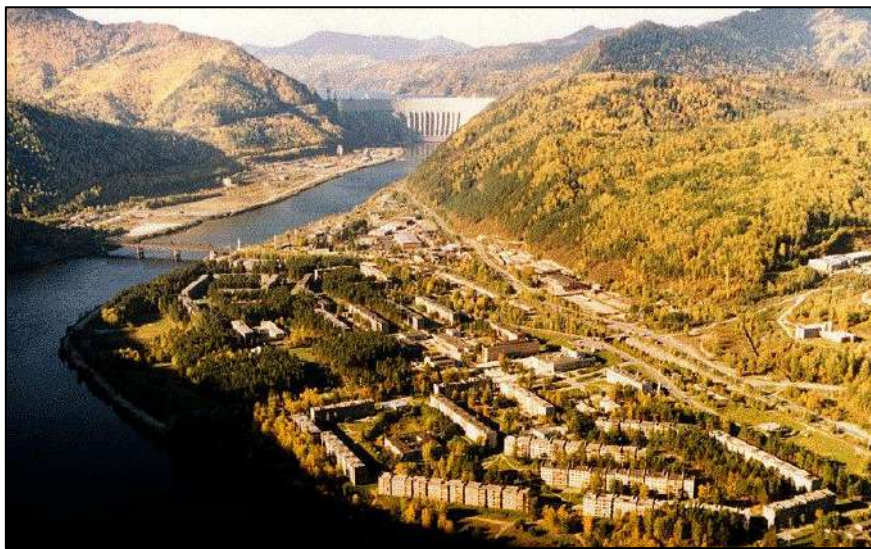


Рис. 10.4. Здание Жигулевской (Куйбышевской) ГЭС, плотина Саяно-Шушенской ГЭС, Колымский гидроузел (сверху вниз), искусно встроенные в природный ландшафт

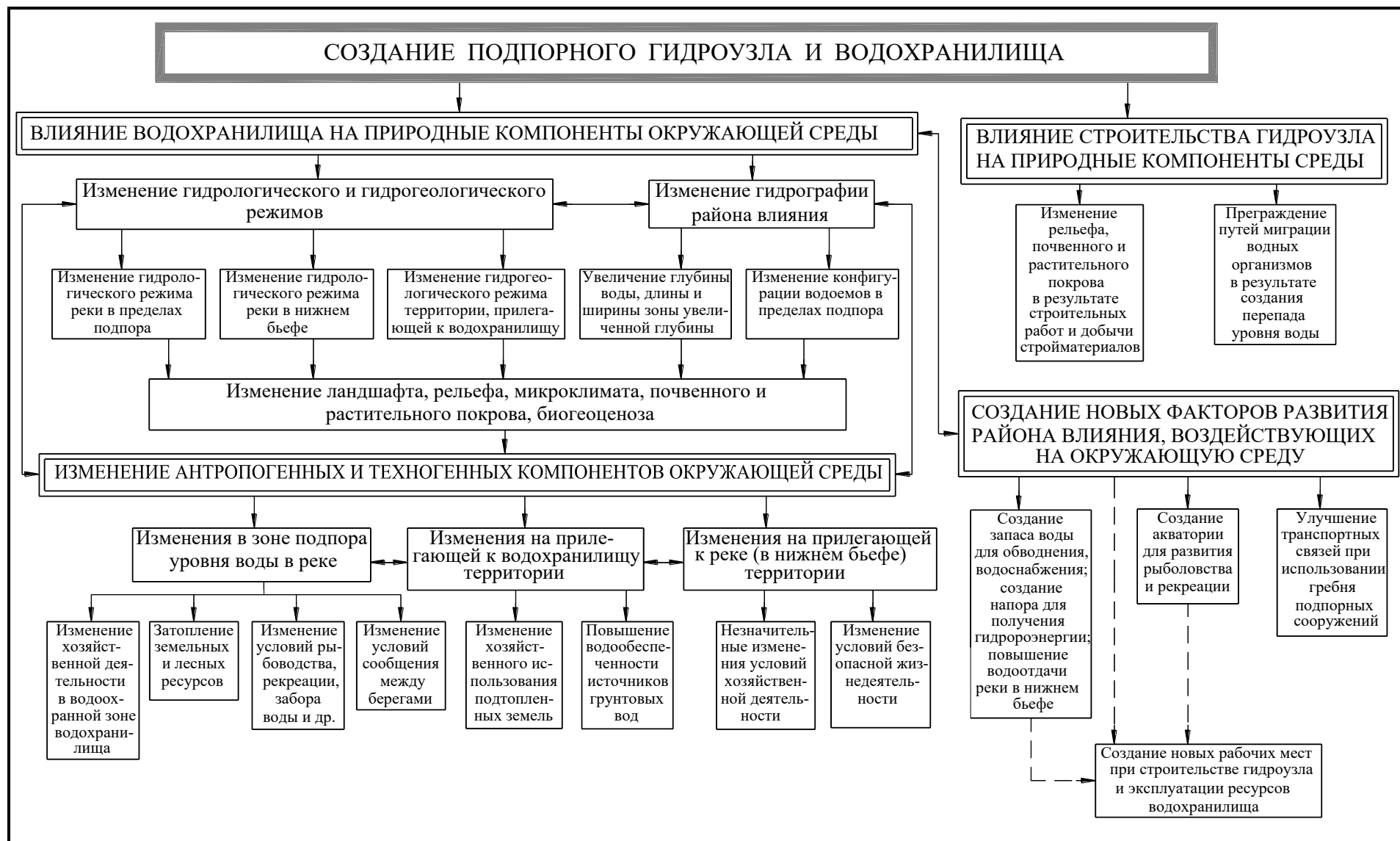


Рис. 10.5 Схема взаимодействия гидроузла и водохранилища с окружающей средой [596]

Образованное на месте участка реки водохранилище получает существенно иные морфометрические параметры – ширину и площадь водного зеркала, глубину и объем и пр. Прямое следствие этих изменений – образование зон затопления, зон переформирования берегов, приводящее к нарушению прежнего состояния территории.

Аккумуляция и регулирование стока водохранилищами значительно преобразует естественный гидрологический режим рек, что влечет изменения многих природных процессов. Наибольшее влияние на гидрологический режим рек оказывают водохранилища многолетнего и сезонного регулирования. Эксплуатация этих водохранилищ носит, как правило, комплексный характер, обусловлена участием целого ряда отраслей экономики (см. Часть 1). Интересы разных отраслей, зачастую противоречивые, находят разрешение в искусственном регулировании гидрологического режима водохранилищ, что существенно отличает последние от естественных природных водоемов.

Замедление течений, сокращение водообмена приводит к изменению гидрохимического режима водохранилищ по сравнению с реками.

Влияние водохранилищ ощущают прилегающие территории.

Изменение гидрологического режима при наполнении водохранилищ сопровождается изменением гидрогеологических условий – повышением уровней подземных вод, увеличением водоносности подземных горизонтов.

Сосредоточение в водохранилищах масс воды с постоянной положительной температурой приводит к изменению геокриологических условий долин рек – деградации мерзлой толщи под водохранилищами, повышению ее температуры в берегах. Это касается водохранилищ, расположенных в области вечной мерзлоты.

Вследствие переформирования берегов, размыва островов, отложения наносов, всплытия затопленных торфяников изменяется геологическое строение котловин, занятых водохранилищами.

Вблизи больших водохранилищ могут изменяться геотектонические условия, что выражается в проявлениях локальной сейсмичности. По мнению некоторых специалистов от возбужденных землетрясений не гарантирован ни один из высоконапорных гидроузлов и очень желательно научиться заблаговременно предсказывать их появление.

Большие водохранилища оказывают влияние на местный климат прилегающих территорий.

В специальной литературе освещаются изменения биологических

условий после создания водохранилищ, причем это касается как самих водоемов, так и их окрестностей.

Строительство гидроузлов с водохранилищами в целом отрицательно влияет на природу, как отрицательно влияет на нее любая деятельность человека: добыча полезных ископаемых, промышленное строительство, прокладка дорог, ловля рыб на удочку. Однако ничего лучшего и более действенного в части инженерно-технического управления водными ресурсами речного стока пока не придумано. Люди строят гидротехнические сооружения и водохранилища чтобы целенаправленно приспособить силы природы для своего блага [112]. Размеры влияния на разные стороны природной среды для каждого конкретного водохранилища различны. При этом, практически ни одно из множества построенных водохранилищ не показало несовместимости с природной средой и не привело к последствиям, угрожающим жизни людей и природных комплексов [296].

Водоохранилища, в свою очередь, испытывают негативное влияние современной урбанизированной окружающей среды. Они подвергаются воздействию неочищенных стоков с территорий городов и с полей, судоходства, нарушений водоохраных зон и др. Поэтому современная научно-техническая мысль существенно направлена как на минимизацию нежелательных последствий от создания водохранилищ, так и на устранение негативного давления на них.

Процессы, протекающие как в самих водохранилищах, так и в зонах их влияния, далеко не всеми расцениваются однозначно. Восприятие людьми окружающей действительности всегда подчинялось определенным факторам, одним из которых являются средства массовой коммуникации, структурирующие социальную реальность. Людей интересуют не факты, а образы. Какую информацию транслируют на их сознание, такие образы они и имеют. На высоком собрании господин с ученой степенью, выступая с докладом по Арктике иллюстрировал его фотографиями пингвинов, вызывая тревожное выражение на лицах присутствовавших европейских профессоров, китайских экономистов и российских знатоков Севера. Чего ждать от обладателей аттестата средней школы, откалиброванных ЕГЭ, из которых не каждый знает куда впадает р. Волга. Хотя, конечно, ошибочную устную фразу всегда можно оправдать торопливостью речи. Существует теория сплетен, которая может показаться шуткой, однако многочисленные исследования ее поддерживают. Сплетники являются предками четвертой власти – журналистов [686].

Благом цивилизации бесспорно считается автомобиль. Этот рукотворный убийца, обеспечивающий более 1 млн смертей в год по всему миру, менее чем за 50 лет бесповоротно вышел из той области, где общество еще могло отказаться от принятой им опасной технологии, как было, например, с дирижаблями [138].

Для езды на автомобилях прокладывают автомобильные дороги. Автодорога как комплекс инженерных сооружений нарушает ход естественных природных процессов. Ее воздействие на среду многообразно и негативно [427]. Возьмем конкретный пример. В сентябре 1929 г. по новой автотрассе от станции Большой Невер Амурской железной дороги до пос. Алдан, центра золотодобычи в южной Якутии, прошла первая легковая автомашина. Хотя на обратном пути ее колеса в знак протеста изрубили топорами подрядчики гужевого транспорта, этот неприглядный акт не смог повлиять на развитие автоперевозок. С тех пор и по сей день Амуро-Якутская автодорожная магистраль (АЯМ) играет важную роль в жизни населения и экономики Алданского, Тимптонского (ныне Нерюнгринского) и других улусов Якутии. Вместе с этим дорога вызвала подпруживание подземных и поверхностных вод, наледообразование, развитие термокарста, деградацию вечной мерзлоты, создала полосу загрязнения шириной 100 – 150 м (свалки, пыль, продукты сгорания углеводородов), определила напряженную шумовую ситуацию, послужила барьером для миграции некоторых видов животных. Вдоль дороги началась массовая рубка леса на дрова и для строительства, увеличилась пожароопасность. Вблизи магистрали исчезли рыба, пушной зверь, копытные животные. Возникла линейно вытянутая зона нарушений длиной около 800 км с экологически неблагоприятной обстановкой [13]. Почему-то почти все с легкостью воспринимают нарушение природного экологического равновесия при прокладке дорог, но многие противятся его практическому сохранению при создании водохранилищ.

Российским гидротехникам приписывали экологические катастрофы, какой в 1970-е гг. считалось, например, обмеление Каспийского моря, связывавшееся с зарегулированием р. Волги. Однако время показало, что человек бессилён повелевать природой в таких масштабах: без его участия уровень Каспийского моря с 1978 г. стал подниматься и это вызвало осложнения в хозяйственной деятельности на побережье, а с 1995 г. по 2015 г. вновь было отмечено понижение уровня (рис. 10.6) [116]. В отличие от законов, созданных людьми, законы природы нарушить нельзя, вот почему они такие могущественные [690].



Рис. 10.6. Ход среднегодового уровня Каспийского моря у г. Махачкалы в XX и начале XXI вв. Уровень приведен относительно нуля моря, равного – 28,00 м БС [47; 49; 116; 420; 695]

Моделирование изменений уровня Каспия до 2030 г., несмотря на неопределенности, связанные с отсутствием надежных прогнозов климата и с невозможностью однозначной оценки на перспективу водопотребления в бассейне, показало, что наиболее вероятное положение уровня к 2030 г. будет находиться в пределах отметок –27,8...–28,5 м БС [49; 50; 601].

Водохранилища, это природно-техногенные водные объекты. При проектировании, строительстве, и мониторинге водохранилищ необходимо наблюдать, изучать, прогнозировать изменения природной среды, применяя комплексный подход, рассматривая явление водохранилища во всем многообразии его взаимодействия с природой, выявляя воздействие объекта на все компоненты природного комплекса: воду, воздух, климат, ландшафт, флору, фауну, человека и культурные ценности, по возможности минимизируя эти воздействия и защищая сами водохранилища от негативного влияния урбанизированной окружающей среды

Далее мы пофакторно рассмотрим обозначенную проблему.



# ГЛАВА 11. ЗАТОПЛЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ ВОДОХРАНИЛИЩАМИ

## 11.1. Морфологические и морфометрические особенности чаш водохранилищ

Подсчитанная общая длина гидротехнически преобразованных участков на 203 реках при сооружении 315 наибольших водохранилищ России составляет 36,5 тыс. км. Это близко к 3 % общей протяженности рек длиной от 10 км. Наибольшее число с преобразованных участков долин принадлежит бассейнам рек Волги, Невы, Енисея, Тобола и Дона [112].

Водоохранилища создаются в самых разных геоморфологических условиях. Чаще всего это сложные по конфигурации водоемы, имеющие как общие, так и индивидуальные черты.

Конфигурация Рыбинского водохранилища на р. Волге (рис. 11.1) определилась основными формами рельефа Молого-Шекснинской низины, которую оно затопило. Водоохранилище вытянуто с северо-запада на юго-восток. Изрезанность берегов незначительна. Протяженность береговой линии 2 150 км. По расположению глубин и морфологическим особенностям ложа водохранилища подразделяется на 4 основных плеса – Волжский, Моложский, Шекснинский и Главный. Средняя глубина 5,6 м. Глубины от 0 до 2 м занимают примерно 21 % площади водохранилища, свыше половины площади занимают глубины до 6 м, 27,1 % площади занято глубинами свыше 8 м. Распределение больших глубин в водохранилище связано с расположением русел рек: по руслу р. Волги глубины колеблются от 11 до 23 м, а по руслам рек Мологи и Шексны – от 11 до 30,4 м (см. рис. 11.1). Площадь акватории Рыбинского водохранилища при НПУ=102,0 м БС равна 4550 км<sup>2</sup>, в отдельные годы при зимней сработке уменьшается почти наполовину (рис. 11.2). Естественно, что при этом меняются и все другие морфометрические характеристики водоема [92; 462].

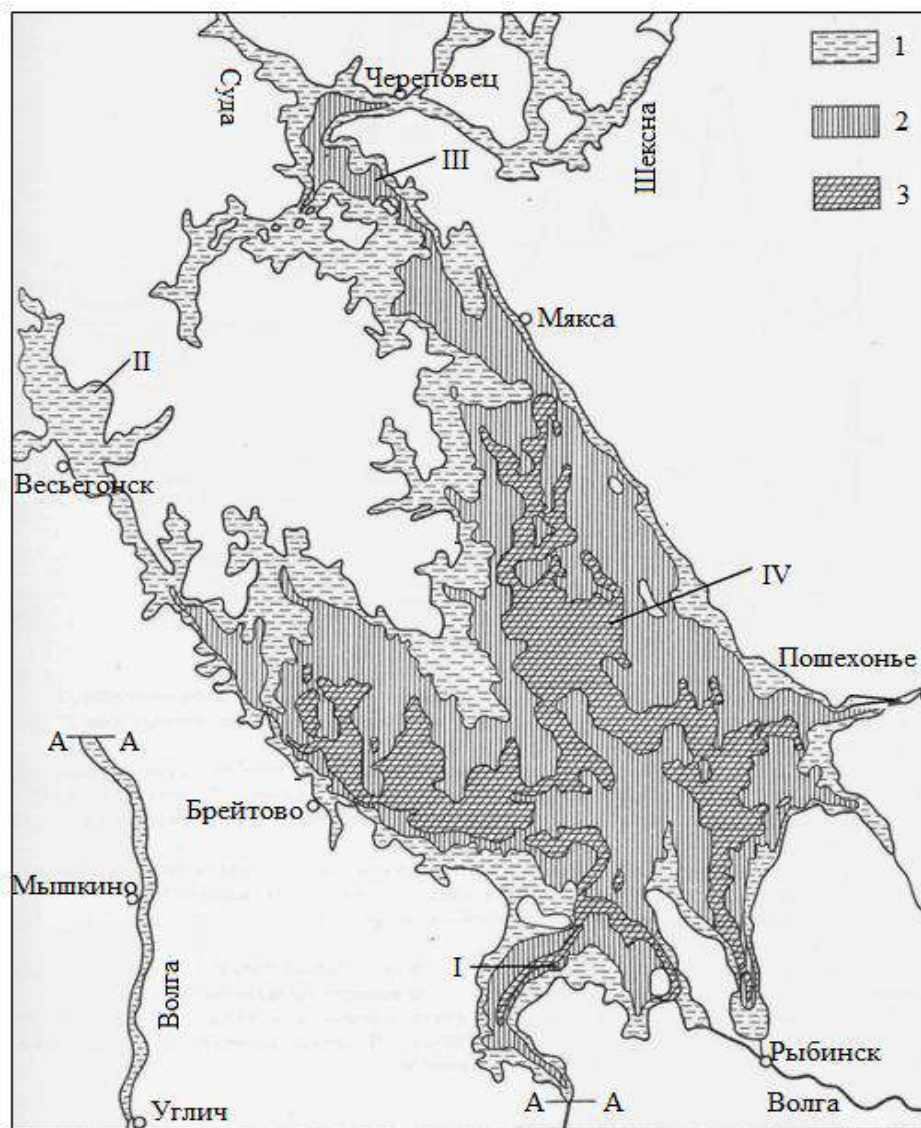


Рис. 11.1. Схема глубинных зон Рыбинского водохранилища (проектные данные). Глубины при НПУ: 1 – 0...4 м, 2 – 4...10, 3 – более 10 м; плесы: I – Волжский, II – Моложский, III – Шекснинский, IV – Центральный (главный) [122]



Рис. 11.2. Открытое мелководье Главного плеса Рыбинского водохранилища в период сработки уровня воды. 1960-е гг. [92]

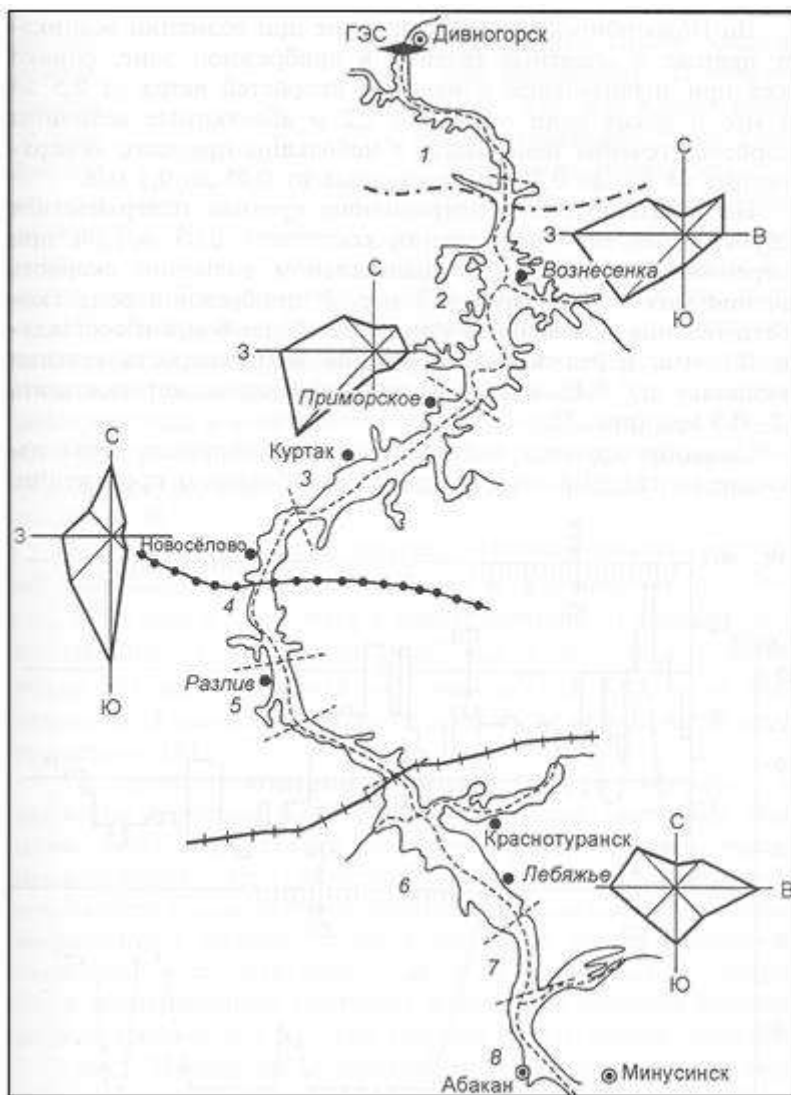


Рис. 11.3. Схема районирования Красноярского водохранилища. Показаны преобладающие направления ветров [548]

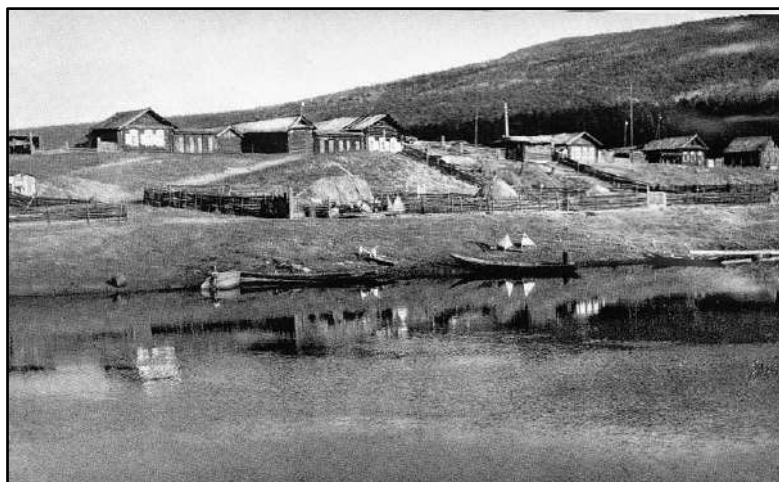


Рис. 11.4. Деревня Гарменка на первой надпойменной террасе р. Ангары в зоне затопления Усть-Илимским водохранилищем, 1960 г. [295]

Красноярское водохранилище на р. Енисее (рис. 11.3) создано в предгорных условиях. По морфолого-морфометрическим показателям в нем различают три района (№№ 1, 5, 7 на рис. 11.3) и пять озеровидных плесов (№№ 2, 3, 4, 6, 8 на рис. 11.3) По характеру распределения глубин выделяют три зоны. Прибрежная зона распространяется от берега до глубины 3 м и не превышает 5 % от площади зеркала при НПУ. В верховье водохранилища отмечается мелководная зона. Глубоководная зона, начинающаяся с 10-метровых глубин, занимает более 80 % площади водохранилища (табл. 11.1). [676].

Таблица 11.1

**Морфолого-морфометрическая характеристика  
Красноярского водохранилища при НПУ = 243,00 м БС [676]**

Районы (1, 5, 7) и озеровидные плесы (2, 3, 4, 6, 8)	Номер на рис. 11.3	Длина, км	Средняя глубина, м	Максимальная глубина, м	Максимальная ширина, км	Площадь, км <sup>2</sup>	Объем, км <sup>3</sup>
Приплотинный	1	68	96	105	3	135	12,96
Щетинкинский	2	45	57,2	87	12	380	21,73
Отраднинский	3	42	43,5	76	14	337	14,66
Новоселовский	4	93	31,5	66	9	382	12,03
Беллыкский	5	28	26	43	4,5	92	2,39
Краснотуранский	6	66	19	36	12	390	7,41
Бузуновский	7	12	14,2	20	4	42	0,60
Усть-Абаканский	8	32	5,6	16	15	262	1,47
Все водохранилище	1 – 8	386	36,7	105	15	2020	73,25

Долинными водохранилищами затапливаются пойменные и надпойменные террасы: первая, иногда вторая – на равнинных реках, более высокие – на предгорных и горных реках; затапливаются также участки коренных берегов (рис. 11.4). У большинства крупных и средних равнинных рек правый берег высокий и крутой (нагорный), а левый – низкий и пологий (луговой). Асимметрия речных долин обуславливает распространение водохранилищ на низменные левобережья. Левобережные части водохранилищ характеризуются при этом меньшими глубинами и более извилистым очертанием береговой линии.

Индивидуальность каждого водохранилища, морфологические и морфометрические особенности его отдельных частей существенно влияют на

гидрологические процессы и явления. Влияние природных факторов и деятельности людей на характер и интенсивность внутриводоемных процессов и взаимодействие водохранилища с природной средой также в определенной мере осуществляется через особенности его морфометрии [122].

## 11.2. Показатели затопления земель водохранилищами

По официальным данным на 1 января 1999 г. общий земельный фонд Российской Федерации составляла 1 709,8 млн га (табл. 11.2).

Таблица 11.2

**Структура распределения земельного фонда Российской Федерации по целевому назначению [113;179]**

Категория земель	Площадь, млн га
Земли сельскохозяйственного назначения	454,9
Земли населенных пунктов	20,9
Земли промышленности, транспорта, связи и иного назначения	17,6
Земли природоохранного, заповедного, оздоровительного, рекреационного назначения	31,7
Земли лесного фонда	1 046,3
Земли водного фонда	19,9
Земли запаса	118,5
Всего	1 709,8

Соотношение между землями различного назначения в регионах страны существенно неодинаково. Около 26,6 % всего земельного фонда в 1999 г. составляли земли сельскохозяйственного назначения. В их структуре преобладали сельскохозяйственные угодья – 221,2 млн га, и земли, пригодные для северного оленеводства – 145,7 млн га [113]. На 01.01.2021 г. земель сельскохозяйственного назначения насчитали 382,4 млн га из них неиспользуемых 19,4 млн га (5,1 %) [745].

**Затопление** – это повышение уровня воды водотока, водоема или подземных вод, приводящее к образованию свободной поверхности воды на участке территории [172]. Затопление земель рассматривается обычно как наиболее существенное воздействие долинных водохранилищ на природную среду.

В нашей стране значительные земельные площади отведены под электроэнергетику (ГЭС, ТЭС, АЭС), их доля достигает примерно 10 % всех

земель, находящихся в несельскохозяйственном использовании для нужд промышленности, транспорта, городов и др. При этом около 95 % земель, изъятых на электроэнергетику, приходится на электростанции и их водохранилища. В площадях, отведенных под водохранилища, затопленные земли составляют 95 – 97 %; кроме них в состав изъятых земель входят земли в зонах переработки берегов водохранилищ и вдольбереговой бечевник [706].

В 1950 – 1960 гг. большие площади земель были отведены под водохранилища ГЭС в Волжско-Камском бассейне, а в последующие десятилетия в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке – в бассейне Енисея, на Вилюе, Зее, Колыме и др. По состоянию на 1990 г. под водохранилища ГЭС в России отведено 4,720 млн га земель [512; 706]. Отведенные земли составляют 0,28 % площади нашей страны. Для сравнения: доля площади водохранилищ к общей площади страны в США – 0,80 %, Канаде – 0,60 %, Испании – 0,42 % [515; 628].

Наиболее ценными из изымаемых под водохранилища считаются земли сельскохозяйственного использования и занятые лесами. По грубой оценке, водохранилищами ГЭС занято 0,4 % сельскохозяйственных угодий и 0,3 % лесных площадей России [706].

Еще сравнения (табл. 11.3): под российскими городами в два с лишним раза больше земель, чем под водохранилищами; земли, занятые дорогами (рис. 11.5) и водохранилищами по площади сопоставимы; площадь отведенных под водохранилища ГЭС земель равна площади земель, непригодных для жизнедеятельности из-за упавших на нее частей космических ракет (рис. 11.6); растут полигоны добычи полезных ископаемых (рис. 11.7), свалки отходов; площадь заброшенных в 1990-х гг. сельхозземель почти на порядок больше площади, занятой водохранилищами.

В гидротехническом строительстве известно понятие **землеемкость водохранилища**, когда площадь затопления относят к единице выработки ГЭС, к единице объема водохранилища и т.п. [98; 99]. В табл. 11.4 выписаны результаты анализа затоплений при создании водохранилищ в разные периоды времени по объективному показателю затопленной площади на 1 млн кВт·ч выработки ГЭС [512; 706].

В период 1950-х гг., когда вводились крупные гидроузлы на равнинных реках европейской части страны, показатель затопления достигал 78 га/1 млн кВт·ч выработки ГЭС. Если говорить об исторической ситуации в тот период, необязательно быть человеком уважаемого возраста, чтобы вспомнить, что недавно закончилась Великая Отечественная война (рис. 11.8),

энергетика была в значительной мере разрушена [150; 628]. В этих условиях указанные затопления были оправданы, альтернативы не было [108; 397].

Таблица 11.3

**Сравнительные данные о площади земель, занятых  
для различных видов жизнедеятельности в России  
(из официальных источников и СМИ)**

Чем занята земля	Занятая площадь, млн га	Доля от территории России, %
Площадь территории России (1982 г.)	1 707,500	100
Города (1990 г.)	11,098	0,64
Автомобильные дороги федеральные, региональные и муниципальные – 1145000 км при средней ширине полосы отчуждения 20 м (2008 г.)	2,290	0,13
Железные дороги общего пользования – 870 825 км при средней ширине полосы отчуждения 20 м (1994 г.)	1,741	0,10
Непригодная для жизнедеятельности территория из-за упавших на нее частей космических ракет (2007 г.)	4,800	0,28
Свалки отходов (2017 г.)	4,0	0,23
Заброшенные земли сельскохозяйственного назначения (1990-е гг.)	40,0	2,33
Водохранилища (1990 г.)	4,720	0,28

Таблица 11.4

**Удельный показатель изъятия земель в России под водохранилища  
гидроэлектростанций [512; 706]**

Годы	Изъятие земель, га на 1 млн кВт·ч выработки ГЭС	
	всех земель	сельскохозяйственных земель
1950-е	78,0	–
1971–1975	40,0	17,5
1976–1980	32,2	13,2
1981–1985	28,1	11,5
1986–1990	26,4	10,6

Разумно ли, например, сейчас предъявлять претензии создателям Рыбинского гидроузла, которые начинали строительство перед войной, а пуски агрегатов ГЭС проводили уже в военное время? Теперешним критикам гидроэнергетики надо бы знать, что Рыбинская, Угличская, Иваньковская ГЭС



Рис. 11.5. Строительство федеральной автотрассы «Амур»: Чита – Могоча – Свободный – Бира – Хабаровск; длина 2150 км; начата строительством в 1966 г. (600 км), завершена в 2010 г. [<http://www.autoreview.ru>]



Рис. 11.6. Фрагмент отделяющейся части ракеты-носителя «Союз» пуска 2006 – 2009 гг. в районе планового падения на Северном Урале [333]

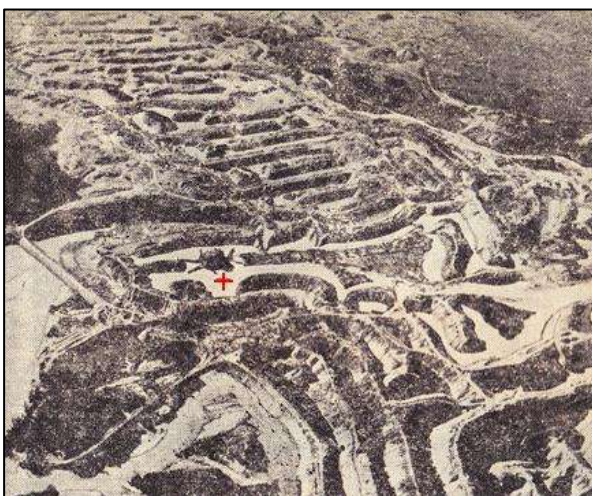


Рис. 11.7 Месторождение золота в Магаданской области, разрабатываемое драгой, после чего остается грядовый рельеф с оттаявшими грунтами. 1980-е гг.





Рис. 11.8. Художник Г.М. Коржев (1925 – 2012). «Следы войны». 1964 г.



Рис. 11.9. Картина Д.А. Налбандяна (1906 – 1993) «Для счастья народа. Заседание политбюро ЦК ВКП(б)». 1949 г.

оставались практически единственными источниками электроэнергии для Москвы в военный период [108; 149; 150; 397; 628]. Экономист В.Ю. Катаонов определил, что СССР послевоенных лет – это практически была гигантская централизованная корпорация, все ресурсы которой мобилизовывались на достижение стратегической цели. Основой корпорации служила общенародная собственность на средства производства. Целью было выживание государства во враждебном окружении (рис. 11.9). В 1951 – 1960 гг. экономика СССР выросла более чем в 2 раза [284].

В последующем затопления при создании водохранилищ резко снизились. Строительство электростанций на равнинных реках стало сокращаться. Гидроэнергетика в европейской части страны начала смещаться в предгорные и горные районы, а в азиатской – на экономически малоосвоенные территории, начали проявляться факторы защиты земель, пристального анализа предлагаемых вариантов створов и подпорных отметок гидроузлов [512]. На уровне середины 1980-х гг. средняя величина затоплений составляла 26,4 га/1 млн кВт·ч [706]. Если взять конкретные примеры, то для первенцев Волжского каскада Иваньковской и Рыбинской ГЭС рассматриваемый показатель достигал 160 га/1 млн кВт·ч, для последней по времени строительства Чебоксарской ГЭС он составил 14 га/1 млн кВт·ч, для ГЭС Ангара-Енисейского каскада равен в среднем 4,1 га/1 млн кВт·ч [515].

Создание больших водохранилищ связано с затоплением значительных по абсолютной величине площадей, но они выгоднее, чем малые и средние водохранилища по удельным затратам земельной площади на единицу запаса воды [122; 515]. Вместе с этим при регулировании стока в бассейне системами водохранилищ на малых реках удельные потери земель, вызванные затоплением участков долин, могут быть меньше, чем при сооружении каскада водохранилищ на основной реке [375].

Затопление земель при создании водохранилищ является неизбежным фактором, но его нельзя рассматривать как только негативное явление. Надо иметь в виду, что изъятие земель под водохранилища является одним из вариантов их производственного использования; оно определяется потребностями экономики страны. Взамен сельскохозяйственной и лесной продукции с этих земель получают другую продукцию – электроэнергию, рыб, перевозки грузов по водным путям и т.д., а в случае использования водных ресурсов для орошения, обводнения и для устранения наводнений – также и сельскохозяйственную продукцию [7; 515; 706]. В СССР водохранилища комплексного и ирригационного назначения позволили вовлечь в

сельскохозяйственный оборот в три раза больше земель, чем вся площадь затопленных сельхозугодий [628].

При отводе территорий под затопление водохранилищами по согласованию с местными органами власти устанавливаются размеры компенсационных выплат или арендной платы [23] за изъятые земли, они закладываются в сметную стоимость строительства. Однако извечное стремление людей к воде берет верх над здравым смыслом и на практике оказывается, что, несмотря на установленное отчуждение, земли, подлежащие временному затоплению, как в верхних, так и в нижних бьефах, застраивают жилыми и дачными домами, используют под садовые хозяйства и пр. В целях предотвращения затопления застроенных земель в нижних бьефах на всех водохранилищах Волжского каскада появилась необходимость проводить не предусмотренные проектами форсировки уровней на 0,5 – 1,0 м для срезки максимальных половодных расходов воды. Это увеличивает площади водного зеркала и ведет к дополнительному затоплению земель в верхних бьефах, ущерб от которого сопоставим с ущербом от затоплений в спасаемых зонах. Например, превышение НПУ на 0,5 м для Рыбинского и Куйбышевского водохранилищ соответствуют затоплению 270 км<sup>2</sup> пойменных земель [515].



Рис. 11.10. Проект застройки левобережной поймы р. Волги напротив г. Нижнего Новгорода, вид с правого нижегородского берега

Желаний что-нибудь воздвигнуть на потенциально затапливаемых землях не лишены даже администрации субъектов РФ. Так, правительство Нижегородской области в 2010-х гг. предлагало построить пойму р. Волги напротив г. Нижнего Новгорода в зоне Чебоксарского водохранилища, устроив там торгово-развлекательно-гостиничный район (рис. 11.10). Инвесторов не нашлось.

Уменьшить площади затоплений водохранилищами можно создавая ГЭС по деривационным схемам; возводя дамбы обвалования для отсечения мелководных зон водохранилищ; осваивая гидроэнергетические ресурсы малых рек; повышая долю ГАЭС в составе энергосистем [96], когда такие технические решения рациональны.

### 11.3. Примеры затоплений

Переустройство рек Волги и Камы началось в 1930-е гг. по схеме, получившей название «Большая Волга». Проблема трактовалась комплексно – инженерная схема каскада гидроузлов, носившая технократический характер, предусматривала: наиболее полное использование водно-энергетических ресурсов для получения дешевой пиковой электроэнергии; создание глубоководного пути в пределах рек Волги и Камы, а также соединение этих рек с Балтийским, Белым, Азовским и Черным морями; развитие сельского хозяйства в прилегающих к р. Волге районах путем орошения и обводнения засушливых плодородных земель; обеспечение водоснабжения промышленности и населения из водохранилищ каскада; интенсификацию рыбного промысла.

Для получения наибольшего энергетического эффекта схемой предлагалось использование падения рек наименьшим количеством плотин с созданием емких водохранилищ. Мощность ГЭС и выработка электроэнергии обуславливаются напором на гидроузле и объемом водохранилища (потенциальным энергетическим запасом). Водоохранилища малой емкости при низконапорных ГЭС затрудняют регулирование стока, при сбросе высоких вод в половодья и паводки напоры на гидроагрегатах снижаются и ГЭС теряют свою мощность. Значительные колебания бытовых уровней рек Волги и Камы вызвали необходимость образования напоров на гидроузлах не менее 20 м.

Одним из существенных принципов при проектировании энергетического использования рек Волги и Камы было строительство ГЭС каскада как основы Единой энергетической системы Европейской части СССР. В итоге за 40 лет XX в. на Волге и Каме создан каскад из 11 крупных гидроузлов комплексного назначения с общей установленной мощностью ГЭС 11 300 МВт, с водохранилищами общей площадью 25 тыс. км<sup>2</sup> и объемом 186 км<sup>3</sup> (см. табл. В.2 во Введении) [108; 397; 525].

Гидроузлы каскада размещались выше городов Углич, Рыбинск, Ярославль, Кострома, Кинешма, Балахна, Горький (Нижний Новгород), Казань, Куйбышев (Самара), Вольск, Саратов, Сталинград (Волгоград) на Волге, Соликамск, Пермь, Воткинск, Сарапул на Каме, с оставлением их вне подпора, или выбиралась такая комбинация расположения створов и отметок НПУ, при которой была возможна инженерная защита городов, крупных

промышленных предприятий и сельскохозяйственных низин. Створы гидроузлов и отметки НПУ водохранилищ назначались с возможно меньшими (в экономически обоснованных пределах) затоплениями и ущербами от затоплений. При этом обеспечивалась возможность использования основной части стока (в пределах 85 – 95 %) отраслями народного хозяйства.

Хотя основные контуры каскада наместились уже в 1930-х гг., проектирование его велось в течение всего времени строительства следуя за интенсивным развитием народного хозяйства, возрастанием ценности сельскохозяйственных угодий, жилищного фонда, промышленных предприятий и других объектов, находящихся в зонах влияния подпоров [397].

Волжско-Камский каскад, представляющий собой классический пример комплексного использования водных ресурсов крупнейшего в Европе Волжского бассейна, многократно описан в российской научно-технической литературе [7; 29; 79; 108; 112; 114; 121; 123; 148; 149; 397; 420; 525]. Нам остается дать краткую характеристику затоплений, придерживаясь некоторых из названных изданий.

В табл. 11.5 приведены данные о затоплении земель водохранилищами Волжско-Камского каскада ГЭС. По каждому водохранилищу площадь затопления земель, указанная в таблице, несколько меньше площади зеркала воды при НПУ за счет того, что водохранилищем затапливаются не только суша, но и акватория реки в бытовом состоянии.

Таблица 11.5

**Площади земель, затопленных водохранилищами  
Волжско-Камского каскада [29; 123; 420]**

Водохранилище	Площадь зеркала воды при НПУ, км <sup>2</sup>	Площадь затопления земель, тыс. га				
		всего	в том числе			
			пашни	сенокосы, пастбища	леса, кустарники	прочие земли
Иваньковское	327	29,2	9,8	7,8	7,0	4,6
Угличское	249	13,7	5,6	5,4	1,5	1,2
Рыбинское	4 550	434,0	58,2	116,3	241,2	18,3
Горьковское	1 591	129,2	21,0	47,0	41,0	20,2
Чебоксарское	2 270	167,5	7,7	46,5	97,8	16,5
Куйбышевское	6 450	503,9	69,5	208,3	163,3	62,8
Саратовское	1 831	116,9	7,5	45,6	47,3	15,6
Волгоградское	3 120	269,3	30,4	107,0	70,2	61,7
Камское	1 915	175,5	9,9	58,2	83,4	24,0
Воткинское	1 120	92,2	23,9	7,2	42,2	18,9
Нижнекамское	2 650	198,3	21,0	83,3	50,3	43,7
Всего	26 073	2 128,8	264,5	732,6	845,2	286,5

Водохранилища Волжско-Камского каскада затопили более 2,1 млн га, в том числе почти 1 млн га земель сельскохозяйственного использования и 0,85 млн га лесных площадей. По данным официальной статистики в 2000 г. на территории бассейна р. Волги земли сельскохозяйственного назначения занимали 96876400 га, а лесами было покрыто 32 000 000 га [109]. Если соотнести с этими данными площади земель, затопленных водохранилищами каскада, то последние составят около 1 % сельскохозяйственных земель и около 2,6 % лесных площадей бассейна р. Волги.

На Верхней Волге наибольшие затопления были сделаны Рыбинским водохранилищем: 241,2 тыс. га лесных площадей; 58,2 тыс. га пашни (408 колхозов); 116,3 тыс. га лугов, дававших лучшее в России сено.

Чебоксарское водохранилище, построенное последним по времени в Волжско-Камском каскаде, имеет в 2,5 раза меньшую проектную площадь затоплений, чем Рыбинское, при том, что установленная мощность Чебоксарской ГЭС (1 370 МВт) в 4 раза больше, чем Рыбинской ГЭС (346,4 МВт). По невинным причинам водохранилище с 1981 г. по сей день эксплуатируется при временном подпорном уровне, который на 5 м ниже НПУ. В пределах Средней Волги расположено Куйбышевское водохранилище – наибольшее в каскаде по площади водного зеркала (6450 км<sup>2</sup>) и затопленных земель (503,9 тыс. га) [29; 123; 420].

На равнинной территории европейской части России в составе Волго-Донского судоходного канала [294; 395] к 1952 г. было образовано на р. Дону Цимлянское водохранилище площадью 2 702 км<sup>2</sup>. Его создание связано с затоплением 264 тыс. га, в том числе усадебных земель около 10 тыс. га, пашни 36 тыс. га, сенокосов 71 тыс. га. Ущерб от затопления, определенный по действовавшим в то время методикам, составлял относительно небольшую часть капиталовложений в гидроузел [395].

В отличие от европейской части России, где энергия гидроэлектростанций была использована в сложившихся промышленных районах, на востоке страны крупные ГЭС становились основой формирования новых промышленных комплексов и районов. Особенностью намечавшихся к строительству электростанций в Восточной Сибири являлось то, что их местоположение совпадало с основными местами концентрации полезных ископаемых и лесных ресурсов.

Главным звеном в цепи мероприятий, призванных обеспечить быстрое вовлечение в хозяйственный оборот природных ресурсов и многостороннее развитие экономики Восточной Сибири, явилось строительство Ангаро-Енисейского каскада ГЭС [149]. Постановка основных вопросов, связанных с осуществлением этого гидроэнергетического каскада, была задана

в 1930 – 1935 гг. Намеченная тогда схема утилизации энергии рек Ангары и Енисея была основана на следующих принципах: полное использование падения р. Ангары и создание на ней непрерывного каскада водохранилищ ГЭС; максимальная зарегулированность стока; максимально возможная в техническом отношении и экономически целесообразная концентрация напоров на отдельных ступенях. К 1970-м гг., после рассмотрения многих вариантов, схема каскада была всесторонне обоснована и частично осуществлена – построены Иркутская и Братская ГЭС [206]. До середины 1980-х гг. возведены Красноярская, Усть-Илимская, Саяно-Шушенская, Майнская ГЭС, к 2015 г. достроена Богучанская ГЭС. В табл. В.1 во Введении были выписаны характеристики водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада [79; 148].

Сегодня Ангаро-Енисейский каскад ГЭС в избытке дает дешевую электрическую энергию, что во многом позволяет Иркутской области и Красноярскому краю входить в число российских регионов-доноров [112].

Водоохранилищами Ангаро-Енисейского каскада затоплено более 1 000 тыс. га земель (табл. 11.6).

Таблица 11.6

**Площадь затоплений водохранилищами Ангаро-Енисейского каскада**  
[7; 148; 315]

Водоохранилище	Площадь зеркала воды при НПУ, км <sup>2</sup>	Площадь затопления земель, тыс. га		
		всего	в том числе	
			сельхозугодья	лес и кустарники
Иркутское	32 966*	146,6	–	–
Братское	5 470	540,9 – 510,5	166,3	326,9 – 357,3
Усть-Илимское	1 873	165,0 – 154,0	21,3	127,8
Богучанское	4 230	151,0	29,6	121,4
Саяно-Шушенское	633 – 670	50,1 – 54,6	18,3	30,5
Майнское	14	–	–	–
Красноярское	2 100	162,9 – 175,0	120,0 – 115,4	38,0 – 36,6

\* Включая оз. Байкал, площадь которого до подпора Иркутской ГЭС составляла 31 500 км<sup>2</sup>.

Наибольшей площадью затопления отличается Братское водохранилище на р. Ангаре [382]. Оно расположилось на территории 12 административных районов Иркутской области, занимая 0,7 % ее площади в зоне тайги и, отчасти, лесостепи. Из общей площади 547,0 тыс. га, занятой Братским водохранилищем, около 65,3 % (357,3 тыс. га) пришлось на лесопокрытые площади, 20,9 % (114,3 тыс. га) – на сенокосы и выгоны, 9,5 % (52,0 тыс. га) – на пахотные и усадебные земли, остальные 4,3 % (23,4 тыс. га) занимали

реки, озера, болота, непроизводительные земли и населенные пункты. В зону затопления попало 110 км Ленской железной дороги, 954 км автомобильных и гужевых дорог, 1376 км линий связи, 96 км линий электропередачи [630].

Красноярское водохранилище на р. Енисее затопило 162,9 тыс. га, в том числе: 115,4 тыс. га сельскохозяйственных земель (из них 42,0 тыс. га пахотных и приусадебных участков, 48,2 тыс. га сенокосов, 25,2 тыс. га выгонов и пастбищ), 36,6 тыс. га лесов и кустарников, остальную часть потерянных земель (10,9 тыс. га) занимали застройки. Затопленная суша составила 77,5 % площади водохранилища, а остальная часть была занята реками и озерами [676].

Таймырскими водохранилищами – Усть-Хантайским на р. Хантайке площадью зеркала 2 120 км<sup>2</sup> и Курейским на р. Курейке (558 км<sup>2</sup>) затоплено земель соответственно 1 820 км<sup>2</sup> и 468 км<sup>2</sup>. В зоне затопления Курейского водохранилища оказались: древесная растительность – 13 900 га; редины – 1 000 га; кустарники – 300 га; лесотундра – 15 300 га; болота – 6 700 га; тундра – 9 100 га; вода – 9 000 га; прочие земли – 500 га.

Вилуйское водохранилище на р. Вилуе в Якутии имеет площадь зеркала при НПУ 2 170 км<sup>2</sup>, из которой на затопленные земли приходится 1 112 тыс. га. Площадь временного затопления, ограниченная положением самого низкого и самого высокого уровня при нормальной эксплуатации водохранилища, доходит до 700 км<sup>2</sup> [114].

Дальневосточным Зейским водохранилищем на р. Зее при достижении проектного НПУ затоплено 230 тыс. га земель, из них лесов и кустарников 127 тыс. га, заболоченных и неиспользуемых земель 99 тыс. га, сельхозугодий 4 тыс. га. Отличительным признаком Зейского водохранилища явилась незначительная площадь затопления сельхозугодий [311].

Водоохранилище Бурейской ГЭС на р. Бурее, имеющее площадь зеркала 740 км<sup>2</sup>, сдано в эксплуатацию в 2010 г. Оно располагается на территории, 73 % которой было занято лесом, более 20 % – болотами и заболоченными землями, 4,7 % – прочими неудобными землями, и только малая доля затопленных земель (0,3 %) использовалась в сельском хозяйстве.

Тем же признаком характеризуется водохранилище строящейся Усть-Среднеканской ГЭС на р. Колыме: сельхозугодья (в основном оленьи пастбища) составят 0,2 % затопляемых земель при удельной площади затопления 35,5 га/МВт [296].



Проектируемое на р. Нижней Тунгуске, притоке р. Енисея, водохранилище Эвенкийской (Туруханской) ГЭС будет располагаться на севере Красноярского края, пересекая границу средней и северной тайги. Согласно ТЭО 1988 г. [444] и Обоснованию инвестиций 2008 г. [731], оно имеет показатели затопления, выписанные в табл. 11.7.

Таблица 11.7

**Показатели затопления земель Эвенкийским водохранилищем на р. Нижней Тунгуске [444; 731]**

Подпорный уровень водохранилища, м БС	НПУ = 200,00	ВПУ = 140,00 (первая очередь)
Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	9 400	2 570
Площадь затапливаемых земель, тыс. га	868	202
Затопление оленьих пастбищ (поголовье домашних оленей отсутствует), тыс. га	623	357
Затопление сельхозугодий (пашня отсутствует), тыс. га	1,44	–
Затопление леса и кустарника, тыс. га	–	198
Объем лесосводки, млн м <sup>3</sup>	43	11

У затопления земель водохранилищами ГЭС были и есть противники, большей частью среди подверженных экзальтации экологов крайнего толка, охотно пользующихся электричеством (а также газом, бензином и продукцией сельского хозяйства) для личных нужд. На вторую половину 1980 -х гг. в СССР пришелся пик экологического движения, волнами которого оказались затронуты фундаментальные области экономики: нефте- и угледобыча, гидро- и атомная энергетика, мелиорация. Было прекращено строительство ряда гидроэнергетических объектов (например, Катунской, Крапивинской, Чебоксарской ГЭС), также проектирование ряда перспективных объектов (например, Туруханской, Адычанской, Амгуэмской ГЭС) [296].

Вот образец. Амгуэмская ГЭС на р. Амгуэме в 1980-х гг. намечалась первоочередной на Чукотке [296; 608; 722]. Водоохранилищем площадью 795 км<sup>2</sup> предполагалось затопить 576 км<sup>2</sup> суши, из которых 360 км<sup>2</sup> относилось к оленьим пастбищам (минус 75 т оленины в год из 69000 т/год ее производства тех лет в Магаданской области), остальная была занята кустарниками и торфяниками. Также затапливалась и подлежала переустройству автодорога Эгвекино – Иульгин (105 км) с деревометаллическим мостом постройки 1940-х гг. через р. Амгуэму, ВЛ 110 кВ на деревянных опорах и линия связи вдоль нее. Предусматривалось переселить 637 жителей из 4 -х населенных пунктов. Разгорелась дискуссия об экологической

допустимости строительства Амгуэмской ГЭС, «отличавшаяся эмоциональной насыщенностью и предельным максимализмом высказывавшихся мнений», подробно описанная [296]. Аргументы «против» формулировались примерно так: «Протестую против строительства Амгуэмской ГЭС, поскольку уверен, что пользы от нее будет несравненно меньше, чем вреда от причиненного ущерба» [Советская Чукотка, 1988. – №39]. В итоге изыскательские и проектные работы были остановлены. Оленным чукчам, также тунгусам, которым в 1930 г. советская власть дала наименование «эвенки» [603], осталось петь старинную песню, состоящую в повторении двух только слов «охурь-иохурь», что означает изъявление радости [557]. Позднее прояснилось, что мотивы борьбы отдавали слабоумием, поскольку истекающие для региона выгоды из-за отказа от проекта были эфемерны и удержать их без печальных последствий оказалось невозможно. Чукотка обезлюдела: ее население сократилось втрое – со 160 тыс. человек в 1989 г. до 50 тыс. человек в 2017 г. [АиФ, 2020. – №3].

## **ГЛАВА 12. ВОДНЫЙ РЕЖИМ ВОДОХРАНИЛИЩ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СТОКА**

**Водный режим** – изменение во времени уровней, расходов и объемов воды в водных объектах [118].

Создание водохранилищ и регулирование ими стока значительно преобразует естественный водный режим рек. Изменение водного режима проявляется по-разному в верхних и нижних бьефах гидроузлов. На изменение водного режима в верхних бьефах оказывают влияние размеры и морфометрические особенности водохранилищ, характер регулирования стока, правила эксплуатации. На изменение водного режима в нижних бьефах в основном влияет характер преобразования стока [7].

### **12.1. Регулирование стока водохранилищами**

В зависимости от потребностей в воде водопотребителей и водопользователей водохранилищами осуществляется **суточное, недельное, сезонное и многолетнее регулирование стока**.

Суточное регулирование заключается в перераспределении в течение суток расходов воды, поступающей в нижний бьеф, и ведется чаще всего для нужд гидроэнергетики.

При недельном регулировании попуски воды из водохранилища изменяются по дням недели (обычно уменьшаются в выходные и праздничные дни) в основном для нужд гидроэнергетики.

При сезонном (годовом) регулировании происходит выравнивание внутригодового стока реки путем его накопления в водохранилище в многоводные сезоны и расходования в маловодные; необходимость этого вызвана сезонным несовпадением максимумов стока и потребления воды. Сезонное регулирование – это наиболее распространенный тип

регулирования, для которого требуется объем водохранилища, способный вместить воды половодья и паводков.

Многолетнее регулирование заключается в перераспределении речного стока между годами разной водности путем его аккумуляции в многоводные и расходованию в маловодные и средние по водности годы.

Многолетнее и сезонное регулирование может быть полным, т.е. задерживать в расчетных пределах сток половодий и паводков самых многоводных лет, или неполным (частичным), когда часть стока многоводных лет и периодов не может быть аккумулирована в водохранилище и пропускается в нижний бьеф. Ясно, что водохранилища многолетнего регулирования способны осуществлять сезонное, недельное и суточное регулирование, а сезонного – недельное и суточное.

Суммарный полезный объем всех водохранилищ России, учтенных в каталоге 1988 г. [283], равен  $324 \text{ км}^3$  (41 % их объема при НПУ), а средний годовой сток рек, формирующихся на территории страны, –  $4\,043 \text{ км}^3$ . Отношение полезного объема водохранилищ к объему среднегодового стока рек, так называемый **коэффициент регулирования**, составляет 8 %. Между тем, для рек США еще в 1962 г. он был равен 30 %. Если же рассматривать коэффициент регулирования по группам российских водохранилищ, то он имеет следующие пределы: для водохранилищ многолетнего регулирования 20 – 50 %, для водохранилищ сезонного регулирования 8 – 20 %. Эти данные показывают, что в стране достигнута высокая степень зарегулированности стока многих рек [112; 122] и есть еще большие резервы.

Многолетнее и глубокое сезонное регулирование речного стока проводят большие долинные водохранилища равнин (Рыбинское, Куйбышевское, Цимлянское), многие водохранилища предгорных и горных районов, предназначенные для энергетики (Братское, Красноярское, Саяно-Шушенское), ирригации (Чиркейское), борьбы с наводнениями (Зейское), большинство водохранилищ, образованных путем подпора крупных озер (Иркутское, Верхнесвирское, Усть-Хантайское). Наибольшим коэффициентом регулирования (142 %) отличается Зейское водохранилище, чаша которого может аккумулировать почти полтора объема среднегодового стока р. Зеи [12; 102; 122].

Сезонное регулирование стока ведут многие энергетические водохранилища, а также почти все водохранилища, предназначенные для водоснабжения, ирригации, обеспечения судоходных, лесосплавных, санитарных пусков воды.

Возможности регулирования стока возрастают в каскадах водохранилищ.

Так, суммарный полезный объем 12 водохранилищ современного Волжско-Камского каскада равен  $80 \text{ км}^3$ , или 33 % среднегодового стока р. Волги за период его инструментального определения с 1881 по 1990 гг. ( $242,9 \text{ км}^3/\text{год}$ ).

Базовые водохранилища – основные регуляторы стока в каскаде – имеют предусмотренные большие объемы и значительную сработку. Принятое расположение основной регулирующей емкости на участке ниже устья р. Камы (Куйбышевское водохранилище) в сочетании с созданием крупных регуляторов стока на Верхней Волге (Рыбинское водохранилище) и на Каме (Камское водохранилище) обеспечило контроль практически над всем стоком Волги (96 %). В частности, водохранилище одного из первоочередных – Рыбинского гидроузла – в комбинации с вышележащими водохранилищами позволило увеличить (с 1,4 – 2,2 м до 2,8 м) транзитную глубину на р. Волге задолго до строительства нижележащих гидроузлов. Аналогичный, хотя и меньший эффект дало Камское водохранилище на р. Каме. Гидроэлектростанции каскада работают на транзитных расходах воды, поступающих из верхних водохранилищ, с добавлением боковой приточности [112; 114].

Годовой объем стока р. Волги в настоящее время мало отличается от объема стока до зарегулирования реки. Так, в 1930 – 1955 гг. он составлял в среднем  $236 \text{ км}^3$ , в период с 1960 г. по 1985 г. –  $234,6 \text{ км}^3$ , а в последующие годы XX в. –  $251 \text{ км}^3$ . Однако, с созданием каскада водохранилищ изменилось внутригодовое распределение стока. Если, например, в незарегулированных условиях объем зимнего стока р. Волги был  $30 \text{ км}^3$ , то после создания каскада водохранилищ он достиг  $64,1 \text{ км}^3$ , а в 1984 и 1985 гг. – даже  $80 \text{ км}^3$ . В среднем воздействие каскада оценивается следующими показателями: весенний сток уменьшился в 2 раза, летне-осенний сток увеличился в 1,5 раза, зимний – в 2,8 раза (табл. 12.1).

Сезонные колебания расходов воды в створах волжских гидроузлов по многолетним данным для межени – половодья таковы ( $\text{м}^3/\text{с}$ ): Ивановский 111 – 899; Угличский 158 – 1320; Рыбинский 581 – 1 110; Нижегородский 1 179 – 2 200; Жигулевский (Куйбышевский) 5 200 – 19 800; Саратовский 5 220 – 19 900; Волгоградский 5 160 – 19 900 [7; 112; 114; 526].

Таблица 12.1

**Внутригодовое перераспределение стока р. Волги в створе г. Волгограда каскадом Волжско-Камских водохранилищ [112; 114; 526]**

Сезон	Расход воды, м <sup>3</sup> /с	
	естественный	регулируемый
	<i>Маловодный год</i>	
	<i>1938/39 гг.</i>	<i>1976/77 гг.</i>
Весна (IV–VI)	14 800	8 077
Лето (VI–X)	3 346	5 113
Осень (X–XI)	2 135	5 685
Зима (XII–III)	1 440	5 003
За год	5 400	5 970
	<i>Средний по водности год</i>	
	<i>1922/23 гг.</i>	<i>1989/90 гг.</i>
Весна (IV–VI)	20 040	11 887
Лето (VI–X)	5 660	5 663
Осень (X–XI)	3 580	5 390
Зима (XII–III)	2 520	5 178
За год	7 820	7 030
	<i>Многоводный год</i>	
	<i>1926/27 гг.</i>	<i>1979/80 гг.</i>
Весна (IV–VI)	28 900	18 400
Лето (VI–X)	8 420	7 307
Осень (X–XI)	8 070	6 705
Зима (XII–III)	4 640	6 765
За год	12 300	9 794

## 12.2. Уровенный режим водохранилищ

Уровенный режим водохранилищ разных видов регулирования и хозяйственного использования различен. На горных водохранилищах, используемых в целях энергетики и ирригации, амплитуда колебания уровня может достигать 50 м и более, на предгорных водохранилищах – 20 м, на больших равнинных водохранилищах обычно не превышает 6 – 8 м [122].

Водоохранилищам многолетнего и сезонного регулирования присуща общая черта – наличие в ходе колебаний уровня двух выраженных фаз: наполнения и сработки (рис. 12.1). Наибольшей высоты уровень в них достигает к концу половодья. Он сохраняется в течение некоторого

последующего времени, затем начинается медленная сработка водохранилища. До минимальных отметок уровень водохранилища срабатывается в предполоводный период, а в половодье быстро повышается до отметки НПУ. Водоохранилища, осуществляющие многолетнее регулирование стока, заполняются до НПУ и срабатываются до УМО не ежегодно, а некоторые из них один раз в несколько лет.

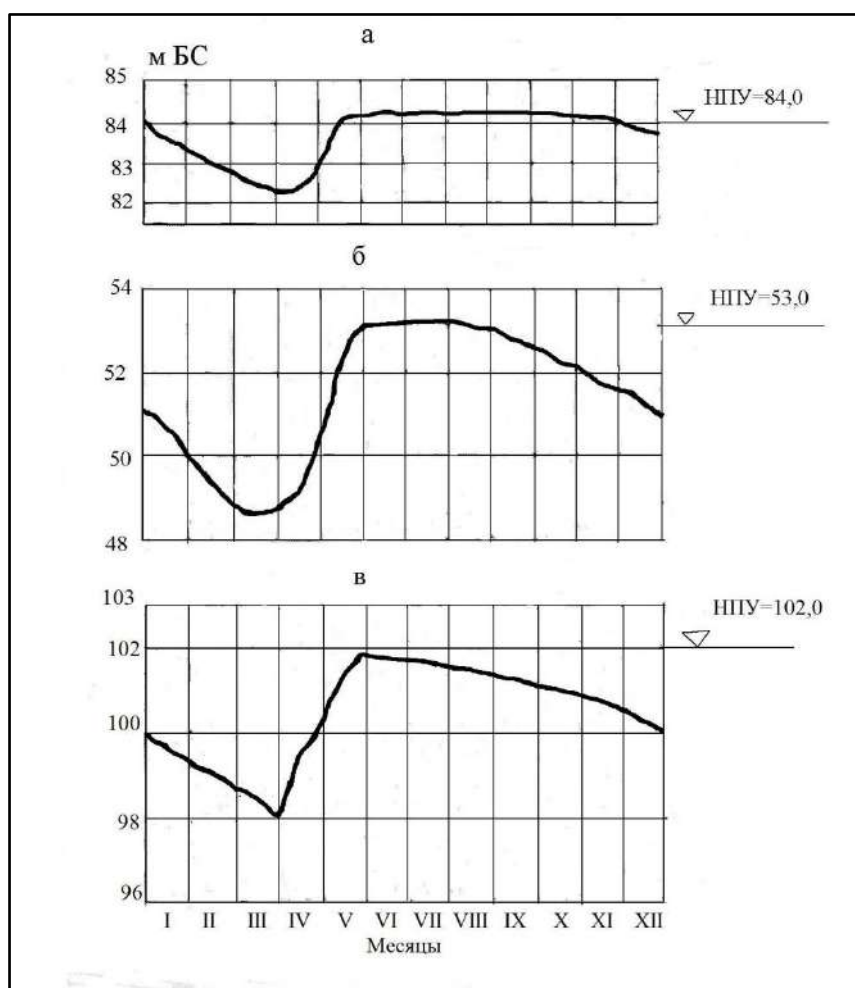


Рис. 12.1. Средний годовой ход уровней водохранилищ разного типа регулирования:

- а – Горьковское недельного регулирования (с элементами сезонного);
- б – Куйбышевское сезонного регулирования; в – Рыбинское многолетнего регулирования [7;122;262]

Так, в Рыбинском водохранилище многолетнего регулирования несмотря на то, что в годовом цикле уровня отчетливо наблюдаются две указанных выше фазы (весеннего наполнения; летне-осенней и зимней сработки), характер колебаний уровня в одни и те же периоды из года в год меняется. Амплитуды сезонных колебаний уровня в отдельные годы

достигали 5 – 8 м. Изменялись среднегодовые значения уровня с разницей до 2 м. Наблюдались значительные колебания уровня в летне-осенний период [92] (рис. 12.2). Правилами эксплуатации зимнюю сработку уровня на Рыбинском водохранилище рекомендовано вести с интенсивностью 2 – 5 см в месяц [462].

При сработке уровня Камского водохранилища, достигающей 7,5 м, временно осушаются обширные прибрежные мелководья (рис. 12.3).

Сработка уровня Братского водохранилища на проектные 10 м невелика для водохранилища предгорного типа (рис. 12.4).

Для водохранилища многолетнего регулирования Саяно-Шушенской ГЭС с 1996 г. нормальный подпорный уровень установлен 539,0 м БС. По условиям сохранения безопасного состояния уникальной арочно-гравитационной плотины и ее основания предусмотрено растянутое по времени наполнение водохранилища (рис. 12.5): подъем уровня верхнего бьефа до отметки 538,0 м в августе, до НПУ = 539,0 м к середине сентября, начало сработки в первой половине октября. Время удержания отметок УВБ, близких к НПУ, ограничено до 3 – 4 недель с последующей сработкой водохранилища до отметки 538,0 м к концу октября, 530,0 м к концу декабря и до УМО = 500,0 м к 1 мая (рис. 12.6). Установлен режим по скорости наполнения водохранилища: до отметки 520,0 м – скорость не ограничивается; от отметки 520,0 м до отметки 530,0 м – не более 1,5 м/сутки; выше отметки 530,0 м – не более 0,7 м/сутки [709].

В проектах водохранилищ многолетнего и сезонного регулирования при прохождении половодий редкой повторяемости с вероятностью превышения 0,1 – 0,01% предусматривается форсирование уровня: на Рыбинском водохранилище оно равно 1,4 – 2 м, на Горьковском 0 – 1,5 м [462], на Саяно-Шушенском 0 – 1,0 м [709], на Колымском водохранилище до 2,6 м.

В результате изменения в период эксплуатации водохозяйственной роли водохранилищ их уровенный режим может претерпевать трансформации относительно первоначального (проектного) режима. Это происходит со многими водохранилищами, особенно расположенными в каскадах, по мере развития последних [122].

Своеобразная ситуация сложилась с уровенным режимом озера-водохранилища Байкал [447; 567]. С 1956 г. оз. Байкал находится в подпоре от Иркутской ГЭС на р. Ангаре. При НПУ = 457,0 м БС площадь зеркала водохранилища составляет 32966 км<sup>2</sup>, в т.ч. озерная часть 32812 км<sup>2</sup> и речная часть 154 км<sup>2</sup>. При подпоре среднеголетнего уровня озера на 1 м его



длина равна 636 км, наибольшая ширина 79,5 км, протяженность береговой линии свыше 2000 км, максимальная глубина 1741 м, основная часть акватории имеет глубины более 500 м [119; 190]. С помощью призмы озера-водохранилища, образованной подпором, ведется многолетнее и сезонное регулирование стока р. Ангары в целях выработки электроэнергии на гидростанциях Ангарского каскада, обеспечения необходимых для судоходства, промышленных и коммунальных водозаборов уровней воды на 100-километровом участке р. Ангары, свободном от подпора Братской плотины, защиты от наводнений в долине р. Ангары и в г. Иркутске. По проекту Иркутской ГЭС для Байкала была установлена подпорная отметка НПУ = 457,0 м со сработкой до отметки 455,54 м в маловодные годы и форсировкой до отметки 457,73 м при максимально допустимом расходе гидроузла 6 000 м<sup>3</sup>/с в половодье вероятностью превышения 0,1%. За период эксплуатации максимальная годовая амплитуда колебаний уровня оз. Байкал достигла 1,71 м в 1973 г. при том, что в естественных условиях она доходила до 2,17 м. В 1950-е гг. затопление г. Иркутска начиналось при расходе воды в р. Ангаре 6 000 м<sup>3</sup>/с, а в 2000-е гг. этим расходом могло затопливаться уже 840 га городских земель с 3 583 появившимися объектами застройки. По причине посадки уровня в результате многолетней добычи песчано-гравийной смеси из русла р. Ангары в нижнем бьефе Иркутской ГЭС требуется попуск до 1 300 – 1 400 м<sup>3</sup>/с против проектного попуска 1 050 м<sup>3</sup>/с для обеспечения работы расположенных здесь водозаборов. При описанных обстоятельствах Правительство РФ Постановлением № 234 от 26 марта 2001 г. ограничило высоту регулирующей призмы оз. Байкал до 1 м: от НПУ = 457,0 м до отметки предельной сработки 456,0 м (рис. 12.7). Снижение регулирующего эффекта оз. Байкал грозит в маловодные годы нарушением судоходства и работы водозаборов на бесподпорном 100-километровом участке р. Ангары ниже Иркутской ГЭС, а в годы с повышенной водностью – затоплением населенных массивов в городах Иркутске и Ангарске [447]. Ситуация была описана в 2006 г. [447] и пока, по-видимому, не разрешена [567].

Водоохранилища недельного и суточного регулирования отличаются от рассмотренных выше водохранилищ многолетнего и сезонного регулирования отсутствием предполоводной сработки [7].



Рис. 12.2. Отмели на Рыбинском водохранилище, обнажившиеся при летне-осеннем понижении уровня воды [163]



Рис. 12.3. Осушенная зона при зимней сработке уровня на Камском водохранилище [418]



Рис. 12.4. Сработка уровня Братского водохранилища в предполоводный период [<http://nature.baikal.ru>]

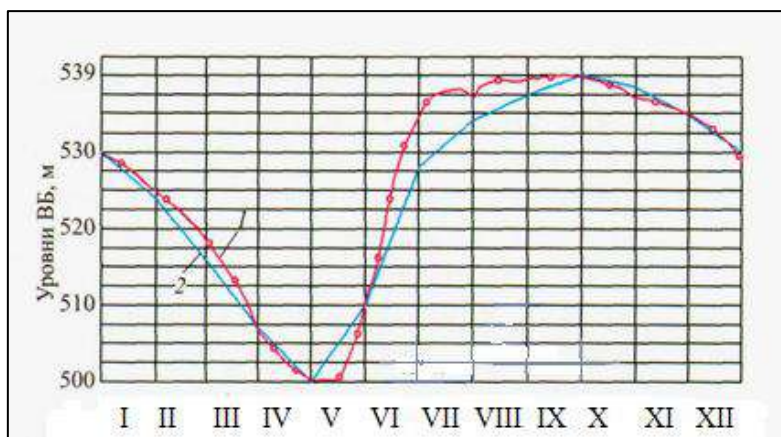


Рис. 12.5 Уровенный режим водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС в 2006 г.: 1 – фактический; 2 – расчетный (среднегодовой) [709]



Рис. 12.6. Зона сработки уровня Саяно-Шушенского водохранилища, выделяющаяся на берегах [forum.hnet.ru]

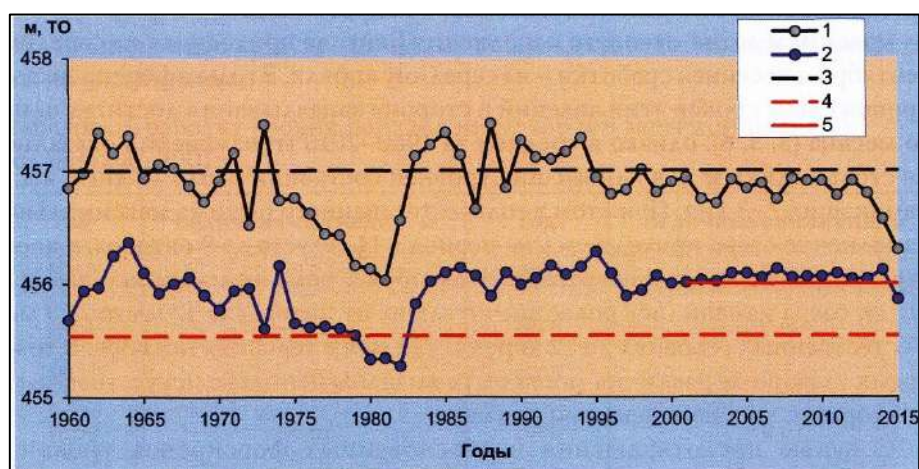


Рис. 12.7. Динамика зарегулированных уровней оз. Байкал в 1960 – 2015 гг.: 1 – наивысший уровень в году; 2 – наимизший уровень; 3 – НПУ; 4 – УМО; 5 – установленная с 2001 г. нижняя предельная отметка

### 12.3. Водный баланс водохранилищ

**Водный баланс**, это соотношение прихода и расхода воды с учетом изменения ее запасов за выбранный интервал времени для рассматриваемого объекта [171; 737].

Водный баланс водохранилища отражает характер регулирования стока, взаимодействие природных и антропогенных факторов. Причем, воздействие последних определяет характер расходной, а в водохранилищах каскадов и приходной части баланса. Выражение водного баланса водохранилища можно записать символами в виде [122]:

$$W_K - W_{K-1} = Q_{\text{пр}} \cdot t + W_0 - Q_r \cdot t - Q_{\text{п}} \cdot t - W_{\text{и}} - W_{\text{л}} - W_{\text{ф}} \pm \Delta W,$$

где  $t$  – продолжительность рассматриваемого интервала времени, с;

$W_K, W_{K-1}$  – объемы воды в водохранилище соответственно на конец и начало интервала, м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{пр}}$  – расход поверхностного притока в водохранилище, м<sup>3</sup>/с;

$W_0$  – объем осадков на водное зеркало водохранилища, м<sup>3</sup>;

$Q_r$  – расход сброса воды через гидроузел (ГЭС, водосброс, шлюз), м<sup>3</sup>/с;

$Q_{\text{п}}$  – расход безвозвратного потребления воды из водохранилища, м<sup>3</sup>/с;

$W_{\text{и}}, W_{\text{л}}, W_{\text{ф}}$  – объемы потерь воды на дополнительное испарение с поверхности водохранилища, льдообразование и фильтрацию, м<sup>3</sup>;  $\Delta W$  – объем невязки баланса, м<sup>3</sup> (допускается 1 – 5 %); величины  $W_0, W_{\text{и}}, W_{\text{л}}, W_{\text{ф}}$  определяются за рассматриваемый интервал времени, а значения  $Q_{\text{пр}}, Q_r, Q_{\text{п}}$  берутся средние за этот интервал; продолжительность интервала  $t$  принимается обычно равной 1 месяцу; в половодье – возможно декаде или пятидневке. В левой части вышеприведенного выражения записана аккумулятивная составляющая баланса. В правой части стоят составляющие приходной (+) и расходной (–) частей.

**Приходную часть водного баланса** водохранилища обеспечивает поверхностный приток с водосбора. При этом в каскадах приток трансформируется вышележащими водохранилищами. В **расходной части баланса** основу составляет сброс воды через гидроузел. Для всех водохранилищ приток и сброс воды доминируют над остальными составляющими баланса. Соотношением приходной и расходной частей баланса определяются два периода в годовом цикле водного режима водохранилища – наполнение и сработка [122].

**Осадки на водное зеркало водохранилища** даются в климатических справочниках как среднегодовые, так и по месяцам. В равнинной части

европейской территории страны среднее годовое количество осадков (норма) составляет 500 – 600 мм, в арктической зоне Сибири 200 – 300 мм, на Дальнем Востоке 550 – 800 мм, в горных районах Алтая 800 – 1300 мм [347]. Для периода ледостава в оценках водного баланса величина осадков приравнивается нулю [122].

**Потери воды на дополнительное испарение** с поверхности водохранилища определяются разностью между испарением с водной поверхности и с суши по месячным интервалам времени за безледоставный период как  $W_{и} = (E_{в} - E_{с})(F_{в} - F_{р}) \cdot 1000$ , м<sup>3</sup>, где  $E_{в}$ ,  $E_{с}$  – слои испарения с водной поверхности и с суши за рассматриваемый месяц, мм;  $F_{в}$  – площадь поверхности воды водохранилища средняя за данный месяц, км<sup>2</sup>;  $F_{р}$  – площадь поверхности воды в реке на длине водохранилища, км<sup>2</sup>. Если площади водной поверхности водохранилища и реки отличаются незначительно, что возможно для русловых водохранилищ, то потерями на дополнительное испарение можно пренебречь. Если же площадь поверхности воды водохранилища велика по сравнению с площадью поверхности воды в реке, то последнюю можно принять равной нулю [347; 598]. В районах с сухим климатом большие водохранилища в результате испарения с их водной поверхности увеличивают объемы безвозвратных потерь воды, т.е. выступают в роли одного из ее потребителей [117].

Для представления о величине дополнительного испарения укажем, что на территории России средняя годовая величина испарения с поверхности суши составляет 100 – 500 мм, а с водной поверхности водоемов 300 – 1 000 мм, увеличиваясь с севера на юг [347].

Годовой слой испарения по районам некоторых водохранилищ Волжского бассейна равен [7; 117], мм:

	с суши	с водной поверхности	дополнительное
Горьковское	350	450	100
Чебоксарское	300	500	200
Куйбышевское	255	630	375
Волгоградское	330	1100	770
Нижнекамское	310	655	345

На всей территории бассейна р. Волги средние величины испарения с водной поверхности закономерно возрастают с северо-запада к юго-востоку от 350 – 450 мм/год до 900 – 1000 мм/год и более. При этом за период 1978 – 2010 гг. по отношению к предшествовавшему периоду 1951 – 1977 гг. среднее испарение с водной поверхности уменьшилось в бассейнах Верхней

Волги с 400 до 335 мм/год, а в бассейнах Нижней Волги с 1000 до 820 мм/год (т.е. на 10 – 20 %), что объясняется падением средней скорости ветра. При этом суммарное испарение с поверхности суши с середины 1960-х гг. до конца 1980-х гг. увеличилось в среднем на 2 – 4 % в год, что обусловлено ростом температуры воздуха и осадков [339].

Объем дополнительных потерь на испарение с поверхности всех водохранилищ страны не превышает 0,2...0,3 % стока рек [122].

**Потери воды на льдообразование** различают безвозвратные и возвратные (временные). Безвозвратные потери – это объем льда, сброшенный из верхнего бьефа через водосбросные сооружения гидроузла. Чаще всего лед тает в водохранилище, тогда этих потерь нет (рис. 12.8).



Рис. 12.8. Таяние льда в Саяно-Шушенском водохранилище и в малом водохранилище Протяжка на р. Саровке в Нижегородской области

Возвратные потери бывают в тех случаях, когда при снижении уровня водохранилища часть ледяного поля оседает на склонах берегов и до весны не может быть использована, а с наступлением теплого периода этот лед тает и вода поступает в водохранилище [347]. Лед, опустившийся на грунт, на больших водохранилищах перед весенним половодьем может занимать площадь в сотни квадратных километров. Так, на 10.04. 2005 г. замеренная площадь оседания льда по периметру Горьковского водохранилища составляла около 290 км<sup>2</sup>. Возвращение воды из осевшего льда приурочивается к началу половодья, длительность поступления этой воды – около 20 дней. При отсутствии зимней сработки водохранилища временные потери на льдообразование равны нулю [598].

**Потери на фильтрацию** происходят при фильтрации воды из водохранилища через напорные сооружения гидроузла, их основания и сопряжения с берегами из верхнего бьефа в нижний бьеф, а также через основание и борта водохранилища.

Фильтрация через сооружения гидроузла обычно незначительна. Она рассчитывается при проектировании сооружений [515].

Фильтрация в основании и бортах водохранилища зависит от геологических и гидрогеологических условий долины, от величины созданного подпора, от положения зеркала подземных вод относительно уровня водохранилища. Может происходить утечка воды из водохранилища в основание и борта или дополнительное питание его посредством безнапорной фильтрации.

Наибольшие потери воды на фильтрацию наблюдаются в период первоначального наполнения водохранилища, когда грунты насыщаются водой; они могут достигать 10 – 15 % объема водохранилища в год; на третий-четвертый год наступает стабилизация. Так, фильтрационные потери воды на насыщение dna и бортов Рыбинского водохранилища в первые годы его заполнения составляли от 1,5 до 4 км<sup>3</sup>/год. В первые годы существования Куйбышевского водохранилища фильтрационные потери составляли 3,5 – 4 км<sup>3</sup>/год [262].

В эксплуатационный период при относительно постоянном уровне водохранилища фильтрация приобретает установившийся характер. Так, по данным замеров расходы фильтрационного потока в створе Нижегородского гидроузла составляют через грунтовые плотины 1 150 л/с, через основание водосливной бетонной плотины 3,7 л/с и здания ГЭС – 1,7 л/с. Береговые примыкания, сложенные глинисто-мергелистыми отложениями,

практически не фильтруют. Своеобразным путем фильтрации является па- леодолина р. Волги, слева обходящая гидроузел, через которую фильтрует 5 530 м<sup>3</sup>/сутки воды. Суммарный фильтрационный расход из Горьковского водохранилища составляет 130058 м<sup>3</sup>/сутки, фильтрационные потери за год – 0,05·10<sup>9</sup> м<sup>3</sup> [306].

Потери воды на фильтрацию через ложе (основание и борта) водохра- нилища можно оценить приблизительно в виде слоя воды, теряемой с зер- кала водохранилища (табл. 12.2), или рассчитать современными методами [515]. Наибольший процент фильтрационных потерь характерен для мелко- водных водохранилищ, а наименьший – для глубоководных [710]. При по- стоянном уровне водохранилища в течение года потери на фильтрацию бу- дут одинаковыми по месяцам.

Таблица 12.2

**Приблизительные величины потерь воды на фильтрацию  
в дно и борта водохранилища [347]**

Гидрогеологические условия	Потери за год		Потери за месяц	
	слой, см	% объема водохранилища	слой, см	% объема водохранилища
Благоприятные – водоне- проницаемые породы (граниты, глина), грунтовые воды высокие	50	5 – 10	4	0,5 – 1
Средние (суглинки)	50 – 100	10 – 20	4 – 8	1 – 1,5
Неблагоприятные – водо- проницаемые породы, водоносные горизонты отсутствуют	100 – 200	20 – 40	8 – 16	1,5 – 3

Особенным образом происходит фильтрация воды из водохранилищ в области вечной мерзлоты. Сплошная толща вечномерзлых пород является в целом водоупорной. Подмерзлотные горизонты обычно обводнены, причем почти повсеместно эти воды напорные. Под водохранилищем, как правило, развивается сквозной талик. Через талик возможна фильтрация воды из водохранилища под толщу мерзлого грунта, если оттуда имеется сток. [587].

Составление водного баланса водохранилища на предстоящий период времени по намечаемым на перспективу расходам водопотребления и водо- пользования (отдаче водохранилища) при существующей или



проектируемой зарегулированности стока с учетом безвозвратных потерь воды представляет собою **водохозяйственный расчет** [347; 385].

Отдачу водохранилищ связывают с надежностью водообеспечения [385; 598; 599]. Показателем надежности является гарантированная отдача, под ней понимается минимальный расход воды или мощность ГЭС, которые могут быть предоставлены с некоторой вероятностью. Вероятность задается в виде расчетной обеспеченности (вероятности превышения)

$p_{\text{расч}} = m/(n + 1)$ , где  $m$  – число лет, в течение которых обеспечивается необходимая отдача;  $n$  – общее число лет. Расчетная обеспеченность обосновывается технико-экономическими расчетами. В предварительном порядке ее можно принимать по табл. 12.3.

Таблица 12.3

**Обеспеченность отдачи водохранилища по числу бесперебойных лет**  
[385; 598]

Направление отдачи	Обеспеченность, %
Промышленное водоснабжение	95...97
Водоснабжение ГЭС	97...99
Гидроэлектростанции крупные	85...98
Орошение земель	75...85
Водный транспорт	85...95

Изложенное сопровождается сведениями о **годовых водных балансах** энергетических водохранилищ, расположенных в разных регионах страны.

Основную роль в питании Рыбинского водохранилища играют воды трех рек – Волги и ее притоков Мологи и Шексны. Сезонное распределение притока в Рыбинское водохранилище в результате влияния вышележащих Ивановского, Угличского и Шекснинского гидроузлов отличается от естественного, однако внутригодовое перераспределение стока не повлияло на основные составляющие его водного баланса. Фактический средний многолетний приток к водохранилищу (35,36 км<sup>3</sup>/год) близок к проектному (34,0 км<sup>3</sup>/год). В состав притока 2,26 км<sup>3</sup>/год (6,39 %) приносят осадки на поверхность водохранилища. За период наблюдений 1947 – 1991 гг. приток по годам изменялся в пределах 17,45 – 56,62 км<sup>3</sup>/год. В фактическом среднемноголетнем расходе воды 35,36 км<sup>3</sup>/год сток через гидроузел составил 33,30 км<sup>3</sup>/год (94,17 %), а на испарение с поверхности водохранилища пришлось 2,06 км<sup>3</sup>/год (5,82 %) – значительно больше проектной величины 0,4 км<sup>3</sup>/год [112; 462].

В табл. 12.4 помещены сведения о среднем многолетнем водном балансе остальных волжских водохранилищ с учетом притока, осадков, стока и испарения.

Таблица 12.4

**Средний многолетний водный баланс водохранилищ  
Волжского каскада [112]**

Водохранилище	Ряд наблюдений, годы	Приход, км <sup>3</sup> /год			
		Приток	Осадки	Сумма	Пределы изменений
Иваньковское	1951 – 1990	10,07	0,19	10,26	4,94 – 17,90
Угличское	1948 – 1990	11,46	0,15	11,61	5,35 – 22,00
Рыбинское	1947 – 1991	33,10	2,26	35,36	17,45 – 56,62
Горьковское	1957 – 1990	49,53	0,95	50,48	26,92 – 69,03
Чебоксарское	1981 – 1990	118,8	0,61	119,50	98,89 – 146,54
Куйбышевское	1957 – 1991	244,3	2,92	247,22	160,60 – 353,81
Саратовское	1969 – 1990	248,3	0,98	249,28	170,16 – 342,82
Волгоградское	1962 – 1990	259,2	1,24	260,44	164,3 – 337,3
Водохранилище	Ряд наблюдений, годы	Расход, км <sup>3</sup> /год			
		Сток	Испарение	Сумма	Пределы изменений
Иваньковское	1951 – 1990	10,09	0,17	10,26	5,22 – 17,12
Угличское	1948 – 1990	11,47	0,14	11,61	5,52 – 22,9
Рыбинское	1947 – 1991	33,30	2,06	35,36	16,78 – 51,46
Горьковское	1957 – 1990	49,57	0,91	50,48	26,79 – 68,85
Чебоксарское	1981 – 1990	118,78	0,72	119,50	94,97 – 145,29
Куйбышевское	1957 – 1991	243,86	3,36	247,22	169,69 – 350,68
Саратовское	1969 – 1990	247,96	1,31	249,28	163,21 – 332,95
Волгоградское	1962 – 1990	258,98	1,46	260,44	168,7 – 335,2

Иркутское водохранилище, включая подпертое оз. Байкал, является головным для Ангарского каскада ГЭС. Речной приток, формирующийся с площади 540000 км<sup>2</sup>, служит основной компонентой приходной части его водного баланса (80 – 88 %). Две трети притока обеспечиваются тремя основными реками – Селенгой, Верхней Ангарой и Баргузином. Атмосферные осадки оставляют 12 – 20 % прихода. Расходную часть водного баланса формируют сток из озера через р. Ангару (73 – 86 %) и испарение с его акватории (14 – 27 %) [567]. На рис. 12.9 немного другие данные, т.к. рассмотрен другой временной период [117]. Основные изменения стока после зарегулирования Байкала коснулись внутригодового распределения, которое раньше

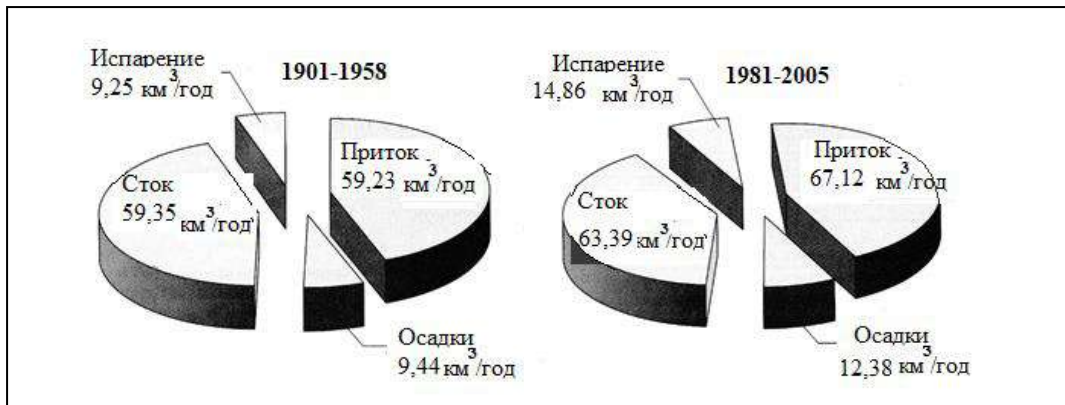


Рис. 12.9. Структура водного баланса оз. Байкал за периоды естественного 1901 – 1958 гг. и зарегулированного 1981 – 2005 гг. режимов [117]

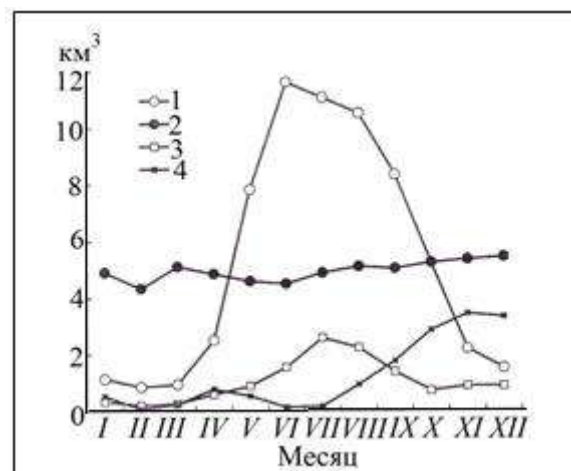


Рис. 12.10. Внутригодовое распределение элементов водного баланса оз. Байкал в условиях зарегулированного режима за 1962 – 2008 гг.:

1 – приток; 2 – сток; 3 – осадки; 4 – испарение [567]

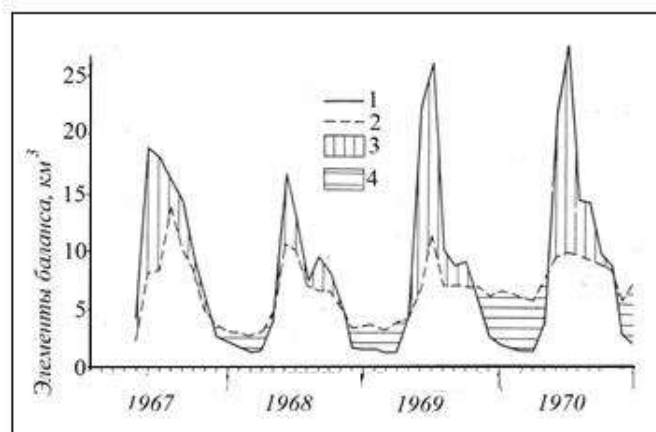


Рис. 12.11. Изменение основных элементов водного баланса Красноярского водохранилища в начальный период эксплуатации: 1 – приток; 2 – сброс; 3 – превышение притока над сбросом; 4 – превышение сброса над притоком [676]

соответствовало изменениям притока, а теперь существенно выровнялось (рис. 12.10) [567].

Для Красноярского водохранилища сток рек (Енисея, Абакана и Тубы) в приходной части водного баланса составляет не менее 98 %, остальное приходится на осадки и оттаявший лед. В расходной части баланса 96 – 98 % составляет сброс воды через ГЭС, 2 – 4 % – испарение и фильтрация. Превышение притока воды над сбросом наблюдается в течение 5 – 7 месяцев в году (рис. 12.11). Примерно так же выглядят водные балансы других водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада (табл. 12.5) [112; 676].

Таблица 12.5

**Средний годовой водный баланс водохранилищ  
Ангаро-Енисейского каскада [112]**

Водоохранилище	Период	Приходная часть, км <sup>3</sup>		Расходная часть, км <sup>3</sup>	
		приток	осадки	сброс	испарение
Братское	1962 – 1980	91,30	1,62	90,98	1,94
Усть-Илимское	1977 – 1980	100,44	0,76	100,60	0,60
Саяно-Шушенское	–	46,70	0,31	46,70	0,31
Красноярское	1967 – 1980	87,02	0,69	86,47	1,24

В табл. 12.6 выписаны показатели водного баланса некоторых водохранилищ северо-востока России.

Таблица 12.6

**Средний годовой водный баланс водохранилищ северо-востока [112]**

Водоохранилище	Период	Приходная часть, км <sup>3</sup>		Расходная часть, км <sup>3</sup>	
		приток	осадки	сброс	испарение
Курейское	–	19,22	0,45	19,50	0,17
Вилуйское	1974 – 1980	18,13	0,60	17,95	0,78
Зейское	–	23,04	1,20	23,37	0,87

Приведенная сводка данных позволяет видеть, что структура годовых водных балансов российских водохранилищ сравнительно однообразна.

## 12.4. Водный режим нижних бьефов гидроузлов

Характерные черты водного режима в нижних бьефах гидроузлов определяются видом регулирования стока, в наибольшей мере проявляясь на свободных, т.е. не подпертых нижележащими водохранилищами участках рек.

**При сезонном регулировании** (выравнивании) уменьшаются половодные и возрастают межени (летние и зимние) среднесуточные расходы воды в нижних бьефах энергетических гидроузлов. Сезонное регулирование стока крупных рек сказывается на режиме уровней нижних бьефов на протяжении многих километров.

Волжско-Камский каскад ГЭС и водохранилищ существенно смягчил ситуацию с половодьями и значительно улучшил ситуацию с летними межнями на Волге и Каме. Так, Рыбинское водохранилище срезает пики половодий Верхней Волги вероятностью превышения 0,1 % с 13 000 до 8 600 м<sup>3</sup>/с, а вероятностью превышения 10 % – с 9 600 до 3 000 м<sup>3</sup>/с. Столь значительное уменьшение расходов воды привело к снижению половодных уровней на 4 – 7 м. Благодаря же увеличению межених расходов более чем в 2 раза уровни до г. Нижнего Новгорода повысились на 1,5 м по сравнению с бытовыми [7]. Гарантированная для судоходства глубина р. Волги до ее реконструкции составляла в верховье 0,4 – 0,5 м, с зарегулированием реки она приблизилась к 4 м [108]. Аналогично – в нижних бьефах других волжских и камских гидроузлов (табл. 12.7).

Таблица 12.7

**Увеличение навигационных расходов в нижних бьефах гидроузлов на реках Волге и Каме в связи с зарегулированием стока [7; 462; 496]**

Река	Водоохранилище	Расходы и обеспеченность			
		в условиях регулирования		в естественных условиях	
		расход попуска, м <sup>3</sup> /с	обеспеченность %	расход, м <sup>3</sup> /с	обеспеченность, %
Волга	Горьковское	1 100	90	450	96
– ” –	Куйбышевское	4 000	97	2 400	96
– ” –	Волгоградское	4 000	97	2 310	96
Кама	Камское	900	90	485	97
– ” –	Воткинское	1 000	95	530	96

На р. Зее, впадающей в р. Амур у г. Благовещенска, работает Зейская ГЭС (см. рис. 7.9) с водохранилищем полным объемом 68,42 км<sup>3</sup>, полезным объемом 38,26 км<sup>3</sup> и резервной емкостью между отметками НПУ и ФПУ 18,98 км<sup>3</sup>, построенная в 1965 – 1968 гг. Водоохранилище ведет многолетнее регулирование стока и, наряду с энергетической функцией, выполняет

функцию предотвращения наводнений в долинах рек Зеи и Амура за счет аккумуляции паводкового стока в полезной и резервной емкостях [52]. В летний паводок 2007 г. редкой повторяемости с максимумом 15200 м<sup>3</sup>/с (см. раздел 7.2) оно срезало его пик до 4844 м<sup>3</sup>/с (рис. 12.12), так что в нижнем бьефе затопило только участки с неконтролируемой застройкой [81].

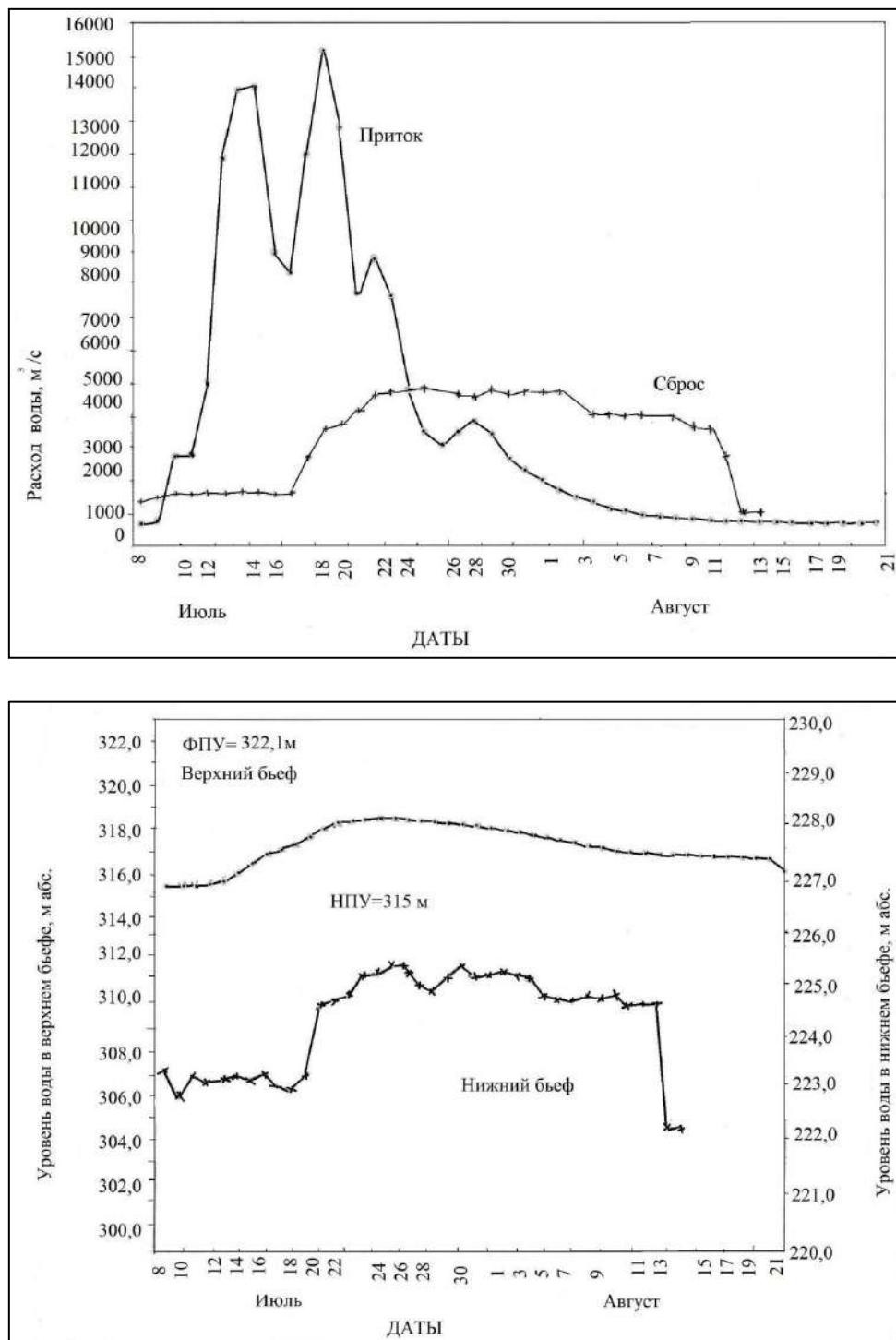


Рис. 12.12. Уровни воды в верхнем и нижнем бьефах Зейского гидроузла в паводок 2007 г. [81]

Неудобства от сезонного регулирования стока проявляются зимой, особенно на крупных реках Сибири и Северо-Востока. При увеличении зимних расходов и уровней воды местами происходит затопление пониженных участков пойм с образованием наледей [296].

Для р. Енисея соотношение расходов июня (половодье) и марта (зимняя межень) составляло в створе Красноярской ГЭС – 17,8, у г. Енисейска ниже впадения р. Ангары – 8,2. После зарегулирования стока водохранилищами Братской и Красноярской гидроэлектростанций это соотношение уменьшилось в нижнем бьефе Красноярской ГЭС у г. Красноярска до 3,0, у г. Енисейска – до 3,6. В результате в нижнем бьефе Красноярской ГЭС зимой наблюдаются более высокие против бытовых уровни воды. Аналогичная обстановка создавалась на р. Енисее ниже устья р. Ангары: на участке от г. Енисейска до г. Игарки средние уровни летнего периода оказались на 0,5 – 0,8 м ниже, чем были при естественном состоянии реки, а зимние уровни стали на 0,1 – 0,6 м выше. Таким образом, регулирующее влияние водохранилищ Красноярской и Братской ГЭС распространилось на большую часть длины р. Енисея [114].

Водоохранилище Колымской ГЭС на р. Колыме работает в обычном режиме сезонного регулирования стока. Увеличение зимних расходов Колымской ГЭС вызывает повышение уровней воды на расстоянии более тысячи километров вниз по реке (табл. 12.8).

Таблица 12.8

**Изменение среднемесячных зимних расходов и уровней воды р. Колымы после пуска Колымской ГЭС [416]**

Пункт	Естественные условия		После пуска ГЭС в 1989 – 1990 гг.	
	снижение расходов воды с октября по март-апрель, м <sup>3</sup> /с	понижение уровней воды за зимний период, м	расходы воды, м <sup>3</sup> /с	повышение уровней воды против естественных, м
Створ Колымской ГЭС (Синегорье)	от 150 до 2 – 3	0,84	225 – 350	–
Створ Усть-Среднеканской ГЭС (230 км ниже по течению)	от 240 до 6 – 5	0,76	250 – 380	1,4 – 2,8
г. Среднеколымск (1240 км ниже Колымской ГЭС)	от 980 до 65 – 55	0,73	300 – 450	0,7

Строящаяся в 230 км ниже Усть-Среднеканская ГЭС будет работать

на стоке, прошедшем через агрегаты Колымской ГЭС, пропуская транзитом через свой водосброс ее паводковые сбросы и боковую приточность. Усть-Среднеканское водохранилище будет наполняться в зимний период избыточным стоком из Колымского водохранилища и сбрасываться осенью к концу навигации. Таким образом оно выполнит функции регулирования суточных попусков, способствуя сохранению соответствующего объема воды в Колымском водохранилище, а также смягчит влияние Колымской ГЭС на режим уровней р. Колымы [296; 416].

**При суточном регулировании** резко колеблется величина сбросов воды через ГЭС в течение суток, вызывая в нижних бьефах так называемые волны попусков. Движение волн попусков по нижнему бьефу проявляется в непродолжительных последовательных колебаниях уровней воды. На больших реках эти колебания прослеживаются на расстоянии 50 – 100 км. Внутрисуточные колебания уровней в навигационный период могут мешать судоходству. Зимой они нарушают ледовый режим в нижних бьефах гидроузлов.

Для уменьшения внутрисуточных колебаний уровней в нижних бьефах крупных гидроузлов строят контррегуляторы. Примером можно назвать Майнский гидроузел, расположенный в 21,5 км ниже Саяно-Шушенской ГЭС по течению р. Енисея. Он включает гидростанцию мощностью 107 МВт и водосливную плотину (рис. 12.13). Полезный объем Майнского водохранилища 0,0487 км<sup>3</sup> позволяет выравнять суточные колебания расходов воды Саяно-Шушенской ГЭС. Паводковые сбросные расходы Саяно-Шушенской ГЭС Майнский гидроузел пропускает транзитом [656].



Рис. 12.13. Майнский гидроузел на р. Енисее, вид с левого берега



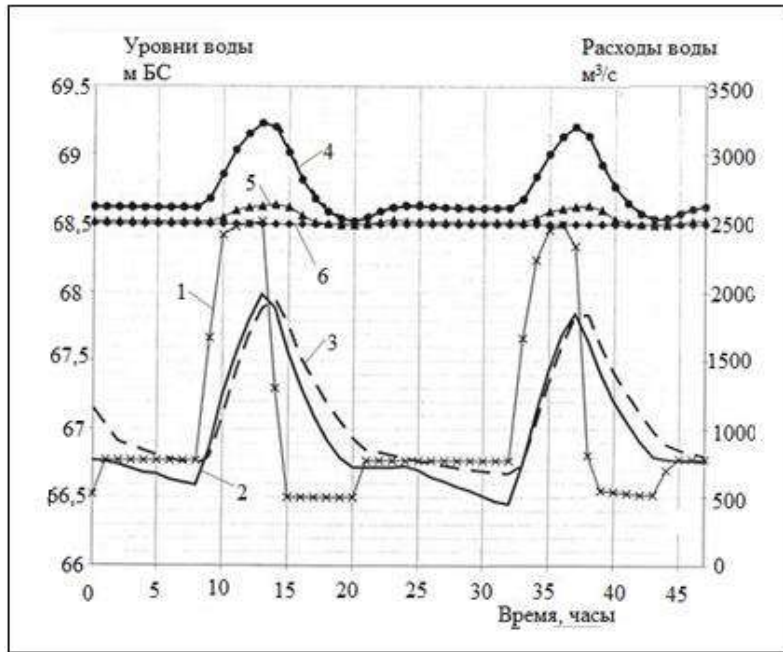


Рис. 12.14. Графики колебания уровней воды в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС:

1 – расходы ГЭС при суточном регулировании 26 – 28.07.2003 гг.; 2 – измеренные и 3 – расчетные уровни воды у г. Городца (6,22 км от ГЭС) при ВПУ = 63,0 м Чебоксарского водохранилища; 4 – расчетные уровни воды у г. Городца при НПУ = 68,0 м Чебоксарского водохранилища; 5 – то же у г. Балахны (28,32 км от ГЭС); 6 – то же у с. Б. Козино (41,0 км от ГЭС) [421]

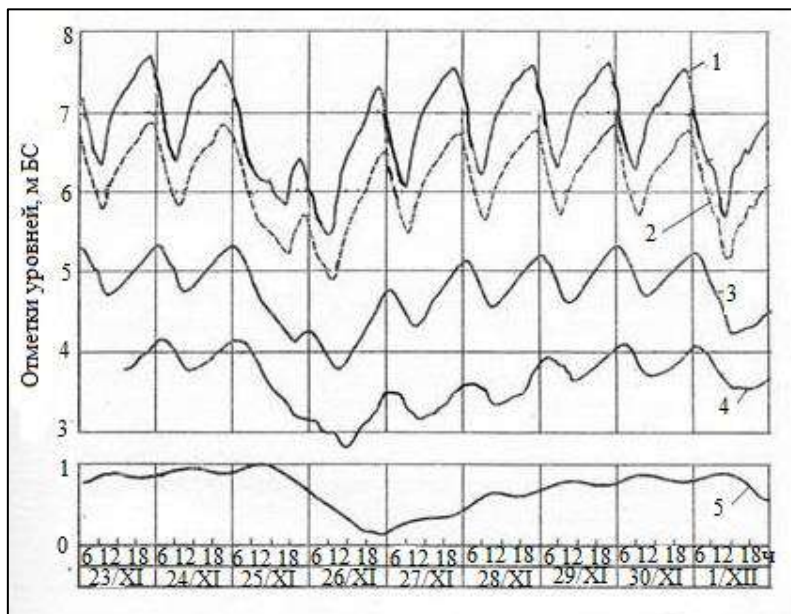


Рис. 12.15. Уровни воды в створах наблюдений нижнего бьефа Волгоградского гидроузла при суточном регулировании в ноябре-декабре 1962 г.: 1 – нижний бьеф; 2 – Волгоград; 3 – Красноармейск; 4 – Светлый Яр; 5 – Каменный Яр [7; 120]

На р. Волге после сооружения каскада водохранилищ остались два свободных (неподпертых) участка: в нижних бьефах Нижегородской и Волжской (Волгоградской) гидростанций. Внутрисуточные колебания уровней воды распространяются в нижние бьефы от Нижегородской ГЭС на 40 км (рис. 2.14), от Волгоградского гидроузла более чем на 100 км (рис. 12.15).

На схеме Волжского каскада 1960-х гг. ниже Волгоградского гидроузла в районе с. Енотаевки присутствовал еще один – Нижне-Волжский гидроузел. Его намеревались построить с напором около 16 м. Кроме обеспечения мероприятий по улучшению сельскохозяйственного использования Волго-Ахтубинской поймы, водохранилище могло бы выполнять функцию контррегулятора Волжской (Волгоградской) ГЭС. Гидроузел остался в «относительно отдаленной перспективе» [108].

Рассмотрим пристальнее **нижний бьеф Нижегородского гидроузла**, из-за отсутствия проектного подпора от Чебоксарского водохранилища пребывающий в свободном (бытовом) состоянии.

Одной из основных задач каскада гидроузлов на р. Волге было создание глубоководной системы в европейской части страны для перевода водного транспорта на крупные речные суда. Отметка подпора Чебоксарского гидроузла принималась минимальной по условиям сопряжения его с вышележащим Горьковским (Нижегородским) гидроузлом и неподтопления г. Горького (Нижнего Новгорода), заречная часть которого страдала от наводнений в бытовых условиях [397].

Чебоксарский гидроузел строился 17 лет: в 1968 г. были начаты подготовительные работы, в 1969 г. – строительство гидроэлектростанции, в 1981 г. пущен ее 1-й, а в 1986 г. – последний 18-й агрегат [108].

Среднемноголетний сток в створе гидроузла равен 111,7 км<sup>3</sup>/год. Его составляют расходы р. Волги, зарегулированные вышележащими водохранилищами, и боковая приточность, большую часть которой (54,2 км<sup>3</sup>/год) дают реки Ока, Сура и Ветлуга [121].

Чебоксарское водохранилище расположено в пределах Чувашской и Марийской республик и Нижегородской области. Его проектный НПУ равен 68,0 м БС, УМО = 65,0 м БС. С 1982 г. до настоящего времени водохранилище эксплуатируется с ВПУ = 63,0 м БС ± 0,3 м при отсутствии регулирующей емкости (табл. 12.9).

Из-за пониженного на 5 м напора Чебоксарская ГЭС недобирает около 40 % из установленной мощности 1370 МВт и не участвует в сезонном

регулировании стока [441]. При том, что для покрытия пиковой мощности, которой начинает не хватать в европейской части страны, специально строится Загорская ГАЭС-2 в Подмосковье.

Таблица 12.9

**Показатели Чебоксарского водохранилища при отметках подпорного уровня ВПУ= 63,0 и НПУ= 68,0 м БС [441]**

Наименование показателей	Значение	
Подпорный уровень, м БС	63,0	68,0
Уровень мертвого объема, м БС	63,0	65,0
Форсированный подпорный уровень, м БС, при пропуске половодья вероятностью превышения:	1 %	68,2
	5 %	68,0
	10 %	68,0
Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	1 080	2 145
Площадь нормируемых 2-метровых мелководий, км <sup>2</sup> /%	340 / 31,5	445 / 20,7
Площадь затопленных земель, га	111 833	216 242
Площадь подтопления, га	30 694	70 224
Полный объем, км <sup>3</sup>	4,6	12,6
Полезный объем, км <sup>3</sup>	0,0	5,35
Длина водохранилища, км: по р. Волге по р. Оке	260	335
	–	153
Ширина, км: средняя максимальная	4,1	4,6
	15,0	19,0
Глубина, м: средняя максимальная	4,2	5,9
	24,0	30,0
Тип регулирования	суточное	сезонное

Чебоксарское водохранилище при отметке ВПУ = 63,0 м БС не достигает Нижегородского гидроузла и на 60-километровом участке р. Волги от него до г. Нижнего Новгорода (рис. 12.16) сохраняется речной режим расходов и уровней воды, подверженный влиянию только Нижегородской ГЭС. Рис. 12.17 дает представление об этом участке. На снимке, полученном 29 апреля 2001 г. сенсором Aster с космического аппарата Terra, зафиксированы урезы р. Волги. Разрешение снимка 15 м. Сюда же нанесены урезы воды как результат гидродинамического моделирования в программе Stream (разработка университета Карлсруе, Германия) по расходу 3450 м<sup>3</sup>/с, отмеченному в тот же день гидропостом г. Балахны [323]. Видимые расхождения в положении урезов для данной иллюстрации значения не имеют.

По данным Верхне-Волжского УГМС в естественных условиях до 1941 г. максимальный уровень р. Волги у г. Балахны почти ежегодно превышал отметку 75,0 м БС, а в 1926 г. достиг отметки 76,88 м БС, в период же после постройки ГЭС с 1957 г. по 2003 г только шесть раз превышал



Рис. 12.16. Вид вверх по течению на р. Волгу от г. Нижнего Новгорода, 2000-е гг. [photogorky.ru]



Рис.12.17. Космический снимок р. Волги на участке Нижегородская ГЭС – г. Нижний Новгород от 29.04.2001 г. с нанесенными урезами воды по данным моделирования [323]



Рис. 12.18. Панорама низконапорного транспортного гидроузла на р. Волге выше г. Нижнего Новгорода по обоснованию инвестиций 2004 г.:

- 1 – земляная плотина; 2 – водосливная плотина; 3 – здание ГЭС (35 МВт);
- 4 – судоходный шлюз, с габаритами камер 300х30х5 м; 5 – автодорожный четырехполосный мост длиной 1710 м над сооружениями гидроузла [432]

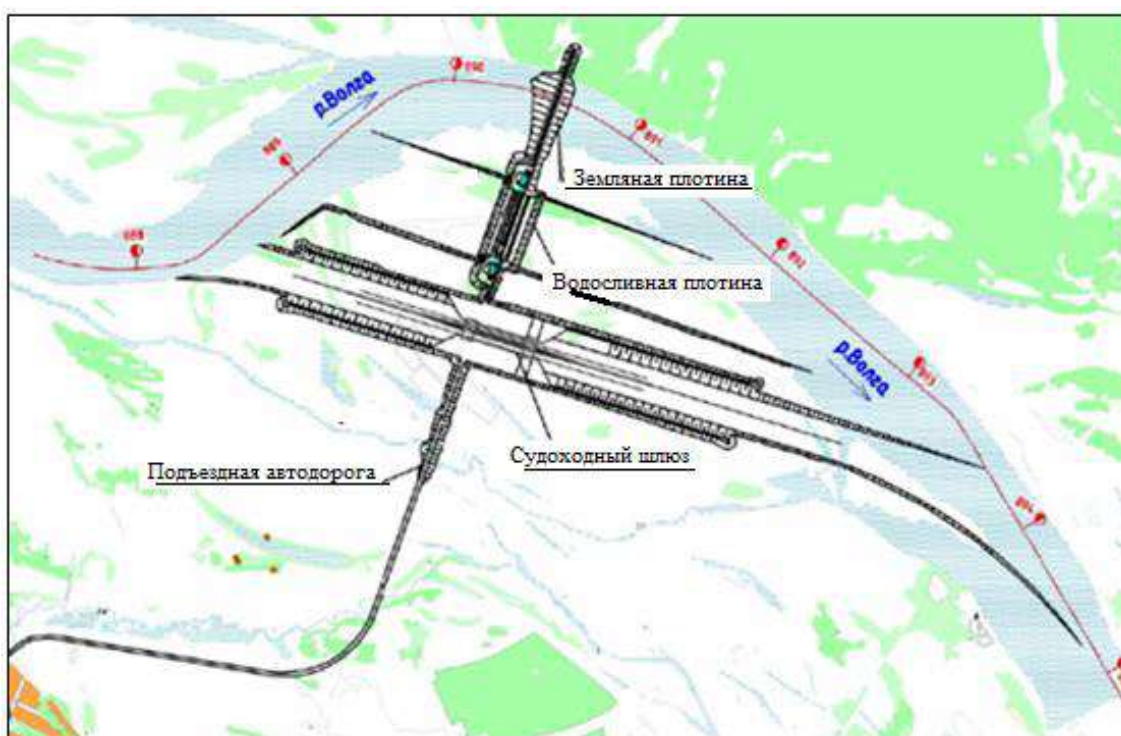


Рис. 12.19. Генплан Нижегородского низконапорного транспортного гидроузла по проектной документации 2015 г. [627]

отметку 72,0 м БС. Причем последний период содержал как маловодную (1957 – 1977 гг.) так и многоводную (с 1978 г.) фазы, и водность периода не могла повлиять на снижение максимальных уровней. Максимальные расчетные уровни Волги на участке Городец – Н. Новгород различной обеспеченности в зарегулированном режиме на 2,5 – 3,5 м ниже уровней той же обеспеченности в естественных условиях.

В табл. 12.10 указаны минимальные уровни р. Волги, наблюдаемые на водомерных постах в г. Балахне и г. Н. Новгороде в различные периоды: до 1941 г. – при естественных условиях; в 1942 – 1955 гг. – до постройки Горьковской ГЭС; в 1957 – 1980 гг. – до постройки Чебоксарской ГЭС. Очевидно повышение минимальных уровней в пределах 0,2 – 0,5 м, более существенное в зимнюю межень [679].

Таблица 12.10

**Наблюдаемые минимумы уровней воды р. Волги**  
[458; 679]

Периоды наблюдений	Уровни воды (м БС) и даты наблюдений	
	г. Балахна	г. Н. Новгород (Сормово)
До 1941 г.	64,49 (16.09.1939)	62,06 (17.10.1882)
1942 – 1955 г.	65,22 (20.11.1944)	62,40 (21.11.1944)
1957 – 1980 гг.	64,72 (06.12.1975)	62,78 (07.11.1975)

Вместе с этим за десятилетия функционирования Нижегородского (Горьковского) гидроузла в нижнем бьефе произошла глубинная эрозия русла Волги примерно на 1,0 – 0,5 м (соответственно, у г. Городца и г. Балахны), что привело к падению судоходных глубин в камерах шлюза и на перекатах реки. В период навигации ГЭС подает в нижний бьеф среднесуточный расход воды 1100 м<sup>3</sup>/с для обеспечения судоходства. В итоге, с учетом среднесуточного графика работы ГЭС (см. рис. 12.14), на лимитирующих перекатах гарантированная судоходная глубина 3,5 м выдерживается лишь 2 – 3 часа в сутки (табл. 12.11), что затрудняет транзитное плавание большегрузных судов [679].

Проблема не нова: этот участок лимитирует осадку судов с момента пуска Горьковской гидроэлектростанции [7]. Для обеспечения судоходных глубин необходим подпор уровня воды. Подпор логично осуществить повышением уровня Чебоксарского водохранилища до проектной отметки НПУ = 68,0 м БС [345; 679], хотя при этом и потребуется более глубокое регулирование высоких половодий р. Волги для предотвращения затопления окраин заречной части г. Нижнего Новгорода (табл. 12.12).

Таблица 12.11

**Глубины на перекатах р. Волги в нижнем бьефе  
Нижегородской ГЭС при среднесуточном расходе воды 1100 м<sup>3</sup>/с  
[679]**

Перекаты	Глубина в часы суток, м							
	8 ч	12 ч	14 ч	16 ч	18 ч	20 ч	22 ч	24 ч
Городецкий	2,60	3,30	3,40	3,50	3,20	3,00	3,00	3,00
Н. Кочергинский	3,20	3,20	3,50	3,90	3,50	3,20	3,10	3,10
Н. Ветлянский	3,00	3,10	3,40	3,80	3,50	3,30	3,20	3,20

Таблица 12.12

**Максимальные уровни воды р. Волги у г. Нижнего Новгорода\*  
по данным Верхне-Волжского УГМС [679]**

Период наблюдений	Подпорный уровень Чебоксарского водохранилища, м БС	Уровни половодий (м БС) вероятностью превышения	
		1 %	10 %
1887...2006 гг.	63,0	76,26	74,07
1936...2006 гг. (после строительства верхневолжских водохранилищ)	63,0	73,73	72,05
Прогноз	68,0	76,1	74,7

\* Отметки основной территории заречной части города 75,0 – 78,0 м. Уровень начала затопления окраин заречной части 72,0 м (1994 г.)

Имеется «Обоснование инвестиций завершения строительства Чебоксарского гидроузла» с повышением уровня водохранилища до НПУ= 68,0 м [441]. Однако непреодолимым препятствием для реализации проекта в течение многих лет выставляется обязательность колоссальной финансовой компенсации ущерба от затопления отчужденных под водохранилище территорий Марийской республики и Нижегородской области [345]. Главы этих регионов против. Сенаторы (областные), выражающие на лицах счастье, никогда не смогут сказать губернатору, что мол Вы не правы [690]. Проект достройки последней ступени Волжского энергетического каскада остановлен.

Но большегрузам плавать надо. Туда и обратно. Для обеспечения профицита государственного бюджета. В 2000 г. Российская Федерация вступила в «Европейское соглашение о важнейших внутренних водных путях международного значения» от 1996 г. Магистральный водный путь Санкт-Петербург – Рыбинск – Нижний Новгород – Казань – Волгоград – Астрахань получил международное значение [128; 625; 644].

В 2003 г. Министерство транспорта РФ выступило с идеей строительства на р. Волге выше г. Нижнего Новгорода на расстоянии 42 км от Нижегородской ГЭС низконапорного транспортного гидроузла с НПУ = 68,0 м БС по примеру транспортных гидроузлов, действующих на р. Оке и Нижнем Дону. В 2004 г. появилось обоснование инвестиций [432]. Гидроузлом (рис. 12.18) собирались решить две транспортные проблемы: обеспечение гарантированных судоходных глубин на вышележащем участке Волги и создание автомобильного перехода через реку на трассе Москва – Киров в обход Нижнего Новгорода, необходимого городу. Держать подпор будут только в период навигации, половодья пропускать через водосливную плотину и по пойме. Напор на гидроузле при НПУ = 68,0 м БС равен 4 м, подпорный уровень – ниже максимальных наблюдаемых уровней половодья (табл. 12.13), зона затопления при НПУ не выходит за пределы русла с отметками бровок поймы 69,0 – 70,0 м. В камерах нижнего шлюза Нижегородского гидроузла при отметках порогов 64,0 м БС гарантируется глубина 4,0 м в маловодные годы [432]. В 2007 г. нижегородский губернатор с идеей выразил согласие. Марийской республики она не коснулась.

Таблица 12.13

**Наблюденные максимумы уровня воды р. Волги в 1990 – 2000-е**  
[432; 679]

Годы	Уровни воды (м БС) и даты наблюдений		
	Гидропост №7 г. Городец	Гидропост г. Балахна	Гидропост г. Н. Новгород (Сормово)
1998	71,86 (4.05)	70,94 (4.05)	70,01 (4.05)
1999	72,90 (23.04)	72,21 (26.04)	71,61 (26.04)
2001	71,46 (27.04)	70,82 (26.04)	70,43 (27.04)
2002	70,54 (2.05)	69,33 (3.05)	67,53 (9.05)

Выпущена проектная документация по гидроузлу, датированная 2015 г. [627], заказанная Федеральным агентством морского и речного транспорта. Проект оптимизирован: автоперехода через Волгу нет (рис. 12.19).

На рис. 12.20 проиллюстрирован режим уровней р. Волги на участке верхнего бьефа низконапорного транспортного гидроузла [421].

В 2019г. были как бы начаты подготовительные работы в районе створа. Но проект [627] не прошел госэкспертизу и завис.



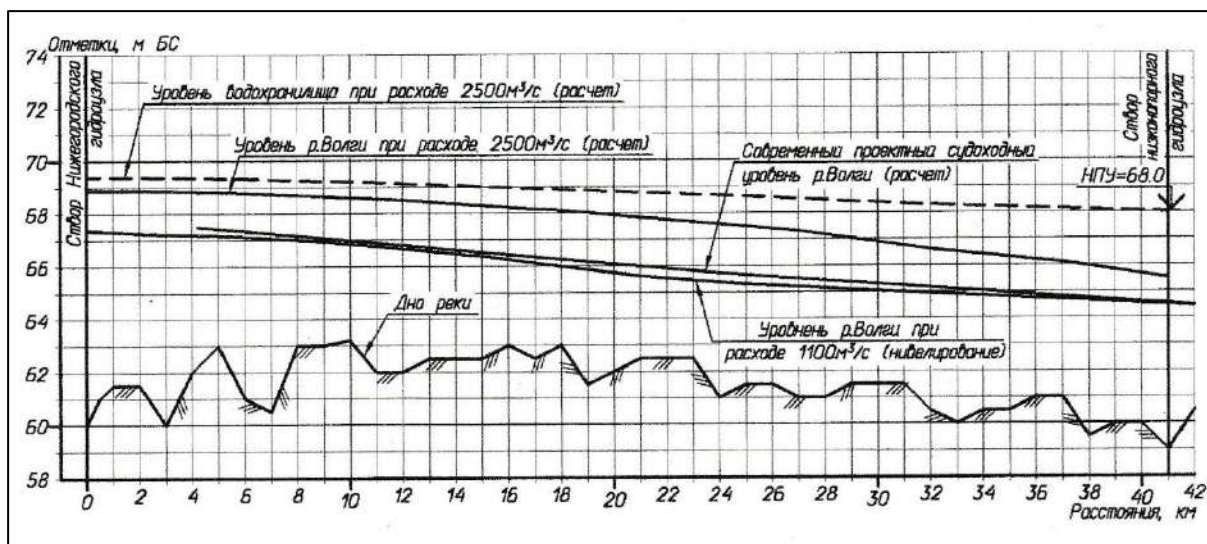


Рис. 12.20 Судоходные уровни р. Волги и верхнего бьефа низконапорного гидроузла [421]

Не известно, что накладнее – принимать ошибочное решение или не принимать никакого. Стоило иметь в виду, что при возникновении условий для повышения уровня Чебоксарского водохранилища до проектной отметки НПУ = 68,0 м в целях энергетики, гидротехнические сооружения низконапорного узла окажутся водному транспорту ненужными [679].

В 2021 г. Министерство транспорта начало другой вариант: объявлен аукцион на инженерные изыскания, проектирование, строительство третьей камеры с пониженным днищем в составе нижнего шлюза Нижегородского гидроузла и канализацию судового хода по р. Волге от г. Городца до устья р. Оки (854,5 – 895 км), обеспечивающих глубину для прохода и шлюзования большегрузных судов. Завершение работ – конец декабря 2024 г. Цена контракта 21,77 млрд рублей, источник финансирования – средства федерального бюджета [МК, 2021. – 24 – 30.11]. Чебоксарское водохранилище остается при ВПУ = 63,00 м БС.

# ГЛАВА 13. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ

## 13.1. Течения, водообмен

**Течения в водохранилищах** представляют собой перенос водных масс под воздействием различных факторов, таких как приток речных вод и их сток через гидроузел, ветер, плотностная неоднородность вод, изменение атмосферного давления и др.

Различают две группы течений по характеру их распространения.

1. Течения, наблюдаемые по всей акватории водохранилища, в том числе в прибрежной зоне: стоковые, ветровые, волновые, плотностные, бароградиентные, сейшевые, внутриволновые, инерционные. Среди них наибольшую повторяемость имеют стоковые и ветровые течения.

2. Течения, наблюдаемые только в прибрежной зоне: вдольбереговые ветровые, вдольбереговые волноприбойные, разрывные. В этой группе наиболее интенсивно проявляются вдольбереговые ветровые течения.

Течения по устойчивости подразделяются на постоянные и временные, по глубине различаются поверхностные, глубинные и придонные, по форме движения могут быть прямолинейные и циркуляционные, по физическим свойствам – холодные и теплые [122].

**Основные виды течений в водохранилищах – стоковые и ветровые.** Стоковые течения наиболее развиты в районах выклинивания подпора, также вдоль русел бывших рек в глубоководных зонах водохранилищ. Так, в Рыбинском водохранилище вдоль русел рек прослеживаются три основных водных потока – волжский, моложский и шекснинский (рис. 13.1). Наиболее мощный из них волжский поток, несущий воды, сбрасываемые из Угличского водохранилища. Скорости в этом потоке во время пропуска пловодий могут достигать 1 м/с. Центральная часть водохранилища характеризуется слабой проточностью. В период отсутствия ледяного покрова схема стоковых течений усложняется наложением ветровых течений. При скорости ветра 5 м/с уже на глубине 2 м волновое перемешивание воды

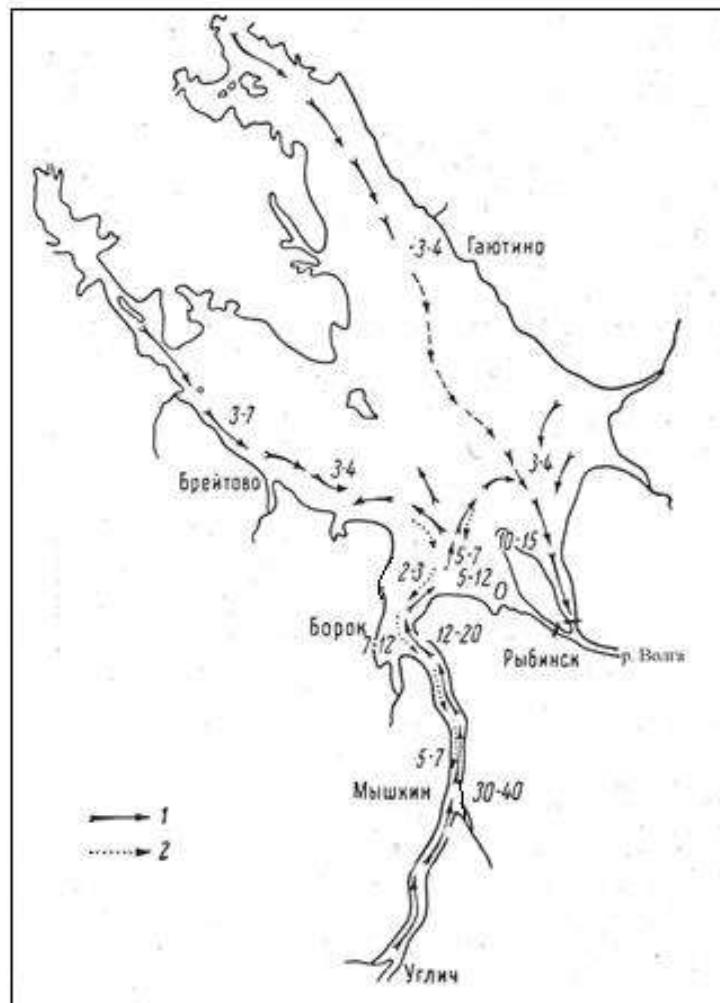


Рис.13.1. Схема течений в Рыбинском водохранилище в зимний период:  
1, 2 – направления течений, надписаны скорости течений, см/с [92, 122]

практически отсутствует, а при скорости ветра 10 м/с оно достигает глубины 6 м. С увеличением скорости ветра перемешивание распространяется до дна. Поскольку повторяемость скорости ветра 6 – 10 м/с составляет для июня 41 %, а октября 56 %, в открытой части Рыбинского водохранилища при средней глубине его 5,6 м частым и интенсивным перемешиванием охватывается практически вся водная толща [92].

Если объем водохранилища незначителен в сравнении с объемом воды, протекающей через него, то на всем протяжении водоема наблюдается течение, аналогичное течению в реке, но с меньшими скоростями. Так, в Чебоксарском водохранилище, эксплуатирующемся с отметкой ВПУ = 63,0 м, выражено стоковое течение. Его скорости существенно убывают с приближением к плотине гидроузла по сравнению с речной частью, при этом теряется устойчивость направления течения [421].

В Красноярском водохранилище (см. рис. 11.3) по характеру проявле-

ния течений выделяются три района: верхний – участок переменного подпора, средний – озеровидные плесы, нижний – приплотинный район. На верхнем участке наблюдается лишь стоковое течение, скорость которого здесь падает от бытовой в реке до 0,2 м/с. Протяженность участка изменяется от 30 км при притоке 2500 м<sup>3</sup>/с до 150 км при притоке 10000 м<sup>3</sup>/с. В средней части водохранилища водная поверхность не имеет больших уклонов и влияние приточности и сбросов здесь наименьшее. Скорость стокового течения по длине среднего участка изменяется мало и составляет 0,05 – 0,06 м/с, достигая 0,10 – 0,25 м/с в русловой зоне водохранилища. В нижнем приплотинном районе на протяжении 70 км из-за малой ширины водохранилища скорость стокового течения выше, чем в озеровидных плесах, и равна 0,25 – 0,30 м/с. Увеличение сбросов воды через ГЭС ведет к усилению течения на всем протяжении приплотинного района.

В июле-августе-сентябре над Красноярским водохранилищем повторяемость ветров до 5 м/с составляет 80 – 90 %, более 10 м/с – менее 1 %. При уменьшении скорости стокового течения до 0,2 м/с начинает сказываться проявление ветровых течений. При дальнейшем ослаблении стокового течения ветровые течения в летне-осенний период могут преобладать, и тогда суммарное течение носит смешанный характер. Например, на приплотинном участке при ветре 5 м/с северной четверти наблюдалось ветровое противотечение со скоростью 0,3 м/с и глубиной проникновения более 10 м. В озеровидных плесах ветровое течение наблюдалось со скоростью 0,45 – 0,50 м/с, а глубина проникновения его достигала 25 – 30 м [545; 673; 676].

На озеровидных плесах водохранилищ в связи с развитием ветровых течений могут возникать вихревые циркуляции площадью до нескольких десятков км<sup>2</sup> [112]. Подобное зафиксировано на космическом снимке Куйбышевского водохранилища у г. Ульяновска (рис. 13.2). С правого берега в водохранилище сбрасываются стоки коммунального хозяйства города, возле точек сбросов наблюдается противотечение; в центральной части водохранилища течение носит характер замкнутой циркуляции.

**Течения в прибрежной зоне водохранилищ** стимулируются ветровым волнением. При подходе волн к берегу под острым углом возникают вдольбереговые течения. Принос воды волнами и вдольбереговыми течениями вызывает повышение уровня воды у берега. Подъем воды у берега приводит к появлению силы, направленной по нормали от него. Вследствие этого возникают донные и разрывные течения. В результате возникновения донных, разрывных и вдольбереговых течений, а также переноса воды



Рис. 13.2. Поверхностное течение в виде замкнутой циркуляции на Куйбышевском водохранилище у г. Ульяновска, 2003 г.

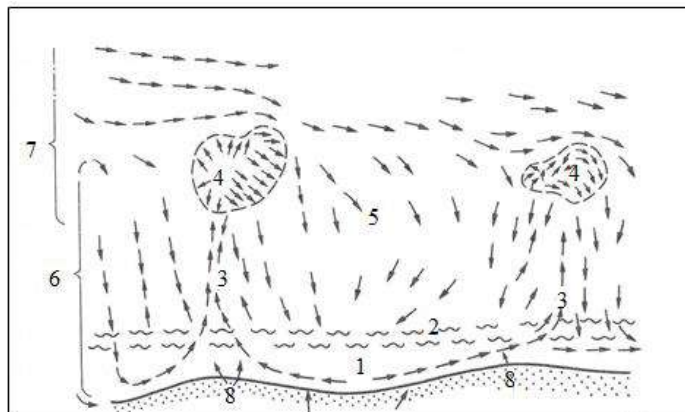


Рис. 13.3. Схема поверхностных течений в береговой зоне водохранилища: 1 – вдольбереговое течение; 2 – зона прибоя; 3 – разрывные течения; 4 – вершина разрывного течения; 5 – перенос воды волнами; 6 – зона береговых течений; 7 – зона прибрежных течений; 8 – потоки, питающие разрывные течения [122]

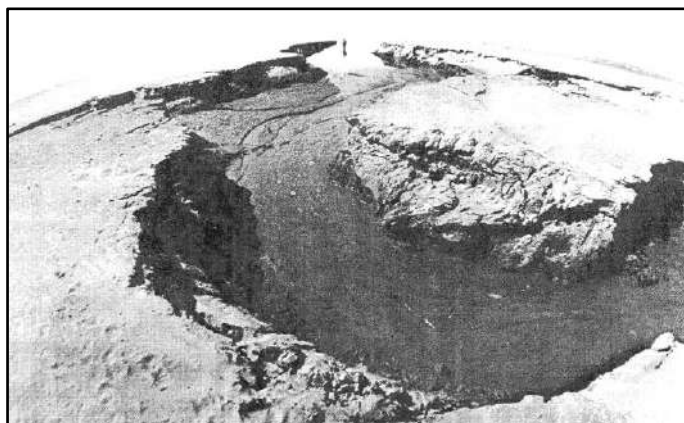


Рис. 13.4. Канал разрывного течения, обнажившийся в береговой зоне Новосибирского водохранилища при пониженном уровне воды [682]

ветровыми волнами, образуется система прибрежных течений, показанная на рис. 13.3 [673]. В этой системе любопытны разрывные течения. Они образуются при участках берега, открытых действию волн и имеющих прямолинейное или слегка вогнутое плановое очертание, в месте встречи разнонаправленных береговых потоков. Узкой струей уходят от берега в водохранилище со скоростью до 1 – 2 м/с, на малых глубинах захватывают толщу воды от поверхности до дна, могут перемещать с собой донные наносы (рис. 13.4), с увеличением глубин переходят в поверхностные слои воды и затухают. Легко обнаруживаются визуально по поперечному относительно уреза направлению мощных струй и наличию на их границах завихрений [570].

В экологической литературе фигурирует понятие **водообмен водохранилищ**. Стандарт определяет водообмен как отношение объема стока воды через гидроузел в средний по водности год к полному объему водохранилища, 1/год [174], т.е. число раз в год обмена полного объема. Показатель этот условный, так как рассчитывается в предположении, что вся вода в пределах полного объема водохранилища замещается новой, чего может никогда не быть. Табл. 13.1 содержит данные о водообмене водохранилищ, заимствованные из разных источников. Показатель водообмена в этой таблице представлен диапазоном значений, вычисленных разными учеными в разные годы. [2; 112; 122]. Все перечисленные водохранилища относят к интенсивной (показатель водообмена > 5) или умеренной (0,1...5,0) категориям по водообмену [174].

Оперируя данными табл. 13.1 по Волжско-Камскому каскаду водохранилищ получено, что водообмен в каскаде происходит 1,4 раза в год. Иногда утверждают, что «до строительства плотин гидроэлектростанций вода добегала от г. Рыбинска до г. Волгограда за 50 суток (в половодье – за 30 суток), а теперь – за 1,5 года (400 – 500 суток), т.е. в среднем скорость водообмена снизилась в 12 раз» [114]. О водообмене так говорить нельзя.

Таблица 13.1

**Показатель водообмена водохранилищ [2; 112; 122]**

Водохранилище	Средний сток в створе гидроузла, км <sup>3</sup> /год	Полный объем водохранилища, км <sup>3</sup>	Показатель водообмена, 1/год
Верхневолжское	–	0,52	1,8
Иваньковское	9,23 – 10,1	1,12	7,9 – 9,2

Продолжение таблицы 13.1

Водохранилище		Средний сток в створе гидроузла, км <sup>3</sup> /год	Полный объем водохранилища, км <sup>3</sup>	Показатель водообмена, 1/год
Угличское		10,96	1,25	9,84 – 10,1
Рыбинское		30,11 – 34,1	25,42	1,27 – 1,9
Горьковское		46,75	8,71 – 8,82	5,41 – 6,1
Чебоксарское	НПУ = 68,0	109,5	12,6	8,78 – 8,9
	ВПУ = 63,0	109,5	4,6	19,8 – 24,3
Куйбышевское		234,8 – 237,0	57,3 – 58,0	4,11 – 5,2
Саратовское		230,57	12,87	17,97 – 19,1
Волгоградское		236,0	31,45	7,57 – 8,2
Камское		52,9	12,2	4,2 – 4,40
Воткинское		53,77	9,4	5,77 – 5,8
Нижне-камское	НПУ = 68,0	87,66	13,8	3,2
	ВПУ = 63,0	87,66	2,8	6,6 – 6,85
Цимлянское		17,57 – 21,0	23,8	0,83 – 0,9
Новосибирское		51,6 – 54,97	8,85	5,8 – 6,31
Братское		90,4	169,0	0,53 – 0,55
Усть-Илимское		100,6	–	1,72
Саяно-Шушенское		–	46,7	1,50
Красноярское		86,47 – 88,3	72,3	0,82 – 1,2
Усть-Хантайское		17,7	–	0,78
Курейское		19,50	–	1,97
Вилуйское		–	17,95	0,52
Зейское		23,37	–	0,35

## 13.2. Волновые явления

Наряду с колебаниями уровня водохранилища при наполнении-сработке существуют его спорадические изменения, вызываемые ветровыми волнами, сгонно-нагонными явлениями, сейшами, неравномерной работой ГЭС.

Наиболее существенное развитие имеет в водохранилищах **ветровое волнение**. В каждом водохранилище в зависимости от скорости и продолжительности ветра, длины разгона, глубины, плановой конфигурации акватории, рельефа дна, высоты берегов, наличия затопленной древесной растительности существуют свои пределы параметров ветровых волн (табл. 13.2).

Судоводители пользуются балловой оценкой волнения. В табл. 13.3 приведена связь баллов с размерами волн, а из табл. 13.2 явствует, что на

водохранилищах волнение ограничивается 5-ю баллами.

Таблица 13.2

**Наблюденные высоты волн на больших водохранилищах [112; 548]**

Водохранилище	Район, плес	Годы наблюдений	Максимальная высота волны, м
Рыбинское	Главный плес	1956 – 1964	3,0
Горьковское	Приплотинный район	1957 – 1964	2,9
Куйбышевское	Центральный район	1960 – 1970	3,2
Волгоградское	Центральный район	1968 – 1972	3,1
Цимлянское	Приплотинный район	1964 – 1972	3,9
Новосибирское	Приплотинный район	1962 – 1973	3,2
Братское	Балаганский плес	1969	3,0
Красноярское	Озеровидные плесы, табл. 11.1	2000-е гг.	4.0

Таблица 13.3

**Балловая шкала ветрового волнения [510]**

Балл	Степень ветрового волнения	Высота волны, м	Длина волны, м
0	Волнение отсутствует	–	–
1	Слабое волнение	0,25	5
2	Легкое волнение	0,25 – 0,75	5 – 15
3	Умеренное волнение	0,75 – 1,25	15 – 25
4	Значительное волнение	1,25 – 2	25 – 40
5	Сильное волнение	2 – 3,5	40 – 75
6	Крупное волнение	3,5 – 6	75 – 125
7	Штормовое волнение	6 – 8,5	125 – 170
8	Жестокое волнение	8,5 – 11	170 – 220
9	Ураганное волнение	> 11	220

Физическая сущность возникновения ветровых волн состоит примерно в следующем. Во время ветра к поверхности воды оказываются приложенными со стороны воздуха силы трения, которые порождают вначале возникновение небольших волн. После появления волн ветер начинает оказывать большее давление на наветренную сторону волн и меньшее давление на их подветренную сторону, при этом волны растут по величине.

Размеры волн характеризуются их высотой – от подошвы до вершины, и длиной – между вершинами соседних волн. Ветровые волны одинакового размера, следующие одна за другой, называют регулярными, чередующиеся волны различного размера – нерегулярными. Иногда волны являются думерными (плоскими): гребни таких волн параллельны в плане [702].



На водохранилищах различают: глубоководные зоны глубиной  $H \geq \lambda/2$ , где дно водохранилища не оказывает влияния на волны и параметры волн (высота  $h_w$ , длина  $\lambda$ ) не зависят от глубины  $H$ ; мелководные зоны, когда  $H < \lambda/2$ , в этом случае дно водохранилища ощутимо влияет на формирование волн [702]. Наиболее четкое выражение указанные зоны получают на больших долинных водохранилищах равнин [673].

Вода всегда спокойна у подветренных берегов, при движении к открытой части высота волн возрастает, на мелководьях размеры волн уменьшаются. На больших водохранилищах повторяемость волн высотой более 1,2 м составляет около 5 % продолжительности безледоставного периода, более 1,5 м – около 2 % и свыше 2 м – около 0,5 %. Для достижения предельных размеров волн бывает достаточно действия ветра в течении 1 часа [7]. Наглядное представление о распределении волнения по акватории дает картограмма изолиний высот волн на Рыбинском водохранилище при скорости ветра 18 м/с (рис. 13.5). Наибольшие высоты волн отмечены в районах затопленных долин рек Шексны и Мологи, с приближением к району междуречья и берегам высоты волн заметно уменьшаются. Максимальная наблюдавшаяся при этом ветре высота волны в центральной части водохранилища была более 2,5 м [92].

Для обслуживания народного хозяйства СССР с 1930-х гг. [378] разрабатывались методы расчетов ветровых волн на водохранилищах [122; 347; 510; 702]. В 1950-х гг. появились методы, базирующиеся на энергетической теории волн, родоначальником которой считается В.М. Маккавеев. Они были реализованы в номограммах, которые до сих пор используются в практических целях [387; 521]. Имеются возможности компьютерных расчетов параметров ветровых волн [352; 691].

Большинство исследователей считают, что основными факторами развития ветрового волнения служат скорость ветра, длина разгона волн и глубина водохранилища. Вместе с этим результаты наблюдений Ю.М. Матарзина за волнами на камских водохранилищах в 1970-х гг. показали (рис. 13.6), что влияние длины разгона на увеличение параметров волн ограничено и обычно не превышает 16 км [122].

Надежным средством определения волновых характеристик, в том числе на защищенных акваториях (в портах-убежищах и т.п.), являются лабораторные исследования волнения на неискаженных моделях [510], что широко практиковалось в прошлом (рис. 13.7), иногда делается и теперь [683].

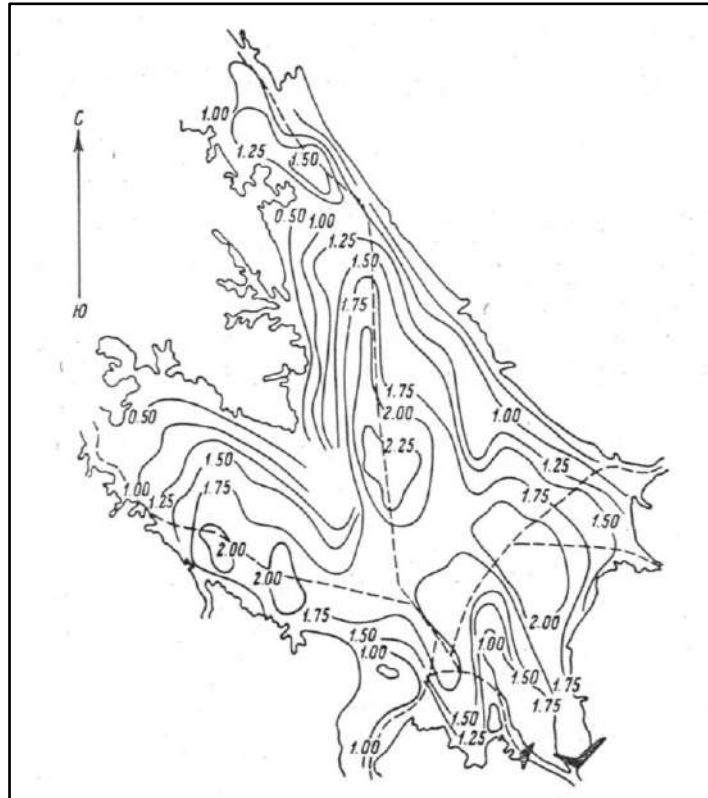


Рис. 13.5. Картограмма высот волн (м) в Рыбинском водохранилище при ветре 18 м/с северного направления [92]

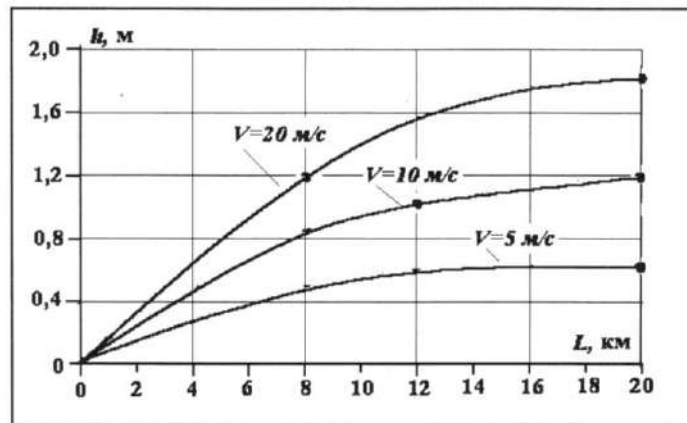


Рис. 13.6. Зависимость высоты волны ( $h$ ) от длины разгона  $L$  и скорости ветра ( $V$ ) по результатам наблюдений [122]

**Сгонно-нагонные изменения уровня** водохранилищ обусловлены воздействием длительного однонаправленного ветра, вследствие чего у подветренного берега возникает сгон воды и уровень понижается, а у наветренного берега образуется нагон воды и уровень повышается.

Размеры ветровых денивеляций на глубоководных водоемах, как правило, невелики (10 – 15 см); на обширных неглубоких водохранилищах они

бывают весьма значительными, достигая 1 м и более [122].



Рис. 13.7. Лабораторные исследования волнения на водохранилище во ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева [Огонек, 1958. – №49]

На Рыбинском водохранилище в результате действия длительного ветра со скоростью около 12 м/с и с частыми порывами до 16 – 20 м/с при длине разгона около 100 км 26.05.1953 г. наблюдался перекося зеркала в 0,72 м, а превышение наивысшего уровня над средним было 0,46 м; средний уровень водохранилища равнялся 102,12 м БС (рис. 13.8) [347]. На Горьковском водохранилище у плотины гидроузла величина ветрового нагона при расчетной скорости ветра 2 % обеспеченности может достигать 0,7 м [462]. На Цимлянском водохранилище длительность стонов-нагонов измеряется как несколькими часами, так и несколькими сутками. Большой перекося уровня наблюдался, например, 12 – 18 октября 1956 г. при ветре юго-западного направления с максимальной скоростью 24 м/с. Он составил 1,58 м: нагон у хутора Ложки равнялся 0,91 м, стон у г. Цимлянска – 0,67 м [292].

Для приблизительного вычисления разности уровней воды во время стонных и нагонных явлений в двух точках водохранилища, не имеющего заметного транзитного расхода, применяют формулу А.В. Караушева [122; 347; 510], по которой для отдельных водохранилищ составлены соответствующие номограммы [510].

**Сейши** – это колебания уровня, возникающие вследствие резкого изменения атмосферного давления в разных частях над акваторией водохранилища, сильного ливня, захватившего часть водохранилища, и других причин, нарушающих равновесие водных масс [347]. Различие в атмосферном давлении в 1 мб вызывает разность уровней в 1 см [122].

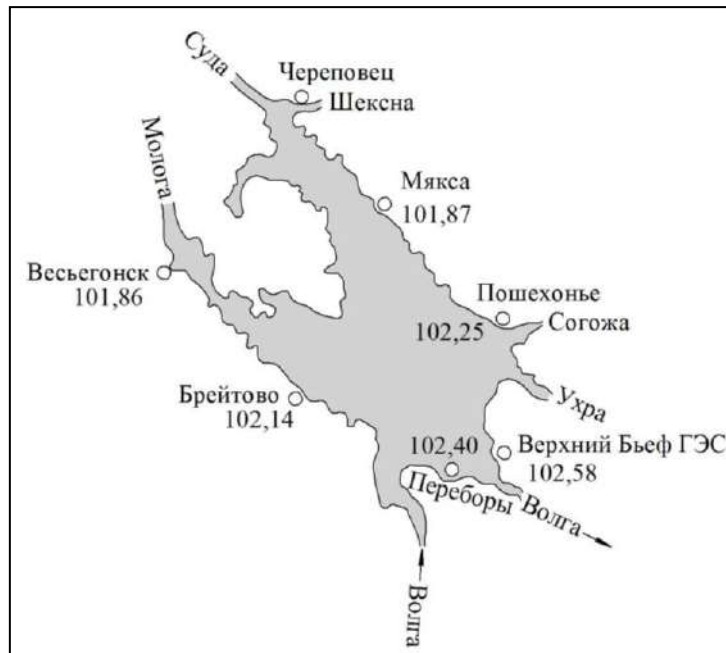


Рис. 13.8. Отметки водной поверхности Рыбинского водохранилища при ветровом нагоне 26.V.1953 г., м БС [347]



Рис. 13.9. Торошение льда на Куйбышевском водохранилище перед ГЭС, вызванное колебаниями уровня при сбросе-набросе нагрузки [108]

**Возмущения уровня, вызванные неравномерной работой ГЭС,** возможны при резкой остановке агрегатов. В этом случае из-за инерции потока в верхнем бьефе уровень мгновенно повышается, что сопровождается формированием отраженной волны. Скорость распространения волны может достигать значительных величин, например, на Куйбышевском водохранилище – до 52 км/час [122]. По мере продвижения вверх по водохранилищу колебания уровня постепенно затухают. Отчетливо эти колебания проявляются при ледоставе [298], когда они не затушевываются ветровыми денivelляциями (рис. 13.9).

### 13.3. Температурный режим водохранилищ

Температура воды водохранилищ складывается под влиянием двух групп факторов. Первая группа включает поступления и потери теплоты в результате теплообмена воды с атмосферой и грунтом дна, а также от внутренних источников – таяния льда, внутреннего трения, биологических процессов. Ко второй группе относят факторы, благодаря которым поступившая теплота перераспределяется внутри водной толщи: ветровое, динамическое и свободно-конвективное перемешивание. Указанные процессы протекают одновременно и во взаимодействии [180].

Большое влияние на температурный режим оказывают морфометрические параметры водохранилищ, в первую очередь глубина и площадь водной поверхности, а также проточность. Сообразно существующей термической классификации [180; 523; 530] водохранилища различают по проточности как слабопроточные и проточные, по глубине как неглубокие (примерно до 25 м) и глубокие (более 40 – 50 м). Отдельные участки водохранилищ могут относиться к разным типам по проточности и глубине. Кроме того, в связи с колебаниями уровня воды, тип водохранилища может изменяться в течение года.

Различия в температурном режиме водохранилищ, связанные с проточностью, вытекают из того, что при достаточно больших скоростях течения (как в реке) температура воды в данном створе зависит от температуры ее в вышерасположенном участке водохранилища. Различия, связанные с глубиной, происходят от того, что в неглубоких водохранилищах на формирование температуры воды оказывает влияние теплообмен между водой и дном, а в глубоких водохранилищах это влияние незначительно или вовсе отсутствует.

В годовом термическом цикле всех водохранилищ выделяются периоды весенне-летнего нагревания, осеннего охлаждения и зимнего режима под ледяным покровом. При весеннем нагреве и осеннем охлаждении наблюдается **гомотермия** – когда температура воды на некоторое время становится постоянной по глубине.

**Температурный режим неглубоких водохранилищ** начал исследоваться с развитием строительства гидроэлектростанций на равнинных реках. Его характерной особенностью, как отмечалось, является зависимость от теплообмена воды не только с атмосферой, но и с дном водоема. Летом

равномерное прогревание воды водохранилищ происходит по всей глубине, охватывая вместе с водой и дно. На всю толщу может распространяться перемешивание воды под действием ветров. Температура воды неглубоких, особенно проточных, водохранилищ в теплый период года близко следует за температурой воздуха. В зимний период наблюдается низкая температура воды по всей глубине и некоторое повышение ее со временем, вызванное теплоотдачей от грунтов дна, аккумулировавших летнее тепло. Годовой температурный режим неглубоких водохранилищ с достаточной точностью характеризуется средней по глубине температурой воды.

Равнинное Ивановское водохранилище площадью зеркала 327 км<sup>2</sup> распространилось по долинам рек Волги и Шоши, получив вытянутую плановую форму из трех плесов – Ивановского (приплотинного), Волжского и Шошинского. Его наиболее глубокая зона (батиальная) тянется узкой полосой над бывшим руслом р. Волги, где глубина достигает 19,0 м (рис. 13.10), при средней глубине по водохранилищу 3,4 м. В табл. 13.4 приведены сведения о продолжительности периодов годового термического цикла Ивановского водохранилища и температурном режиме этого неглубокого водоема.

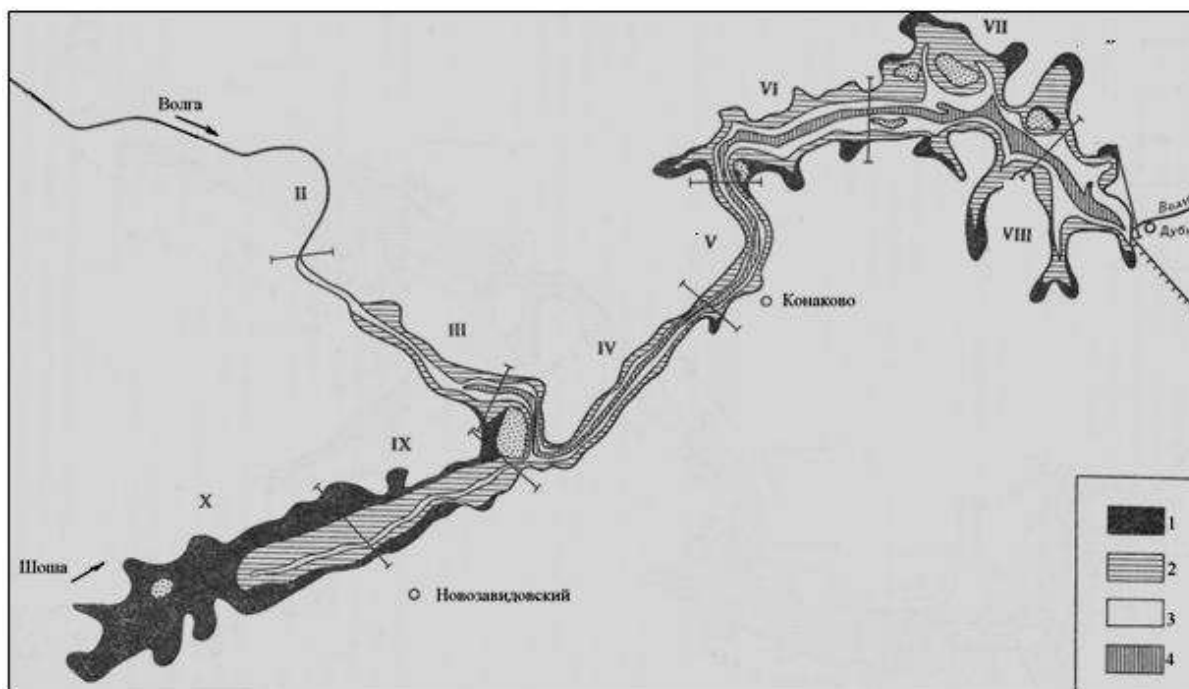


Рис. 13.10. Схема чаши Ивановского водохранилища. Глубинные зоны: 1 – прибрежная; 2 – литоральная; 3 – сублиторальная; 4 – батиальная. Гидрологические районы: II, III, IV, V – Волжский плес; VI, VII, VIII – Ивановский плес; IX, X – Шошинский плес [120; 122; 530]

**Периоды годового термического цикла и  
температура воды в приплотинной части Иваньковского  
водохранилища [180]**

Период	Длительность периода	Температура воды, °С
Весеннее нагревание	20.III – 20.IV	0,1 – 4,0
Летнее прогревание	20.IV – 15.VII	4,0 – 22,0
Летне-осеннее охлаждение	15.VII – 15.XI	22,0 – 4,0
Осенне-зимнее охлаждение	15.XI – 10.XII	4,0 – 1,4
Низкая температура под льдом	10.XII – 20.III	1,4 – 0,1

На разных участках водохранилищ, различающихся по морфометрическим особенностям и проточности, могут одновременно существовать различные температурные условия: прямая и обратная стратификация осенью и весной, гомотермия летом и зимой и т.д. Четкое выделение термических периодов для таких водохранилищ как, например, Рыбинское представляет некоторые трудности [122].

**В глубоких водохранилищах** летний прогрев и понижение температуры зимой затрагивают лишь верхний слой воды в 25 – 50 м. По мере увеличения глубины годовая амплитуда колебаний температуры уменьшается. В придонном слое температура воды в течение года остается почти неизменной, равной 3,5 – 4,5 °С.

Годовой термический цикл водохранилища Братской ГЭС по материалам наблюдений за температурой воды описан следующим образом. С начала года до конца мая в водохранилище наблюдается устойчивая обратная стратификация: у нижней поверхности ледяного покрова держится температура, близкая к 0 °С, а наибольшие значения температуры (~3,5 °С) – у дна. Охлаждение воды продолжается обычно до второй декады апреля, когда средняя суточная температура воздуха переходит через 0 °С.

Затем начинается повышение температуры воды под ледяным покровом, оно обуславливает увеличение плотности воды поверхностного слоя, в связи с этим возникает конвективное перемешивание, постепенно затрагивающее все более глубокие слои. В конце мая – начале июня, когда водохранилище очищается от льда, температура воды на всей глубине выравнивается, становясь равной температуре наиболее плотного придонного слоя – наступает весенняя гомотермия. В июле с увеличением температуры поверхностных слоев воды устанавливается прямая стратификация и увеличиваются температурные градиенты. Температура поверхностных слоев воды

к середине августа достигает  $20 - 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , после чего начинается их быстрое охлаждение и медленное охлаждение более глубоких слоев. Одновременно уменьшаются температурные градиенты. В сентябре-октябре начинается свободноконвективное перемешивание воды, распространяющееся постепенно на всю глубину. В ноябре наступает осенняя гомотермия, после которой устанавливается обратная температурная стратификация. Приведенное весьма общее описание годового термического цикла водохранилища подтверждается рис. 13.11, на котором показаны термоизоплеты в его приплотинной части за ряд лет. Наибольшие изменения температуры воды внутри года происходят в активном слое до глубины  $40 - 50\text{ м}$ , ниже него изменения температуры незначительны. Средняя годовая температура воды в приплотинной части водохранилища Братской ГЭС относительно стабильна ( $3,5 - 3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и в слое глубиной  $90\text{ м}$  примерно на  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  превышает среднюю годовую температуру воздуха [180].

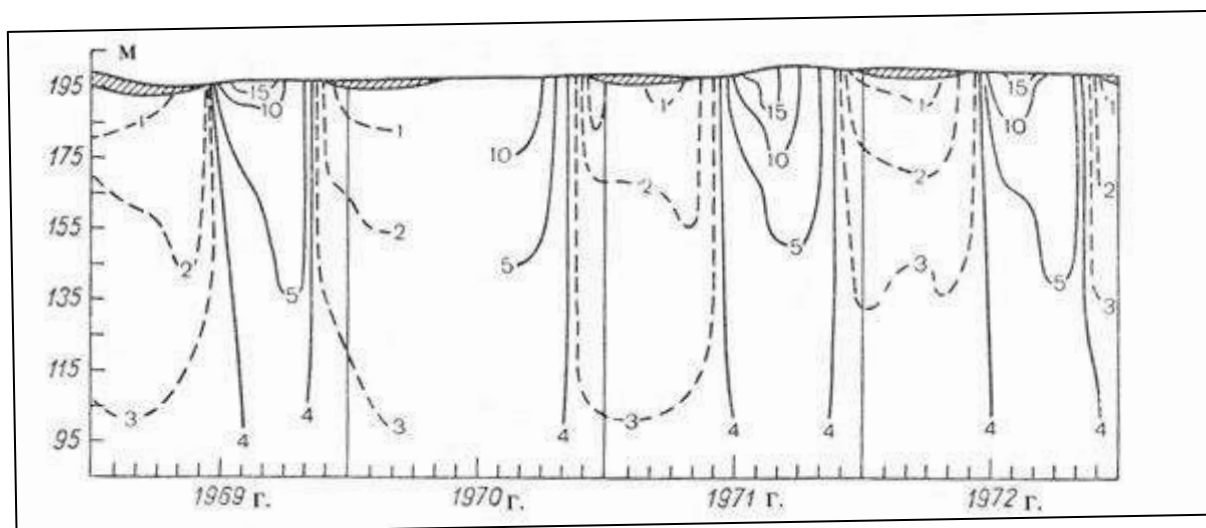


Рис. 13.11. Термоизоплеты Братского водохранилища за ряд лет [180]

Красноярское водохранилище (см. рис.11.3) относится к водохранилищам большой проточности, так как удельные расходы в нем превышают  $0,5\text{ м}^2/\text{с}$ . После вскрытия водохранилища от льда (конец апреля – начало мая) наблюдается период весенней гомотермии с температурой воды  $2 - 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В июне температурные изменения простираются на глубину до  $50 - 60\text{ м}$ , хотя возрастание температуры у нижней границы этого слоя составляет всего  $1 - 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Особенностью устанавливающейся прямой стратификации является неравномерное распределение температур в пределах активной зоны. Температура изменяется от  $20 - 23\text{ }^{\circ}\text{C}$  на поверхности до  $4 - 6\text{ }^{\circ}\text{C}$  на глубине  $50 - 60\text{ м}$ . В период осеннего похолодания начинается понижение температуры



в поверхностных слоях и выравнивание ее по глубине активной зоны. После образования ледяного покрова, обычно в декабре, устанавливается обратная стратификация, сохраняющаяся в течение всей зимы с нулевой температурой у поверхности и постоянно повышающейся температурой до 3 – 4 °С на глубине 35 – 40 м (рис. 13.12) [365].

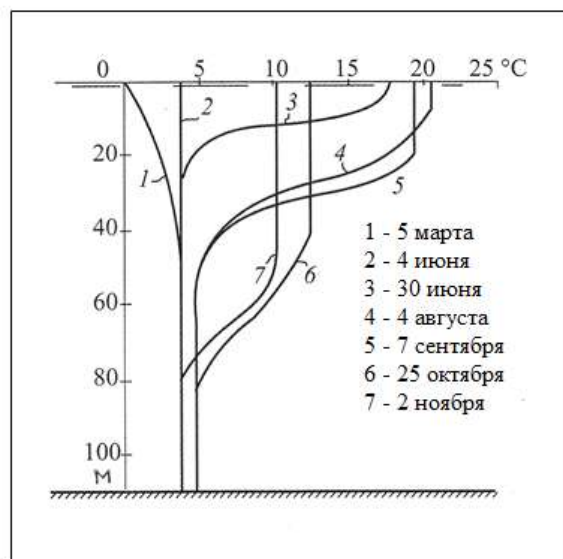


Рис. 13.12. Температура воды Красноярского водохранилища в 1976 г. [365]

С созданием в 1967 г. Вилюйской ГЭС стал возможным для наблюдения температурный режим глубокого водохранилища в области вечной мерзлоты (см. рис. 10.2). В районе ГЭС среднегодовая температура воздуха  $-7,9$  °С, мощность мерзлой толщи пород более 300 м, скорость ветра средняя за год 2 – 4 м/с. Наблюдения за температурой воды водохранилища велись на участке в 800 м выше плотины, где долина имеет каньонообразную форму (см. рис. В.7). На рис. 13.13 показан годовой ход средней по глубине температуры. Отмечаются выровненная в течении большей части года средняя по глубине температура воды и укороченные периоды активных термических процессов, обусловленных теплообменом через водную поверхность [277].

Выше указывалось, что характерной особенностью глубоких водохранилищ вне области вечной мерзлоты является практическое отсутствие теплообмена воды с породами основания. Иные условия складываются, если в основании водохранилища залегают мерзлые породы. В этом случае в начальный период эксплуатации водохранилища вода отдает теплоту породам основания в течение всего года. Тем самым обуславливается более

низкая среднегодовая температура воды и ее увеличение по мере протаивания пород основания и затухания процесса теплообмена. Такое наблюдалось при наполнении Вилюйского водохранилища [277].

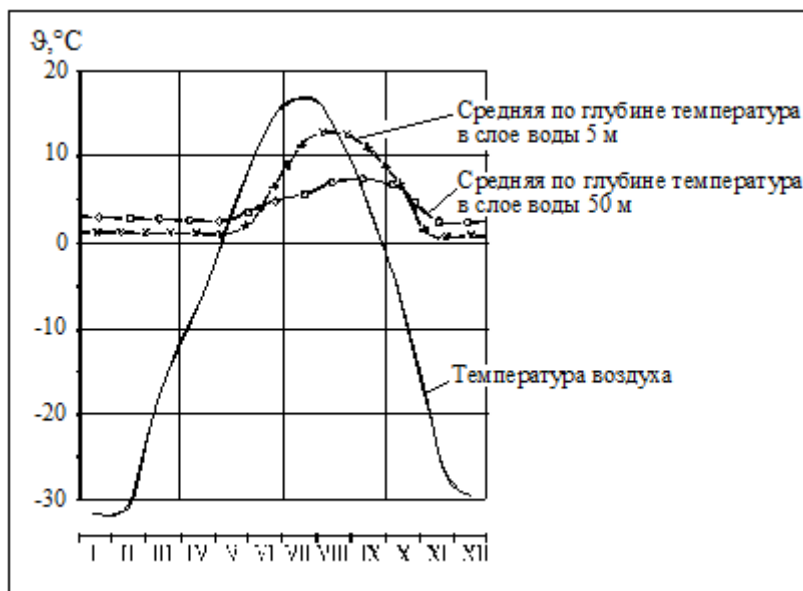


Рис.13.13. Температура воды средняя многолетняя на приплотинном участке водохранилища Вилюйской ГЭС [277]

Для прогнозных расчетов температуры воды водохранилищ разрабатывались эмпирические зависимости, аналитические и численные методы [180; 298; 523; 530; 588]. Наблюдения за температурой воды эксплуатируемых водохранилищ давали возможность привлекать их в качестве аналогов к прогнозированию термического режима водных масс проектировавшихся водохранилищ [39; 587]. Есть предпосылки тому, что температура воды водохранилищ в годовом цикле изменится под влиянием изменения климата [655].

### 13.4. Ледовые явления

Лед пресноводных объектов можно представить как динамическую структуру, включающую в себя 18 взаимосвязанных форм (состояний), отражающих картину его функционального развития (табл. 13.5). **Ледовый режим** — это совокупность ледовых явлений и процессов, происходящих на поверхности, в водной толще, на берегах водотоков и водоемов, и характеризующихся формой, местоположением и продолжительностью существования [299]. В ледовом режиме водохранилищ выделяют три основные

фазы: замерзание, ледостав, вскрытие ото льда.

Таблица 13.5

**Формы и состояние объекта «пресноводный лед» [298]**

№	Состояние объекта (формы льда)	Предшествующие формы льда	Место образования
<b><i>Первичные формы льда</i></b>			
<b><i>Внутриводный лед</i></b>			
1	Взвешенный внутриводный лед	нет	Центры кристаллизации, слой ветрового перемешивания
2	Прикрепленный лед	нет	Поверхности подвижных в воде переохлажденных предметов
3	Донный лед	нет	Неподвижные тела и поверхности в воде (дно, камни)
<b><i>Поверхностный лед</i></b>			
4	Ледяное сало	нет	Свободная поверхность водоема или водотока
5	Снежура	нет	Свободная поверхность водоема или водотока
<b><i>Вторичные формы льда</i></b>			
6	Шуга и шуговые комья	1 и (или) 2, 3	Поверхность и (или) водная толща водоема или водотока
7	Водный (кристаллический) лед	4	Поверхность водоема или водотока
8	Снежный лед	5	Поверхность водоема или водотока
9	Водно-снеговой (снежно-кристаллический) лед	7+8	Поверхность водоема или водотока
10	Водно-шуговый (шуго-кристаллический) лед	6+7	Поверхность водоема или водотока
11	Снежно-шуговый лед	6+8	Поверхность водоема или водотока
12	Слоистый (смешанный) лед	7+8+10+ (или) 11	Поверхность водоема или водотока
13	Блинчатый лед	1+4+5	Поверхность водоема или водотока
14	Битый (ломаный) лед	7 или 8, 9, 10, 11, 12	Поверхность водоема или водотока
15	Наледный лед (наледь)	7, 8, 9, 10, 11, 12	Поверхность ледяного покрова
16	Торосистый лед	14	Поверхность водоема или водотока
17	Зажор	6	Водная толща водотока
18	Затор	14+6	Водная толща водотока



Рис. 13.14. Снежура на Нижне-Туринском водохранилище  
(Свердловская область)



Рис. 13.15. Зейское водохранилище, покрытое первым льдом  
[<http://www.alvagroup.ru>]



Рис. 13.16. Торосистый лед



Рис. 13.17. Таяние ледяного покрова на озере Байкал



Рис. 13.18. Ледоход на участке Саратовского водохранилища в Жигулях [125]



Рис. 13.19. Завершение ледохода на Вилюйском водохранилище

**Замерзание** водохранилищ начинается с момента устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха к отрицательным значениям. На поверхности воды образуется ледяное сало, снежура (рис. 13.14), забереги, затем ледяной покров в виде тонкого однородного слоя кристаллического льда (рис. 13.15), постепенно утолщающегося по мере увеличения количества морозных дней. Обычно замерзание водохранилищ идет от верхней части с распространением на среднюю и приплотинную, либо наступает одновременно по всей акватории. Первый тип замерзания характерен для долинных водохранилищ с небольшими глубинами, второй тип – для глубоководных (сибирских) водохранилищ [122]. Продолжительность периода замерзания от первых ледовых явлений до ледостава на водохранилищах меньше, чем на реках, и составляет в среднем около 3 недель. Бывают и значительные отклонения: например, период замерзания речного участка Иркутского водохранилища длится в среднем 79 суток из-за притока в него теплых вод оз. Байкал.

**Ледостав** на водохранилищах России происходит в ноябре-декабре.

На Волжском каскаде он обычно начинается с Рыбинского водохранилища во второй декаде ноября. В третьей декаде ноября замерзают Ивановское, Горьковское, Куйбышевское водохранилища, во второй половине декабря – Волгоградское. Средняя продолжительность ледостава на волжских водохранилищах 5 месяцев  $\pm$  3 недели.

На водохранилищах юга европейской части России (Цимлянском и др.) продолжительность ледостава составляет 3 месяца  $\pm$  5 недель [112].

На Красноярском водохранилище лед сначала образуется в зоне выклинивания подпора примерно 11 ноября (на 20 дней раньше, чем прежде на реке). Отсюда замерзание распространяется вниз по водохранилищу. В средней части водохранилища ледостав отмечается в конце ноября (в те же сроки, что и раньше на реке). На приплотинном участке лед становится около 20 декабря (на месяц позднее, чем в бытовых условиях на реке) [114].

На водохранилище Вилюйской ГЭС устойчивый ледостав фиксируется с конца октября – начала ноября (на 10 – 17 суток позднее, чем на реке). Продолжительность ледостава 7 месяцев  $\pm$  1 неделя [112; 280].

В октябре встает лед на Колымском водохранилище, несколько раньше, чем на р. Колыме, замерзавшей в 20-х числах октября [296].

Толщина льда на водохранилищах может превышать толщину льда рек в среднем на 15...20 %, но и более. На водохранилищах европейской части страны толщина льда уменьшается с севера на юг (как и на реках) и

составляет на Верхней Волге 60 – 70 см (Иваньковское водохранилище), Каме – 50 – 70 см, Средней Волге – 50 – 60 см (Куйбышевское, Саратовское водохранилища), Нижней Волге – не менее 50 см (Волгоградское водохранилище) [262; 420]. На водохранилищах северо-восточных районов страны обычна толщина льда в 75 – 140 см. Например, на Вилюйском водохранилище она достигает в среднем 120 см, по сравнению с речными условиями увеличившись на плесовых участках на 40 % [280].

По акватории водохранилищ толщина льда всегда не одинакова. Так на Камском водохранилище средняя многолетняя толщина льда к концу марта в разных пунктах составляет от 43 до 77 см [112; 198].

Иногда толщина льда водохранилищ бывает больше, чем можно ожидать по метеорологическим условиям зимнего периода. Это объясняется образованием ледяного покрова из больших льдин, торошением его (рис. 13.16) и тому подобными обстоятельствами.

**Вскрытие ото льда** является заключительной фазой ледового режима водохранилищ.

Таяние льда начинается еще до перехода температуры воздуха через 0 °С к положительным значениям. Под влиянием солнечной радиации происходит поверхностное и внутреннее таяние льда, вследствие чего теряется его прочность и уменьшается толщина [112].

У всех водохранилищ, как и у озер, в первую очередь образуются закраины, освобождаются от льда прибрежные мелководья. Этот процесс начинается задолго до полного разрушения ледяного покрова. При скорости течения воды менее 0,5 – 0,6 м/с, ледохода обычно не бывает; лед, постепенно разрыхляясь, тает на месте (рис. 13.17). При больших скоростях течения возможен ледоход (рис. 13.18), часть льда иногда приходится сбрасывать в нижний бьеф через поверхностные водосбросы гидроузлов [264].

На европейской территории России вскрытие ледяного покрова больших водохранилищ происходит в марте – апреле. Первым вскрывается и очищается от льда (иногда в конце февраля) Цимлянское водохранилище. В первой половине апреля вскрываются Волгоградское, Куйбышевское, Иваньковское, Угличское, Воткинское водохранилища, во второй половине апреля – Горьковское, Рыбинское, Камское [112]. Средняя продолжительность вскрытия и очищения от льда составляет 10 – 30 суток. На водохранилищах юга процесс наблюдается раньше, чем на реках до зарегулирования; в средних и северных широтах – на 2 – 12 суток позже [598].

Сибирские водохранилища – Новосибирское, Иркутское, Саяно-Шуше-

нское – вскрываются во второй половине апреля. Вскрытие Красноярского водохранилища идет сверху вниз по течению. На участке выклинивания подпора оно наблюдается около 27 апреля (на реке было 24 апреля), на среднем и нижнем участках водохранилища – в середине первой декады мая (на 10 – 15 дней позднее, чем проходило на реке) [112; 114]. Полное очищение от льда Вилюйского водохранилища в Якутии происходит 12 – 15 июня, на 15 – 32 дня позже по сравнению с рекой [280] (рис. 13.19). Также в июне освобождается ото льда водохранилище Колымской ГЭС на крайнем северо-востоке страны [296].

Вернемся к ледоставу. На реках, озерах и водохранилищах России толщина льда измеряется в определенных пунктах (водомерных постах) через каждые пять дней (рис. 13.20).

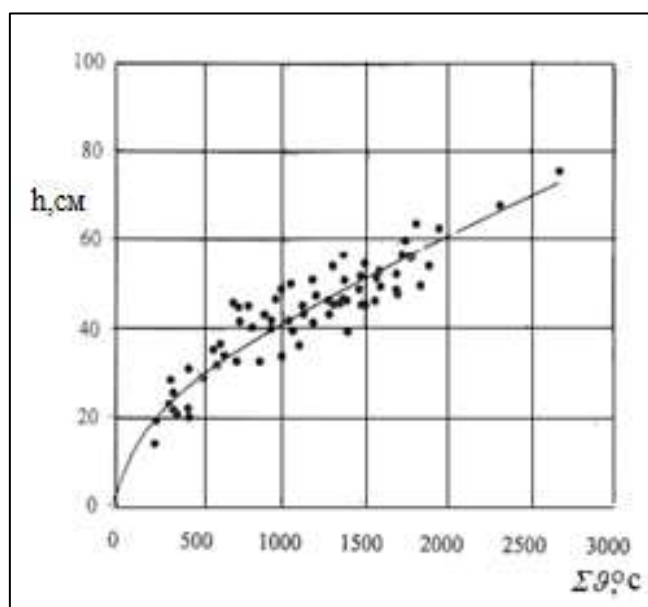


Рис. 13.20. Зависимость толщины льда  $h$  от суммы отрицательных среднесуточных температур воздуха  $\sum \vartheta$  по измерениям на профиле Оханск Воткинского водохранилища  $h = 0,907(\sum \vartheta)^{0,553}$  [393]

При отсутствии измерений для определения толщины льда под снежным покровом на реках европейской территории страны используют эмпирические формулы Ф.И. Быдина [240; 347], на реках арктической зоны для суровых зим – формулы В.В. Лебедева [347], на озерах и водохранилищах – формулы В.Н. Гончарова [240] и Ф.И. Быдина – П.И. Белокопя [347]. Есть ощущение, что эмпирические формулы не дают приемлемых результатов во многих конкретных случаях, однако, они описывают наблюдавшееся многократно нарастание толщины льда по степенному закону (см. рис. 13.20), с чем хочется согласиться [601].



### 13.5 Температурный режим нижних бьефов ГЭС

Сооружения энергетического гидроузла пропускают большие расходы воды через турбины и водосбросы в нижний бьеф. Вода забирается из значительной по глубине зоны водохранилища, возможно и из всей водной толщи. В нижнем бьефе непосредственно за гидроузлом вода имеет ту температуру, с которой она сбрасывается из водохранилища.

На рис. 13.21 приведены данные наблюдений за температурой воды в верхнем и нижнем бьефах Красноярской ГЭС за многолетний период. Средние температуры по вертикали в бьефах близки. Максимальная разница отмечается в период наибольшего прогрева водохранилища (июль-сентябрь), когда наблюдается значительное различие температуры воды в нем по глубине. К осени, когда температура воды в водохранилище по глубине выравнивается, разница температуры воды в бьефах уменьшается, а затем вовсе исчезает [180; 279].

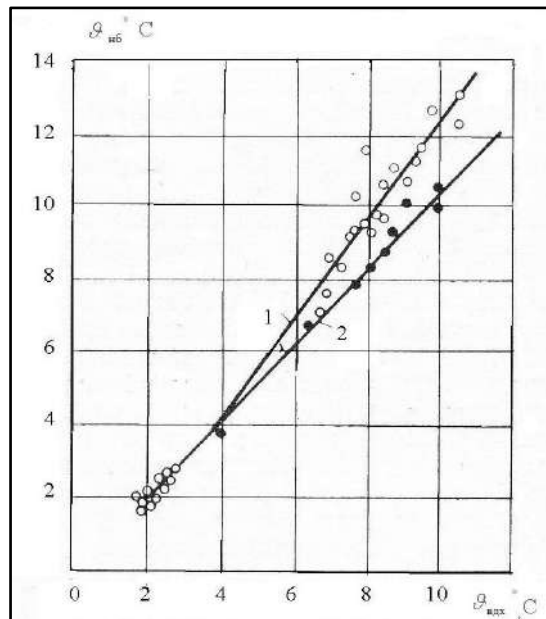


Рис. 13.21. Зависимость между температурой воды в нижнем бьефе  $t_{нб}$  и на приплотинном участке водохранилища  $t_{вдхр}$  Красноярской ГЭС:

1 – период нагревания июнь-август; 2 – период охлаждения сентябрь-март [279]

Обычно в течение двух-трех летних месяцев температура воды в нижних бьефах ГЭС бывает ниже температуры воды в реке в бытовых условиях. В остальное время, в том числе зимой, она выше бытовой.

Так, в нижнем бьефе Красноярской ГЭС температура воды у г. Красноярска в летние месяцы (июнь-сентябрь) стала ниже средней многолетней температуры р. Енисея на 3,9 °С, у г. Енисейска – на 1,7 – 2,2 °С. В октябре температура нижнего бьефа повысилась против бытовой на участке от ГЭС до г. Енисейска на 5,4 – 2,3 °С, в зимние месяцы – на 2 °С. Восстановление естественного температурного фона реки происходит на расстоянии не менее 700 – 800 км ниже Красноярской ГЭС [114; 279; 365].

Влияние водохранилища Вилюйской ГЭС на температурный режим р. Вилюя в зимние месяцы (I – V) проявляется на расстоянии 35 – 80 км, летом и осенью (VI – IX месяцы) длина зоны температурного влияния составляет 600 – 800 км (табл. 13.6).

Таблица 13.6

**Температура воды р. Вилюя в естественных условиях и в нижнем бьефе Вилюйской ГЭС [587]**

Пункт наблюдения	Температура воды по месяцам, °С												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
В/п Сюльдюкар, бытовые условия	0	0	0	0	0,5	11,0	16,6	14,6	6,2	0,2	0	0	4,09
В/п Сюльдюкар, 200 км от ГЭС	0	0	0	0	2,5	9,5	11,0	12,0	9,5	2,5	0	0	3,91
Нижний бьеф ГЭС	0				2,5	4,0	6,0	7,5	8,0	6,0	2,5 – 3,0		4,08

Попуски из неглубоких водохранилищ не приводят к существенным изменениям температурного режима воды по сравнению с речными условиями.

В природе наблюдается, что истоки рек, берущих начало из озер, не покрываются льдом даже во время сильных морозов. Вода, поступая в реку из озера, резко меняет гидравлический режим, переходя от медленного течения в озере к бытовым скоростям реки. Такой переход сопровождается охлаждением воды (рис. 13.22). За счет теплоты, которая при этом освобождается, в истоке реки поддерживается полынья [530].

Похожая картина имеет место в нижних бьефах ГЭС. За гидроэлектростанциями зимой остаются незамерзающие полыньи, так как для

охлаждения сбрасываемой через турбины воды до температуры замерзания необходимо некоторое время, зависящее от теплообмена речного потока с атмосферой. Протяженность полыней бывает в десятки и даже сотни километров, о чем можно судить по данным [122; 258; 315; 365; 701], помещенным в табл.13.7.

В зависимости от погодных условий и величины сбросов воды в нижнем бьефе Красноярской ГЭС зимой существует незамерзающий участок реки длиной от 50 до 225 км. У г. Красноярска лед образуется только в холодные зимы, причем средняя дата его появления приходится на 20 января, т.е. на 2 – 2,5 месяца позднее обычного. У г. Енисейска и в районе устья р. Ангары Енисей стал сковываться льдом на 15 – 20 дней позднее обычных сроков. Начало весеннего ледохода наступает раньше – у г. Енисейска на 15 дней [114].

Таблица 13.7

### Длина полыньи в нижних бьефах ГЭС

ГЭС	Длина полыньи, км	ГЭС	Длина полыньи, км
Иваньковская	1 – 14	Братская	80 – 95
Рыбинская	0,5 – 90	Усть-Илимская	3 – 52
Волгоградская	1 – 65	Саяно-Шушенская	115
Цимлянская	0 – 83	Красноярская	50 – 225
Новосибирская	6 – 30	Виллойская	60
Иркутская	4,2 – 53	Зейская	52

Благодаря непрерывному изменению во времени гидравлических и метеорологических факторов явление полыньи имеет неустановившийся характер. Кромка льда находится в непрерывном движении, приближаясь к ГЭС по мере понижения температур воды и воздуха и удаляясь при повышении температур. Так, в нижнем бьефе Бурейской ГЭС в период 2003 – 2008 гг. при наполнении водохранилища и работе от 1 до 6 агрегатов ГЭС наблюдалась полынья с длиной, изменявшейся в течение зим от 33 до 95 км (рис. 13.23) [701].

В подпертых нижних бьефах полынья обычно короче, чем на свободных участках рек (рис. 13.24). Например, после заполнения Воткинского водохранилища длина полыньи в нижнем бьефе Камской ГЭС сократилась с 13 – 30 км до 1,5 – 15 км и у г. Перми восстановился устойчивый ледостав [114].

Длина полыньи в нижнем бьефе ГЭС поддается приближенному расчету [522; 530; 588]. По результатам строится ее хронологический график [588]. В качестве примера на рис. 13.25 представлены расчетные данные



Рис. 13.22. Исток р. Ангары из оз. Байкал



Рис. 13.23. Длина полыньи в нижнем бьефе Бурейской ГЭС зимой 2006/2007 г. [701]



Рис. 13.24. Полынья в подпертом нижнем бьефе Саратовской ГЭС

ОАО «Ленгидропроект» о длине полыньи в р. Бурея за проектируемой Нижнебурейской гидростанцией. Расчет проводился по пятидневкам [701].

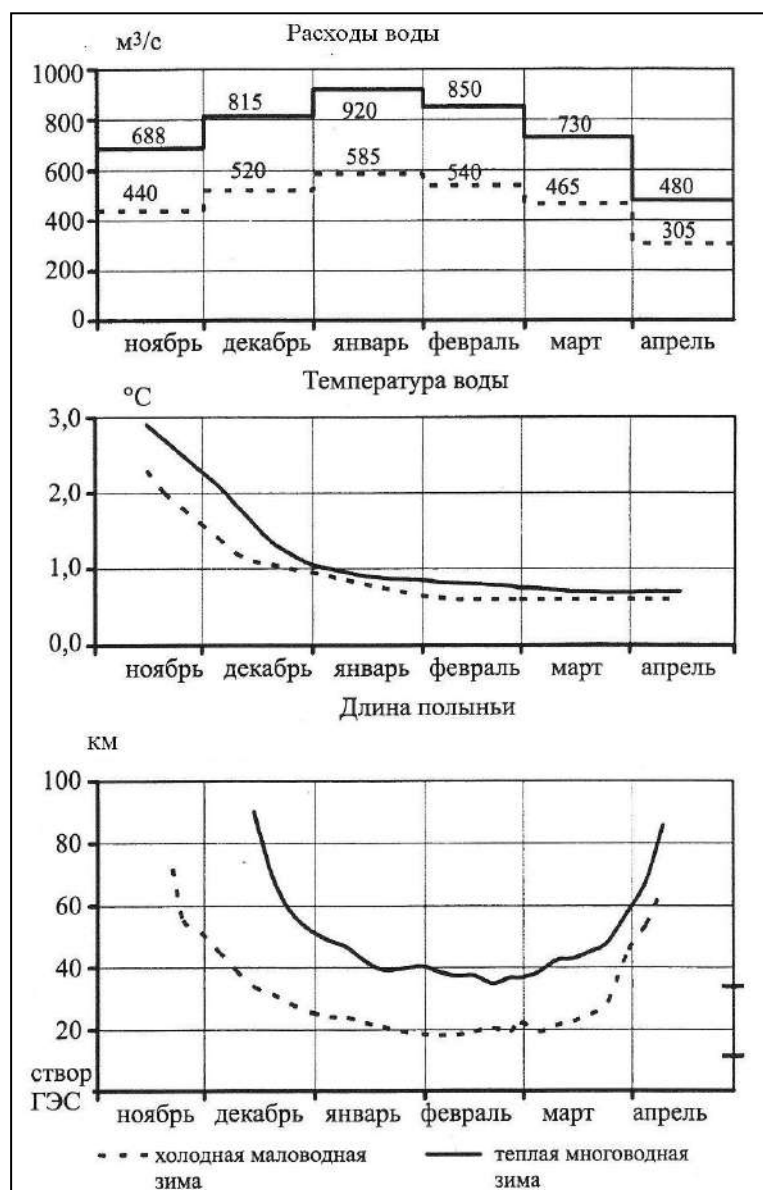


Рис. 13.25. Расчетные гидрометрические характеристики в нижнем бьефе проектируемой Нижнебурейской ГЭС [701]

Многовариантные расчеты температурного режима нижних бьефов ГЭС могут выполняться на ЭВМ. Так, в Институте водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул) разработан программный продукт «Гидроледотермика-1ДН (Полынья)». Он построен на комплексе одномерных нестационарных моделей: движения речного потока под ледяным покровом; температурного режима реки; шугообразования; динамики толщины сплошного покрова льда; движения кромки льда в нижнем бьефе ГЭС [247].

Отрицательные последствия изменения температурного режима в нижних бьефах (существование полыней, зимние подъемы уровней воды вследствие зажоров, образование наледей) проявились на ряде гидроузлов европейской территории страны и на всех энергетических гидроузлах Сибири и Северо-Востока [296; 297; 365].

Как было показано, температурный режим в нижних бьефах определяется главным образом температурой воды, пропускаемой через турбины ГЭС. Поэтому одним из мероприятий, которое может обеспечить приближение температурного режима в нижнем бьефе к существовавшему до возведения гидроузла, является селективный отбор поверхностных слоев водохранилища, где температура ближе, чем в каком-либо другом слое к ее бытовому значению. В конце 1980-х гг. предпринимались усилия по реализации такой схемы на Красноярской ГЭС, но по многим причинам дальше лабораторных экспериментов дело не продвинулось и эффективность мероприятия в натуральных условиях проверена не была [365].

Вторая задача, способствующая созданию благоприятного ледотермического режима в нижних бьефах высоконапорных гидроузлов – уменьшение величины колебания уровней в районе формирования кромки льда и исключение значительных подъемов уровней вследствие зажоров. Ослабить это отрицательное явление возможно посредством создания в нижнем бьефе контррегулирующего гидроузла с водохранилищем такого объема, который позволял бы при принятых на ГЭС графиках нагрузки, выдавать за пределы контррегулятора постоянные расходы воды [365]. Контррегуляторы предусматриваются во всех современных проектах высоконапорных энергетических гидроузлов.

В завершении главы о гидрологических процессах в водохранилищах начинающим гидрологам можем порекомендовать сравнительно недавно выпущенный учебник «Гидрология озер и водохранилищ» К.К. Эдельштейна [739].

# ГЛАВА 14. ФОРМИРОВАНИЕ БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ

## 14.1. Разрушение берегов рек и морских берегов

Реки в течение своей жизни многократно меняют русло (рис. 14.1). Среди природных разрушительных процессов заметное место принадлежит размыву речных берегов.

От деформаций берегов рек страдают поселения (рис. 14.2), коммуникации, разрушаются водозаборы, опоры ЛЭП, мостовые переходы, утрачиваются сельскохозяйственные угодья, происходит потеря леса [383].

На р. Лене в 1998 – 2000 гг. размыв русла и левого берега у г. Якутска послужил причиной разрушения водоприемных и фильтрационных сооружений городского водозабора, вызвав чрезвычайную ситуацию в водоснабжении города. Напротив г. Якутска на правом берегу р. Лены расположен пос. Нижний Бестях. В 1990-е гг. здесь рекой была смыта береговая полоса шириной 300 м, уничтожены целые улицы жилых домов, под угрозой обрушения оказались строения нескольких предприятий и организаций [200].

На р. Амуре в паводки размыв берегов достигает 10 м/год и угрожает существованию многих населенных пунктов. Протяженность берегов Амура, нуждающихся в первоочередной защите по оценкам на 2000 г. составляла: в Читинской области – 0,75 км, в Амурской области – 10,5 км, в Еврейской автономной области – 4 км, в Хабаровском крае – 10,6 км [114].

Своей жизнью живут берега озер (рис. 14.3).

Вследствие волнового воздействия разрушаются берега морей. Пример – обжитый Таганрогский залив Азовского моря, куда впадает р. Дон. По сравнению с открытой частью моря залив характеризуется меньшими параметрами волн. Протяженность берегов залива в Ростовской области 150 км. Из них 70 км – абразионные (размываемые волнами) и 39 км – оползневые. Средняя скорость размыва абразионных берегов за прошедший 25-летний период составила 0,6 м/год. Наиболее высокие скорости абразии

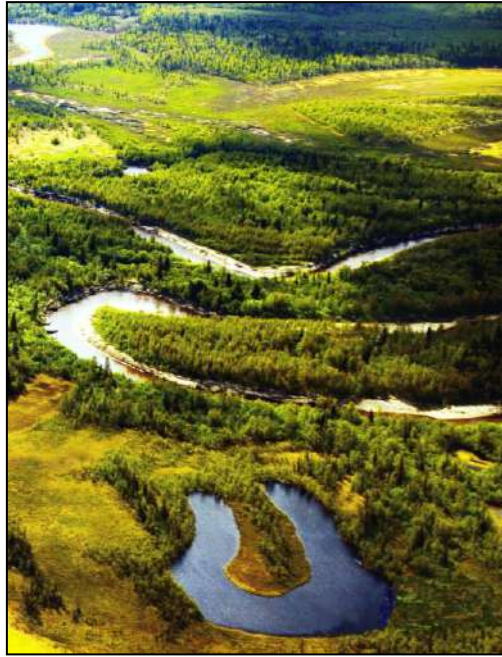


Рис. 14.1. Река в лесотундре Ненецкого АО: видно современное русло и ее путь в прошлом [[www.discovery-russia.ru](http://www.discovery-russia.ru), 2010]



Рис. 14.2. Строительство берегоукрепления на р. Конде у пос. Междуреченский в Ханты-Мансийском АО для защиты 45 домов, «зависших» на обрыве высотой 25 м. 2005 г.



Рис. 14.3. Берег Онежского озера в 40 км от г. Вытегры





Рис. 14.4. Абразионный берег у с. Весело-Вознесенска в Таганрогском заливе Азовского моря [316]



Рис. 14.5. Размываемый берег Воткинского водохранилища [419]



Рис. 14.6. Дилетант. Художник В.Г. Перов, 1862 г.

наблюдались на северном побережье у с. Весело-Вознесенска (рис. 14.4). Здесь за 2002 – 2007 гг. отступление кромки берегового обрыва, при его высоте 13 м, составило от 4,9 до 12,4 м [316].

Разрушение берегов рек и морей является неизбежным природным процессом, сопутствующим жизни водотоков и водоемов в их естественном состоянии. Население прибрежных территорий с этим процессом привычно мирится, сосуществует, при необходимости и по возможности от него защищается (см. рис. 14.2).

Переформирование берегов водохранилищ – процесс, наведенный человеческой деятельностью (антропогенный). Он (рис. 14.5), хотя и относится к категориям умеренно- и малоопасного явления [500], эпизодически вызывает озабоченность специалистов, практиков, хозяйственников, собственников, арендаторов, депутатов, государственных служащих, партийных функционеров, изумление дилетантов (рис. 14.6), ажиотаж неравнодушной общественности, подогреваемый СМИ. Далее этот процесс рассмотрен с позиций общих представлений и количественной оценки размеров берегопереформирований.

## **14.2. Общие данные о переформировании берегов водохранилищ**

В табл.14.1 представлены опубликованные данные о протяженности береговой линии и участков берегов, подверженных разрушению, по некоторым большим водохранилищам России. Указывается, что абразионные берега этих водохранилищ составляют от 18 % (Братское) до 76 % (Виллюйское) длины береговой линии. Протяженность береговой линии на всех водохранилищах России объемом свыше 0,1 км<sup>3</sup> называется равной 75400 км [176], разрушающихся берегов – 25000 км [500; 683]. Но к подобным данным следует относиться с осторожностью: они могут не соответствовать ни первоначальному ни современному состоянию берегов.

В табл. 14.2 представлена сводка данных из разных источников о состоянии берегов водохранилищ Волжско-Камского каскада. Эти данные также не лишены противоречий. Например, протяженность береговой линии Волгоградского водохранилища называется 1 678 или 2 080 км, Камского – 913 или 2 713 км без указаний на момент времени, масштаб карты и способ измерений. Режимные наблюдения за динамикой берегов равнинных

водохранилищ России весьма немногочисленны [417]. Величины переформирований определяются по смещению бровки берегового уступа [121], измеряемому большей частью примитивными средствами (см. рис. 14.5), что добавляет сомнений в правильности оценок. Однако данные факты не воспрепятствовали делать общие выводы о размерах произошедших берегопереформирований в целом по каскаду.

Таблица 14.1

**Протяженность берегов некоторых больших водохранилищ России [7; 112; 673; 683]**

Водохранилище		Протяженность береговой линии, км	Абразионные берега, %
Цимлянское		660 – 912	65 – 70
Новосибирское		520 – 823	48 – 53
Иркутское	речная часть	275	38
	оз. Байкал	2583	76
Братское		6030	18 – 41
Красноярское		1450 – 1577	65 – 73
Вилуйское		2755	76
Усть-Хантайское		968	62
Богучанское		2432	31,5

Таблица 14.2

**Протяженность абразионных берегов и площадь потерянных от их переформирования земель на середину 1990-х гг. по водохранилищам Волжско-Камского каскада [112; 123; 199; 683]**

Водохранилище	Протяженность береговой линии			Площадь потерянных земель, тыс. га
	Всего, км	в том числе абразионные берега		
		км	%	
Иваньковское	819 – 820	156 – 190	19 – 23,1	1,5
Угличское	883 – 890	132 – 310	15 – 34,8	3,1
Рыбинское	2459 – 2460	270 – 870	11 – 35,3	3,0–3,4
Горьковское	2168 – 2170	629 – 1340	29–61,7	6,0–7,7
Чебоксарское	1060	400	37,7	0,4
Куйбышевское	2030 – 2100	1523 – 1300	75 – 61,9	7,0–13,4
Саратовское	865 – 1000	680	68	5,0–3,9
Волгоградское	1678 – 2080	755 – 1010	4,5 – 48,5	9,0–5,6
Камское	913 – 2713	310 – 571	46 – 21,6	1,6
Воткинское	970 – 1000	398 – 450	41 – 45	1,8
Нижнекамское	1070	300	28	1,0
Итого	14915 – 16080	5663 – 7160	37,9 – 44,5	39,4 – 43,4

Береговая линия водохранилищ Волжско-Камского каскада имеет общую протяженность около 15 тыс. км. К середине 1990-х гг. на долю берегов, разрушающихся вследствие абразии, по разным оценкам приходилось до 44,5 % их общей протяженности. В результате переработки берегов суммарные потери земель по каскаду оценены в диапазоне от 39,4 до 43,4 тыс. га, в том числе до 13,4 тыс. га на Куйбышевском водохранилище [112; 123]. Эти потери в абсолютном выражении кажутся значительными, но если посмотреть на относительную величину потерь (табл. 14.3), то она составляет всего 2 % площади земель, затопленных водохранилищами каскада, или 1,6 % общей площади их зеркала.

Похожее соотношение свойственно и другим равнинным и предгорным водохранилищам России. Так, по приближенным оценкам длина абразионных берегов Новосибирского водохранилища около 400 км, а потери земель за период его эксплуатации с 1957 г. по 2000 г. достигли 20 км<sup>2</sup> или 1,8 % к площади водного зеркала [545]. Протяженность абразионно-размываемых берегов Братского водохранилища указывается равной 2215 км, практически неразмываемых – 1929 км. За 25 лет от наполнения водохранилища общая площадь размыва его берегов составила 170 км<sup>2</sup>, т.е. не более 3 % площади зеркала при НПУ [315].

Таблица 14.3

**Относительная площадь потерянных земель в результате перестроения берегов водохранилищ Волжско-Камского каскада**

Водохранилище	Площадь затопленных земель, тыс. га (см. табл. 11.5)	Площадь потерянных земель в результате берегоперестроения к середине 1990-х гг.	
		тыс. га (см. табл. 14.2)	% к площади затопленных земель
Иваньковское	29,2	1,5	5,13
Угличское	13,7	3,1	22,62
Рыбинское	434,0	3,4	0,78
Горьковское	129,2	7,7	5,95
Чебоксарское	167,5	0,4	0,23
Куйбышевское	503,9	13,4	2,65
Саратовское	116,9	3,9	3,33
Волгоградское	269,3	5,6	2,07
Камское	175,5	1,6	0,91
Воткинское	92,2	1,8	1,95
Нижнекамское	198,3	1,0	0,50
Всего	2128,8	43,4	2,04

Прогностические выкладки неуказанного происхождения (рис. 14.7) информируют о том, что риск потери земель при отступании берегов больших водохранилищ России вследствие абразии составляет от 10 га/год (Цимлянское, Новосибирское) до 340 га/год (Куйбышевское) [372].

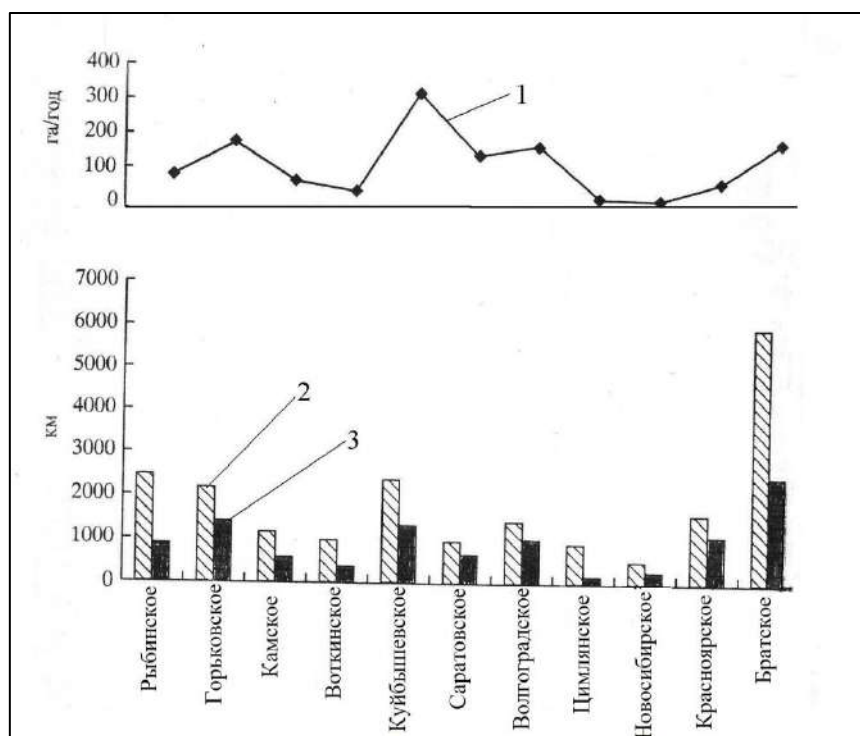


Рис. 14.7. Риск потери земель при переформировании берегов водохранилищ: 1 – риск потери земель, га/год; 2 – протяженность береговой линии водохранилищ, км; 3 – в том числе протяженность абразионных берегов, км [91;372]

### 14.3. Типы берегов водохранилищ

Типизация берегов водохранилищ имеет теоретическое и прикладное значение. Известная типизация (табл. 14.4) [105; 673] объединяет берега водохранилищ в основные генетические группы, выделяя в них наиболее распространенные генетические типы берегов по определяющему условию и ведущему процессу берегопереформирования. В эту типизацию включена группа термоабразионных берегов водохранилищ области вечной мерзлоты [587].

На больших равнинных и предгорных водохранилищах в условиях первичных обвально-осыпных и делювиальных склонов в первые стадии развития ведущим процессом является ветроволновая абразия и развиваются

**обвально-осыпные абразионные берега.** Низкие обвально-осыпные абразионные берега водохранилищ уныло однообразны (рис. 14.8). Своеобразной красотой отличаются высокие обвально-осыпные абразионные берега (рис. 14.9).

Таблица 14.4

**Типизация берегов водохранилищ [673]**

Генетическая группа берегов	Генетический тип берега в группе
I. Абразионные	Обвально-осыпной
	Осыпной
	Обвально-глыбовый
	Денудационный
	Оползневой
	Карстовый
II. Абразионно-эрозионные	Обвально-осыпной
	Обвально-глыбовый
	Денудационный
	Оползневой
	Обвально-плывунный
III. Аккумулятивные	Отмелый (в акватории)
	Пересыпной (в заливах)
IV. Водно-гравитационные	Обвально-осыпной
	Обвально-плывунный
V. Термоабразионные	Обвально-глыбовый термоабразионный
	Солифлюкционный (термоденудационный)
	Термокарстовый
VI. Биогенные	Торфянистый
	Зарастающий
VII. Нейтральные	Аллювиальный террасовый
	Озерный террасовый
	Эрозионный террасовый
	Денудационный скальный

Если на береговом уступе преобладают не обвалы, а осыпи грунта, такие берега относят к **осыпным абразионным**.

**Обвально-глыбовые абразионные берега** могут развиваться в не- скальных, полускальных и даже скальных породах (рис. 14.10). Волновая абразия в коренном склоне вырабатывает вертикальную стенку, волны размывают отдельные глыбы и выламывают их, поступающий к урезу глыбово- обломочный материал разрушается прибоем [198].

**Денудация** – процесс сноса продуктов выветривания горных пород в понижения рельефа [603]. **Денудационно-абразионные берега** обычно сложены устойчивыми к непосредственному размыву породами и разрушаются вследствие выветривания горных пород с удалением продуктов

выветривания волнами (рис. 14.11).

**Оползнево-абразионные берега** получают развитие в тех местах, где до создания водохранилища уже были оползни или имеются условия для их проявления (рис. 14.12). Наполнение водохранилища, колебания уровня воды в нем, абразионная подрезка основания берега способствуют оживлению существующих и образованию новых оползней, не связанных с естественной эволюцией склонов.

**Карстово-абразионные берега** образуются в пределах карстующихся горных пород – гипсов, ангидритов, известняков. Переформирование закарстованных берегов определяется процессами растворения горных пород, слагающих их надводную и подводную части.

Если к абразионному процессу добавляется эрозионный процесс, берега относят к **абразионно-эрозионным** (рис. 14.13).

**Аккумулятивные берега** не получили существенного развития на водохранилищах (рис. 14.14). Их образование не представляет практического интереса с точки зрения изменения объема и площади зеркала. По некоторым данным подавляющая часть наносов обычно представлена различными фракциями песков и гравия. Имеется прагматическое предложение использовать эти аккумулятивные тела в качестве месторождений строительного сырья [418].

В определенных условиях ведущими в берегопереформировании могут стать активизировавшиеся **обвально-пльвинные процессы**, но проявлялись они в единичных случаях. Вот один из примеров. На правом склоне долины р. Оки, образующей залив Братского водохранилища, был построен новый поселок лесозаготовителей Артумей. Территория представляла слабонаклонную местность, поэтому значительная абразия берега не ожидалась. Однако после наполнения водохранилища берег неожиданно и стремительно отступил, вода поглотила пристань, базу СМУ, здание электростанции, больницу, другие строения. За сутки исчезло примерно 250 м береговой полосы. Из-за непредсказуемости поведения берега жители были переселены, поселок заброшен, превратился в развалины, территория заросла сосняком. На месте бывшего берегового выступа образовался залив. Как позднее установили, причиной явления стало насыщение водой пылеватых песков, превратившее их в пльвинное состояние [253]. В результате бровка берега с августа 1962 г. по март 1967 г. отступила на 759 м от первоначального положения [7; 673].

а



б



в



Рис. 14.8. Низкие обвально-осыпные абразионные берега водохранилищ: а – Угличского; б – Нижнекамского в 70 км выше г. Сарапула; в – Куйбышевского выше г. Казани



а



б



в



Рис. 14.9. Высокие обвально -осыпные абразионные берега водохранилищ:  
а – Камского [419]; б – Куйбышевского у пос. Троицкий Урай; в – Волгоградского [419]



Рис. 14.10. Участок обвально-глыбового абразионного берега Камского водохранилища



Рис. 14.11. Денудационно-абразионный берег Зейского водохранилища



Рис. 14.12. Оползнево-абразионный правый берег Горьковского водохранилища у д. Кулаево

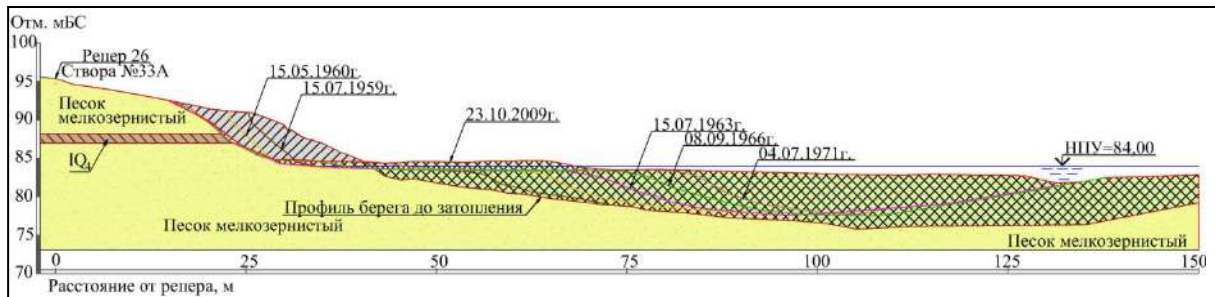


Рис. 14.13. Обвално-осыпной абразионно-эрозионный берег Волгоградского водохранилища в районе Змеевых гор

а



б



в



Рис. 14.14. Аккумулятивные участки берегов: у левобережного прохода в аванпорт Нижегородского гидроузла на Горьковском водохранилище – план (а) и профиль по штриховой линии (б); в Кусаганском расширении Вилюйского водохранилища (в)



Рис. 14.15. Термоабразионный берег в Кусаганском расширении Вилуйского водохранилища, сложенный выветрелыми известняками и песчаниками



Рис. 14.16. Торфянистый биогенный затапливаемый берег Рыбинского водохранилища [163]



Рис. 14.17. Зарастающее мелководье на Рыбинском (выше г. Череповца) водохранилище, превращающееся в биогенную сушу



Рис. 14.18. Устойчивый к размыву пологий песчаный берег Рыбинского водохранилища [163]

а



б



Рис. 14.19. Нейтральные скальные берега: а – Саяно-Шушенского водохранилища [656] (б) – водохранилища на Беломорско-Балтийском канале

**Термоабразионные берега** характерны для водохранилищ в области вечной мерзлоты (рис. 14.15). Это берега изначально мерзлые. Они переформируются под совместным воздействием тепловой и механической (волновой) энергии воды [587]. Обликом схожи с абразионными берегами.

**Биогенные берега** образуются в местах торфяных залежей (рис. 14.16) и на мелководьях из отмершей водной растительности (рис. 14.17). Например, на Иваньковском водохранилище 76 км<sup>2</sup> акватории (23 %) через 40 лет существования заросло водной растительностью, из них 13 км<sup>2</sup> покрылось сплавинами, а 11 км<sup>2</sup> превратилось в биогенную сушу [112]. Но такие примеры нетипичны и биогенные берега существенной роли в берегоформировании на водохранилищах не играют.

**Нейтральными** (не подверженными переформированию) остаются обычно очень пологие берега из мягких грунтов с уклонами 1–2° (рис. 14.18), но часто и более крутые, являющиеся волноустойчивыми. Такие берега имеют значительную протяженность на всех равнинных водохранилищах. В горных условиях нейтральными являются берега, сложенные здоровыми (не выветрелыми) скальными массивами (рис. 14.19).

Согласно приведенной типизации ведущим береговым процессом при одном первичном рельефе и сложении берега является волновая абразия (термоабразия), а при другом его характере – денудационные, оползневые, карстовые, пливунные и прочие процессы. Далее в книге преимущественное внимание уделено абразионным и термоабразионным берегам водохранилищ, подверженным наиболее интенсивному переформированию.

#### **14.4. Закономерности формирования абразионных берегов равнинных водохранилищ**

Формирование берегов является составной частью общего процесса развития водохранилищной котловины.

**Главная задача**, которую ставят наука и практика в направлении количественной оценки берегопереформирований на водохранилищах – определение скорости отступления бровки надводного берегового уступа и величины отступления на заданный срок [387; 521]. В общем случае эволюции берега изменяются его профиль и очертание его в плане. При этом во многих отношениях удобно, как это обычно и делается, рассмотреть сначала

развитие профиля берега, а потом обратиться к эволюции планового берегового контура [510].

В 2007 – 2012 гг. ННГАСУ осуществлены экспедиции по водохранилищам на реках Свири, Сухоне, Шексне, Волге, Суре, Каме, Дону и др. с целью рекогносцировочного обследования берегов, выполнены съемки подводного рельефа и инструментальные измерения береговых профилей на нескольких водохранилищах. По данным проведенных натурных исследований с привлечением материалов прошлых лет уточнены известные и выявлены новые качественные закономерности процесса перестроения обвально-осыпных абразионных берегов равнинных водохранилищ, проявившиеся за многолетний период их эксплуатации [572]. Описание этих закономерностей сведено в настоящий раздел.

**Основные факторы формирования берегов водохранилищ** по степени их влияния на процесс выстроены в следующую очередь.

- **Ветровое волнение.** Объективной его характеристикой является энергия волнения и прибойного потока. Наилучшую коррелируемость с параметрами берегоперестроения имеет суммарная энергия волнения при высоте волн более 0,5 – 1 м. Ветровое волнение считается основной силой, разрушающей берега водохранилищ.

- **Конфигурация подводного рельефа и свойства пород берега.** В условиях водохранилищ абразионное развитие обычно получают берега с уклоном первичного рельефа более 2 – 4 градусов, особенно более 15–20 градусов, сложенные рыхлыми размываемыми породами – лессами, супесями, песками и т.п. [673]. Наилучшую коррелируемость с объемом берегопереработки имеет коэффициент размываемости пород. Этот коэффициент является характеристикой сопротивляемости берега водохранилища размыву, численно равен отношению объема породы, размывтой на 1 пог. м берега за сезон к энергии волнения, воздействующего на берег за этот сезон ( $\text{м}^3/\text{Дж}$ ), зависит от физико-технических свойств пород и особенностей структуры берегового склона.

Диапазоны коэффициентов размываемости ( $10^{-6} \text{ м}^3/\text{Дж}$ ) по видам грунтов следующие:

пески пылеватые и мелкие	0,665 – 0,490;
пески мелкие и средние	0,400 – 0,112;
суглинки, супеси	0,373 – 0,073;
глины, мергели, алевролиты	0,230 – 0,009.

Приведенные значения обоснованы материалами натурных наблюдений за

берегами Иваньковского, Горьковского, Рыбинского, Чебоксарского, Цимлянского водохранилищ [387; 576].

- Аккумуляция наносов. Способствует развитию береговой отмели и ослаблению процесса абразии.
- Уровненный режим водохранилища. Амплитуда колебаний уровня воды контролирует верхнюю и нижнюю границы абразии.
- Конфигурация надводной части берегового склона. Чем выше берег, тем он меньше подвержен абразии, что объясняется прямопропорциональной зависимостью объема размывтой породы от энергии волнения.
- Очертание берега в плане. Выступающие участки берега подвергаются разрушению интенсивнее, чем прямолинейные и вогнутые.
- Вдольбереговое перемещение наносов. Как уже отмечалось, при косом подходе волн к берегу возникает вдольбереговое течение, во многом напоминающее речной поток и обладающее значительной транспортирующей способностью. Твердый расход этого течения складывается из взвешенных и донных наносов [510]. Представление об объеме наносов, перемещаемых вдольбереговым течением может дать пример по участку берега Новосибирского водохранилища в районе Бердского залива: там в нескольких створах на протяжении 2 км вдольбереговой поток наносов оценен в 400 – 2000 м<sup>3</sup>/год [683]. Такой поток может значительно сказаться на деформациях рельефа береговой зоны.
- Факторы меньшей значимости: выветривание, эрозия, течения, ледовый режим, подземные воды, влияние животных и человека. [216; 673].

Часть факторов берегового процесса (волнение, уровни воды, неоднородность геологического строения) имеет стохастическую природу, поэтому тенденция развития берегов показывает нежесткий характер [370].

**Процесс формирования берегов водохранилищ является неравномерно-замедленным во времени.** Такой характер его развития статистически закономерен [216].

На пути эволюции берегов больших равнинных и предгорных водохранилищ прослеживаются **временные циклы и стадии**. Циклы являются годовыми и обособлены друг от друга периодами ледостава. Строгого критерия выделения стадий процесса установить не удастся. Условно принято выделять 4 стадии на основе качественного подхода.

I. Начальная стадия в период первоначального наполнения водохранилища, в которую берега переформируются при уровнях водохранилища ниже НПУ.



II. Стадия интенсивного берегоразрушения и развития абразионной отмели в начальный период нормальной эксплуатации водохранилища, когда в береговой зоне преобладают абразионно-аккумулятивные процессы.

III. Стадия становления берега и абразионно-аккумулятивной отмели, когда в береговой зоне начинают преобладать неволновые денудационные и аккумулятивные процессы. Стадия динамического равновесия берега.

IV. Стадийность развития берегов водохранилищ признана всеми специалистами, изучавшими это явление [105; 106; 216; 260; 286; 370; 417; 419; 445; 483; 510; 572; 576; 673; 674; 681; 682; 683; 692; 713].

Поскольку береговой процесс обладает дискретностью, можно дробить его и далее, однако при понижении уровня дискретности будет анализироваться уже не береговой процесс в целом, а частные физические процессы в береговой зоне [370; 693].

Процессу развития берегов водохранилищ свойственна **неодновременность**. Она заключается в том, что отдельные участки берегов водохранилища неодновременно проходят стадии своего развития [370]. Более того, стадии могут иметь для каждого берегового участка свою продолжительность [216].

Береговому процессу свойственны также **зональные и региональные особенности**. Подмечено, что на больших водохранилищах интенсивность берегопереформирования нарастает в направлении от лесной зоны к лесостепной и далее к степной, полупустынной и пустынной в связи с усилением ветра, увеличением продолжительности безледного периода и ослаблением защитной роли растительности [105; 286; 370; 505].

В общем случае **постадийная эволюция абразионного берега** сводится к отступанию берегового обрыва и увеличению ширины береговой отмели.

Наиболее активное переформирование берегов происходит в первые годы нормальной эксплуатации водохранилища.

По прошествии определенного количества лет абразионный берег получает профиль, схематично изображенный на рис. 14.20 [260]. На профиле берега выделяются: надводный береговой уступ (обрыв), крутой вплоть до вертикального, особенно когда берег сложен лессовидными суглинками и глинами (рис. 14.21); прибрежная отмель (рис. 14.22), имеющая абразионную и аккумулятивную части и располагающаяся в пределах размывающего действия волн; подводный откос (свал) отмели с уклоном, близким тангенсу

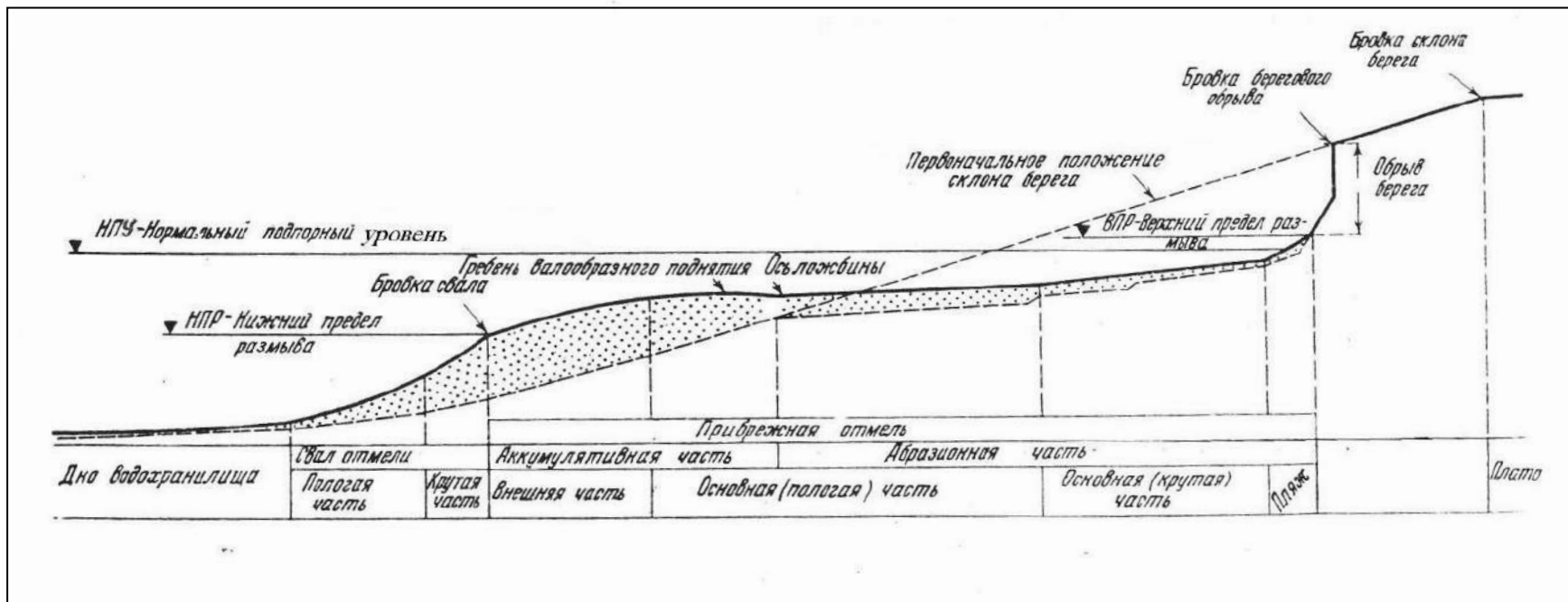


Рис. 14.20. Типичный профиль обвально-осыпного абразионного берега, сложенного песчаными породами, в процессе размыва [260]



Рис. 14.21. Вертикальный надводный уступ обвально-осыпного абразионного берега Воткинского водохранилища [419]



Рис. 14.22. Прибрежная отмель у оползнево-абразионного берега Камского водохранилища [419]



Рис. 14.23. Обвально-осыпной абразионный берег Новосибирского водохранилища в конце лета при пониженном уровне воды

угла естественного откоса грунта отмели во взвешенном в воде состоянии; дно водохранилища.

В конце весны и летом при высоком уровне воды в водохранилище сезонного регулирования происходит интенсивный размыв волнами основания надводного уступа берега, что вызывает на нем обвалы, осыпи, оползневые проявления. Осенью, в связи со снижением уровня водохранилища, волновая абразия надводного уступа может прекратиться. В это время волнами размывается материал летнего обрушения и переформируется подводная часть берега (рис. 14.23). Однако, режим уровней со сработкой в осеннее-зимнее время не является общим для всех водохранилищ. Так, в ангарских водохранилищах стояние уровней воды на максимальных отметках отмечается не весной, а осенью. Поэтому подъем уровней этих водохранилищ в течение весеннее-летнего периода приводит к размыву не берегового уступа, а отмели, сформировавшейся при более высоких уровнях предыдущего года. Но осенью в штормовой период, несмотря на кратковременность стояния уровня на высоких отметках, размыв уступа достигает значительных величин [509].

В прибрежную отмель отлагается в основном крупнодисперсный материал продуктов обрушения берега. Из табл. 14.5 видно, что для размыва илистых и пылеватых частиц, гравия и гальки требуются большие скорости, но оседают мельчайшие частицы могут лишь в спокойной воде, а гравий, галька и крупный песок – при скоростях, близких к скоростям размыва. Поэтому илистые и пылеватые частицы большей частью уносятся волнением в глубоководные зоны, а гравий и галька остаются в местах размыва. Пески обладают меньшим сопротивлением размыву, но большей частью оседают в береговой зоне во время волнения и поэтому являются основным материалом, слагающим отмели [673].

При более пологом берегу образуется более широкая отмель, а при разрушении очень крутых берегов отмель вообще не образуется: грунт сползает до дна под углом естественного откоса [673]. Кроме того, вид отмели зависит от баланса вдольберегового потока наносов у данного участка берега: при положительном балансе отмель имеет аккумулятивную часть, при отрицательном является чисто абразионной. Отметка внешнего края отмели на стадии интенсивного берегоразрушения изменяется однонаправленно, а далее испытывает лишь циклические изменения, в то время как увеличение тела отмели (при положительном балансе наносов) отражается на ее ширине, которая из года в год становится больше [370].

Таблица 14.5

**Скорости трогания и осаждения грунтовых частиц различной крупности в воде [673]**

Наименование грунта	Диаметр частиц, мм	Скорость течения воды, м/с	
		размыв	отложение
Ил	0,001	3,00	–
Пыль	0,01	0,60	0,0008
	0,05	0,28	0,0040
Песок	0,1	0,22	0,0075
	0,5	0,18	0,038
	1,0	0,23	0,075
Гравий	5	1,65	0,40
	10	1,10	0,70
Галька	50	2,40	1,70

Интенсивность берегопереформирования оценивается, чаще всего, по скорости отступления бровки надводного берегового уступа (табл. 14.6), различной на разных стадиях процесса.

Таблица 14.6

**Данные наблюденных разрушений абразионных берегов  
некоторых волжско-камских водохранилищ [121; 417; 510; 673]**

Водохранилище	Пункт	Отступление бровки берега		Период наблюдений
		величина, м	средняя скорость, м/год	
Угличское	в среднем по водоему	–	0,6	многолетние данные
Рыбинское	в среднем по водоему	–	0,96	первые 50 лет эксплуатации
Горьковское	п. Сокольское	18,5	1,85	первые 10 лет эксплуатации (1957–1966 гг.)
	д. Андроново	49,3	4,93	
Куйбышевское	с. Красновидово	10,5	1,75	первые 6 лет эксплуатации (1957–1962 гг.)
	с. Белый Яр	46,7	7,8	
Волгоградское	с. Ровное	94	11,75	первые 8 лет эксплуатации (1959–1966 гг.)
	с. Горный Балыклей	32	4,0	
	с. Рахинка	80	10,0	
Камское	с. Слудка	78	6,0	первые 13 лет эксплуатации
	другие районы	11 – 38	0,84 – 2,92	
Воткинское	д. Боголюбы	–	0,65 – 2,7	1976 – 1986 гг.
	с. Елово	–	2,5 – 3,5	1976 – 1991 гг.

Наблюдениями установлено, что в ходе переформирования берегов больших водохранилищ уже в течение первых 12 – 15 лет эксплуатации отмечается общая тенденция затухания процесса. Это связано с выработкой широких береговых отмелей с постепенно уменьшающимся уклоном, на которых происходит гашение большей части энергии ветровых волн. Вместе с тем, на фоне общей тенденции затухания может наблюдаться неперIODическая активизация процесса обрушения берегов в результате изменения эксплуатационного режима водохранилищ [673]. Такое было, например на Волгоградском водохранилище, где повышение в начале 1990-х гг. уровня воды на 30 – 35 см над НПУ сразу привело к активизации береговой абразии [417].

Процесс формирования берега с годами может достигнуть IV стадии динамического равновесия, когда абразия надводного уступа практически прекращается. Динамическое равновесие может наблюдаться либо на отдельных участках берегов водохранилища, либо (теоретически) на водоеме в целом при условии нулевого баланса наносов вдоль береговой линии. Признаки этой стадии имеются у обвально-осыпных абразионных берегов всех волжских водохранилищ. А, например, по участкам правого берега Волгоградского водохранилища в районе Змеевых гор прослеживается эволюция обвально-осыпного абразионного берега к абразионно-эрозионному и далее – к стадии динамического равновесия (рис. 14.24). Явным признаком последней служит лесная поросль, закрепившаяся на надводном береговом уступе. Переход в IV стадию сможет произойти в условиях постоянного эксплуатационного режима водохранилища. При изменении режима эксплуатации, особенно уровня режима в безледоставный период, динамическое равновесие будет нарушено.

Внимание ученых и инженеров давно привлекал вопрос о профиле динамического равновесия берега водохранилища. Делались попытки теоретического определения элементов профиля [350; 353; 681; 683], причем лучшие результаты дали эксперименты в волновом лотке [510]. Стали различать два типа равновесия берегов: статическое и динамическое. При статическом равновесии частицы грунта постоянно находятся в состоянии покоя, перемещение наносов прекращается. В случае динамического равновесия частицы грунта при действии волнения находятся в движении, но поступление наносов на берег компенсируется уносом их на большие глубины [370; 510; 673]. Некоторые данные по уклонам волноустойчивых отмелей приведены в табл. 14.7. Реальным примером является берег, сложенный мелким

песком с уклоном около  $1^\circ$  (рис. 14.25), который несколько деформируется волнением разной величины, но в целом приближается к более устойчивому состоянию. Надо признать, что теоретические объяснения динамического равновесия берегов пока не выглядят исчерпывающими.

Таблица 14.7

**Уклоны волноустойчивых отмелей [387; 673]**

Порода	Диаметр частиц, мм	Уклон устойчивой отмели на расстоянии 10 м от уреза воды
Песок пылеватый и мелкий	0,01 – 0,25	0,001 – 0,005
Песок средний и крупный	0,25 – 1,0	0,01 – 0,02
Гравий мелкий и крупный	1 – 10	0,03 – 0,08
Глина мергелистая	–	0,02 – 0,05

Интуитивно полагается, что состояние динамического равновесия не следует считать завершением берегового процесса, а только одной из его стадий, которую при изменившихся факторах берегоформирования может вновь сменить стадия становления берега. Береговой процесс на водохранилищах во времени, по-видимому, не ограничен [370].

С течением времени происходит **плановое переформирование берегов водохранилищ**. Оно выражается в трансформации береговой полосы с перемещением линии уреза воды вглубь прилегающей территории, или наоборот – в сторону акватории. Направленность развития берега заключается в некотором выравнивании его контура: мысовидные выступы подвергаются разрушению, а заливы, бухты заполняются наносами. При этом берег не стремится стать прямолинейным. Давно замечено, что в стадии зрелости берега крупных внутренних водоемов часто имеют вид серии плавных абразионных или аккумулятивных дуг, ограниченных мысами (рис. 14.26). По предположению В. П. Зенковича [245], основной причиной формирования крупных вогнутостей береговой линии является воздействие волн на берег и, в частности, рефракция их над подводным береговым склоном: волнения, перпендикулярные берегу, стремятся выровнять дугу, а вдольбереговые, наоборот, углубить. Прямолинейные же участки являются частным случаем развития берегов [226; 713].

В 1970 -х гг. предполагалось, что общая длина берегов за счет выпрямления береговой линии с возрастом водохранилища будет сокращаться, а



Рис. 14.24. Продвижение участков абразионного берега Волгоградского водохранилища в районе Змеевых гор к стадии динамического равновесия (сверху вниз). 2010 г.





Рис. 14.25. Песчаный берег в верховье Волгоградского водохранилища у пос. Усовки с профилем, близким профилю динамического равновесия (см. также рис. 14.18)

а



б



Рис. 14.26. Дугообразные абразионный (а) и аккумулятивный (б) участки берега Горьковского водохранилища выше пос. Сокольское. 2007 г.

длина абразионных берегов увеличиваться, а потом сокращаться и теоретически при полной переработке берегов может стать равной нулю [286; 673]. На больших равнинных водохранилищах отмечались элементы такого поведения берегов.

Так, на Рыбинском водохранилище, по некоторым данным, длина абразионных берегов увеличилась с 8,5 % длины береговой линии в 1949 г. до 9,2 % в 1967 г. [673] и до 12,2 % в 2007 г. при сокращении длины береговой линии с 2460 км в 1949 г. до 2 150 км в настоящее время [121].

Общая протяженность береговой линии Куйбышевского водохранилища с 1959 г. по 1963 г. сократилась, по материалам аэрофотосъемки, от 2500 до 2100 км, а протяженность абразионных берегов возросла от 1000 до 1400 км или от 40 до 66 % протяженности береговой линии [7; 510].

Доля абразионных берегов Камского водохранилища от начала 1960-х гг. к 1980-м гг. увеличилась с 46,1 % до 51,7 %, а к началу 2000 гг. достигла почти 55 % длины береговой линии [417; 419].

На Волгоградском водохранилище протяженность абразионных берегов с 913 км в начальный период эксплуатации увеличилась до 1050 км к 2000 г., т.е. изменилась от 45 % до 51,7 %, длины береговой линии [419].

Общая длина берегов Цимлянского водохранилища при НПУ за первые 10 лет эксплуатации сократилась на 24 %, а длина абразионных берегов увеличилась вдвое [510].

Такое же происходило с берегами Новосибирского водохранилища. В 1960 г. протяженность его абразионных берегов составляла 115 км (20 % от общей длины), через 10 лет – 250 км, к 1980 г. – 400 км [417; 419; 545].

В источниках, за редким исключением, не указывались методы получения данных о протяженности береговой линии и абразионных берегов водохранилищ. Поэтому приведенные километры и проценты длины берегов, которые, вероятно, определялись по урезу НПУ, надо понимать как ориентировочные. Известно, что факты имеют свойство расходиться с предполагаемыми закономерностями. В современных исследованиях [572; 578] предположение о сокращении длины береговой линии с возрастом водохранилищ подтверждения не нашло (см. раздел 17.3).

Волновой абразии наравне с берегами подвержены **острова** в водохранилищах. На Камском водохранилище сегодня насчитывается 441 остров общей площадью 82,85 км<sup>2</sup> [400]. Скорость размыва островов в песчаных грунтах фиксировалась до 4 м/месяц и некоторые небольшие острова исчезли под водой [120]. Множеством больших и малых островов как с

признаками, так и без признаков абразии, отличаются все большие равнинные водохранилища России.

#### **14.5. Примеры многолетнего перестроения абразионных берегов больших водохранилищ**

На примерах Рыбинского, Горьковского, Чебоксарского, Воткинского, Цимлянского, Новосибирского, Красноярского и Бурейского водохранилищ иллюстрируется перестроение их абразионных берегов за многолетние периоды эксплуатации по данным натурных наблюдений и расчетных прогнозов.

**Режимные наблюдения за берегами** планировались разными организациями на всех больших российских водохранилищах, на многих выполнялись, но в канун 1990-х гг. были прекращены, кое-где ведутся по настоящее время.

**Прогнозы перестроений берегов водохранилищ** выполняются краткосрочные – на 5, 10 лет и долгосрочные – на стадию динамического равновесия или конечную стадию практической значимости. Зона переработки берега за 10 лет считается зоной непосредственной угрозы или зоной выноса строений. Конечная зона переработки практической значимости определяется сроком 50, 100 и более лет [387; 521].

Начало прогнозированию абразионной переработки берегов водохранилищ было положено в 1935 г. формулой академика Ф. П. Саваренского [543]. Разработанные в последующем методы прогноза группируются следующим образом.

1. Энергетические методы, основанные на предположении, что объемы переработки берега пропорциональны энергии волн, воздействующих на него [181; 260; 286; 287; 302; 352; 353; 370; 387; 510; 521; 583; 584; 586; 683; 691], предназначенные для применения на проектируемых и эксплуатируемых водохранилищах.

2. Сравнительно-геологические, или методы аналогий [105; 248; 482; 483; 528; 673; 713]. Широкого применения не нашли.

3. Вероятностные методы [188; 216; 511], предназначенные для применения на существующих водохранилищах.

Методы [188; 583; 584; 586] из выше обозначенных разработаны в 2010-х гг. в ННГАСУ, вместе с обзором других методов изложены в

защищенных диссертациях [576; 692], используются нами в практической деятельности. С их помощью прогнозы берегоформирований на водохранилищах можно строить следующих видов: перманентный прогноз – непрерывно продолжающийся в течение всего срока эксплуатации водохранилища; вариантный прогноз – являющийся частным случаем перманентного прогноза; разовый, одновариантный прогноз – являющийся частным случаем вариантного прогноза. Перманентный прогноз трудноосуществим по экономическим соображениям, разовый прогноз следует признать анахронизмом, а наиболее приемлем для современной практики – вариантный прогноз.

В пространственном аспекте выделяются прогнозы по периметру, участкам и створам берегов водохранилищ. Все перечисленные методы предполагают постворовой прогноз. Прогноз по периметру включает в себя все поучастковые прогнозы или полную экстраполяцию постворовых прогнозов.

Энергетический [583; 584; 586] и вероятностный [188] методы ННГАСУ по расчетам абразии, благодаря учету всех основных факторов процесса с автоматизацией расчетов на ЭВМ, показали хорошую сходимость прогнозных величин переработки берегов равнинных водохранилищ с фактическими данными [300; 579; 591], превосходящую тот же показатель у других методов [259; 288; 417; 648; 668; 673]. С их апробацией нас почти покинуло ощущение определенного разрыва между возможностями теории прогноза берегопереформирований на водохранилищах и потребностями практики. Вместе с этим уместно весьма верное замечание о том, что никакой методикой невозможно предусмотреть все специфические особенности изучаемого процесса. Слишком разнообразны для этого природные условия, влияние местных факторов и их сочетания. Поэтому в любом случае важна целеустремленная инициатива исследователя в постановке задачи, выборе методов ее решения и анализа результатов [258; 532].

**Рыбинское водохранилище на р. Волге** (см. рис. 11.1) заполнено до проектного НПУ = 102,00 м БС за 1941 – 1947 гг., далее эксплуатируется в нормальном режиме для многолетнего регулирования стока [121; 520].

От начала эксплуатации на водохранилище было устроено 19 опорных участков, где велись наблюдения за переформированием берегов до середины 1980-х гг., к 1995 г. оставалось 7 участков, в 2000-е гг. – 2 участка [121].

Берегами водохранилища стали склоны древних озерных и речных

террас. Берега Главного плеса преимущественно пологие, низкие, на многих участках заболоченные (см. рис. 14.18), Волжского плеса на большом протяжении обрывистые, сложены суглинками, межморенными песками и отложениями юрской и меловой систем, изрезаны оврагами (рис. 14.27), Шекснинского и Моложского плесов имеют высоту от 2 до 6 м (рис. 14.28) [92]. Выделяются обвально-осыпные абразионные, денудационно-абразионные, аккумулятивные и нейтральные берега. Абразионные берега приурочены в основном к сужениям и заливам [121; 673].

При общей длине береговой линии водохранилища 2460 км протяженность интенсивно размываемых берегов в 1949 г. была 139 км, к 1965 г. достигла 152 км, т.е. 6,2 % длины береговой линии [92; 673], сегодня называется равной 262 км [121]. В целом по водохранилищу средняя скорость отступления абразионных берегов за первые 50 лет эксплуатации (к 1997 г.) оценена величиной 0,96 м/год, за последующие 10 лет (к 2007 г.) – 0,46 м/год [121]. Считается, что с середины 1980-х гг. берега верхневолжских водохранилищ, в их числе Рыбинского, находятся в III стадии развития (см. раздел 14.4) [121; 673].

Площадь потерянных земель за период существования Рыбинского водохранилища по абразионным берегам оценивается в 3 340 га. Площадь зеркала водохранилища 4550 км<sup>2</sup> [121]. Т. о. потеря земель равна 0,73 % по отношению к площади зеркала водохранилища.

**Горьковское водохранилище** заполнено в 1957 г., имеет сложную конфигурацию. Сверху от г. Рыбинска до устья р. Елпать (337 км) протянулась его русловая часть, ниже до плотины Нижегородской ГЭС (90 км) – озеровидное расширение. Площадь водохранилища 1591 км<sup>2</sup>, его озерной части – 1008 км<sup>2</sup>, из них 75 % с глубинами менее 10 м. Нормальный подпорный уровень водохранилища 84,0 м БС, уровень мертвого объема 82,0 м. Колебания уровня в безледный сезон за счет регулирования стока составляют 0,2 – 0,4 м. Средняя месячная скорость ветра над водохранилищем от 3,4 м/с (июль) до 7 м/с (октябрь). В озерной части наибольшие высоты волн наблюдаются при ветрах северных и южных направлений повторяемостью менее 1 %, дующих со скоростью 16 – 20 м/с вдоль водохранилища. Максимальная высота волн (2,3 м) отмечена на судовом ходу у г. Чкаловска при северном ветре (24 м/с). У левого (пойменного) берега в сравнении с правым активность волнения значительно сильнее. Средняя дата начала ледостава в озерной части 22 ноября, очищения ото льда – 3 мая.

а



б



Рис. 14.27. Размываемый берег в Волжском плесе Рыбинского водохранилища: а – 1960-е гг. [92]; б – 2012 г.



Рис. 14.28. Берег Рыбинского водохранилища в Шекснинском плесе у пос. Мякса [163]

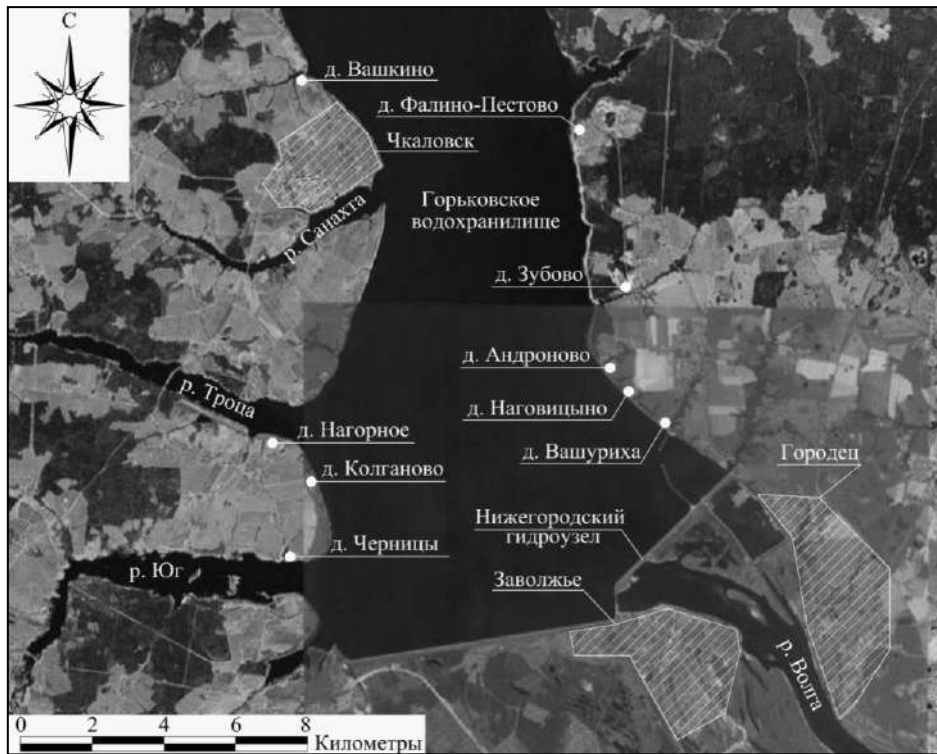


Рис. 14.29. Карта-схема озерной части Горьковского водохранилища

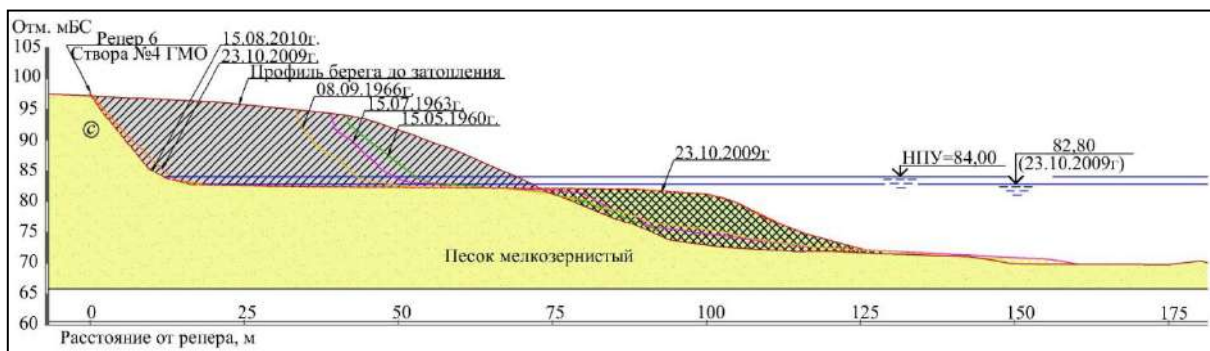
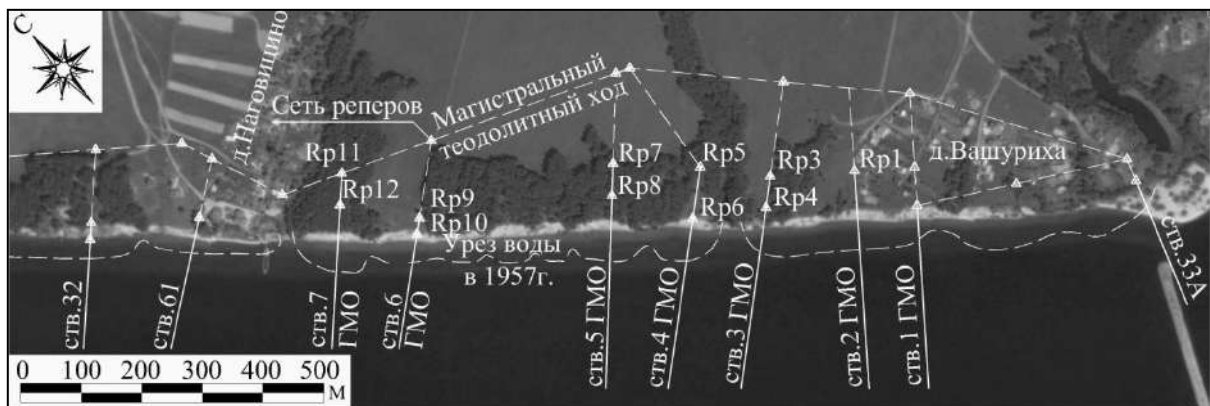


Рис. 14.30. Участок №1 левого берега Горьковского водохранилища между д. Вашуриха и д. Андроново: снимок 2007 г. со схемой расположения наблюдательных створов и наблюдаемые профили берега в створе 4ГМО

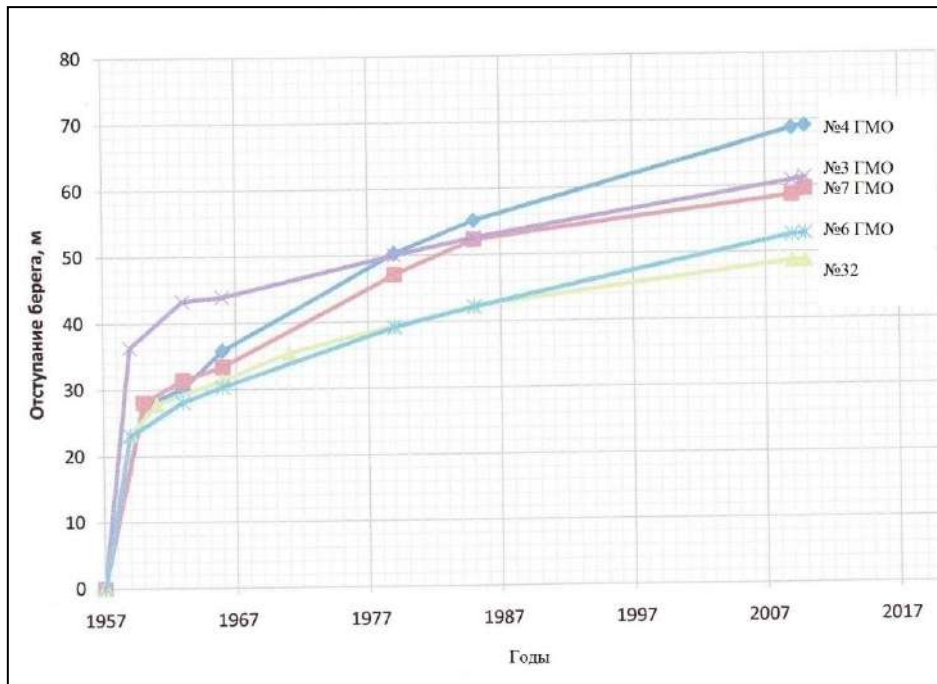


Рис. 14.31. Графики отступления бровки берега Горьковского водохранилища в створах на участке №1 Андроново – Вашуриха

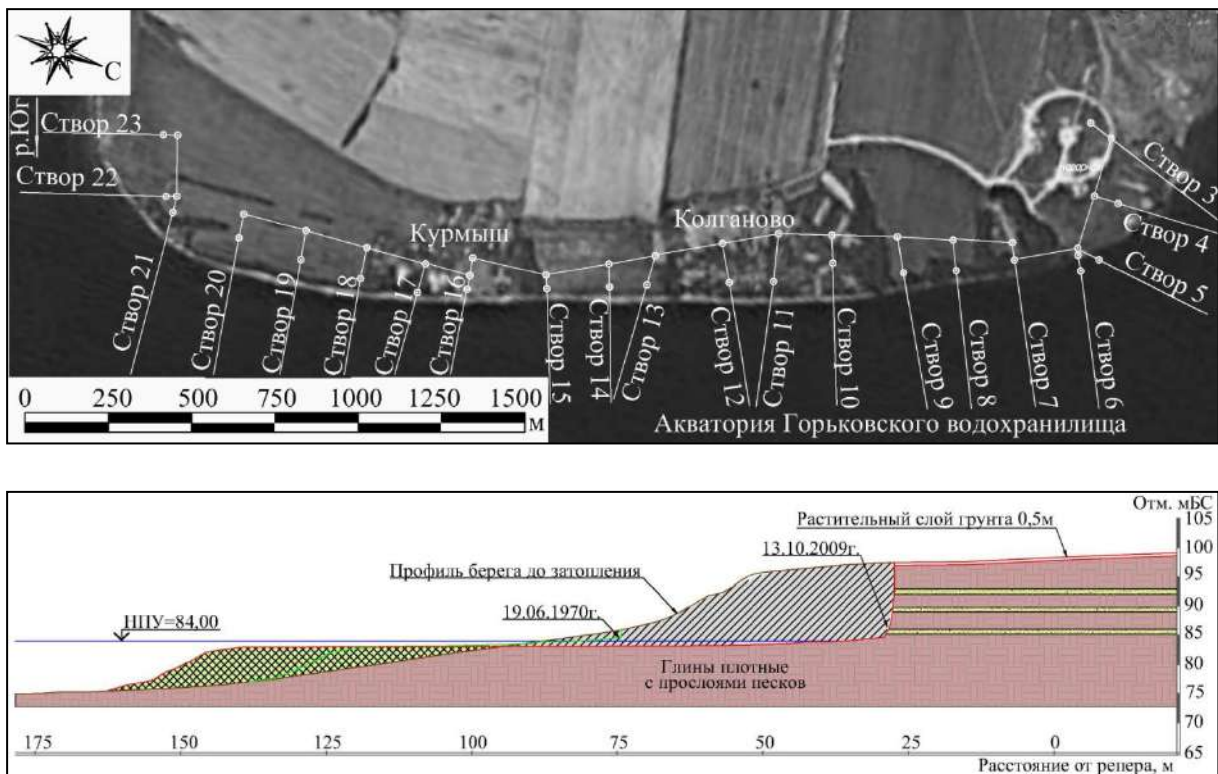


Рис. 14.32. Участок №3 правого берега Горьковского водохранилища между д. Черница и д. Нагорное: снимок 2007 г. и наблюдаемые профили берега в створе 9



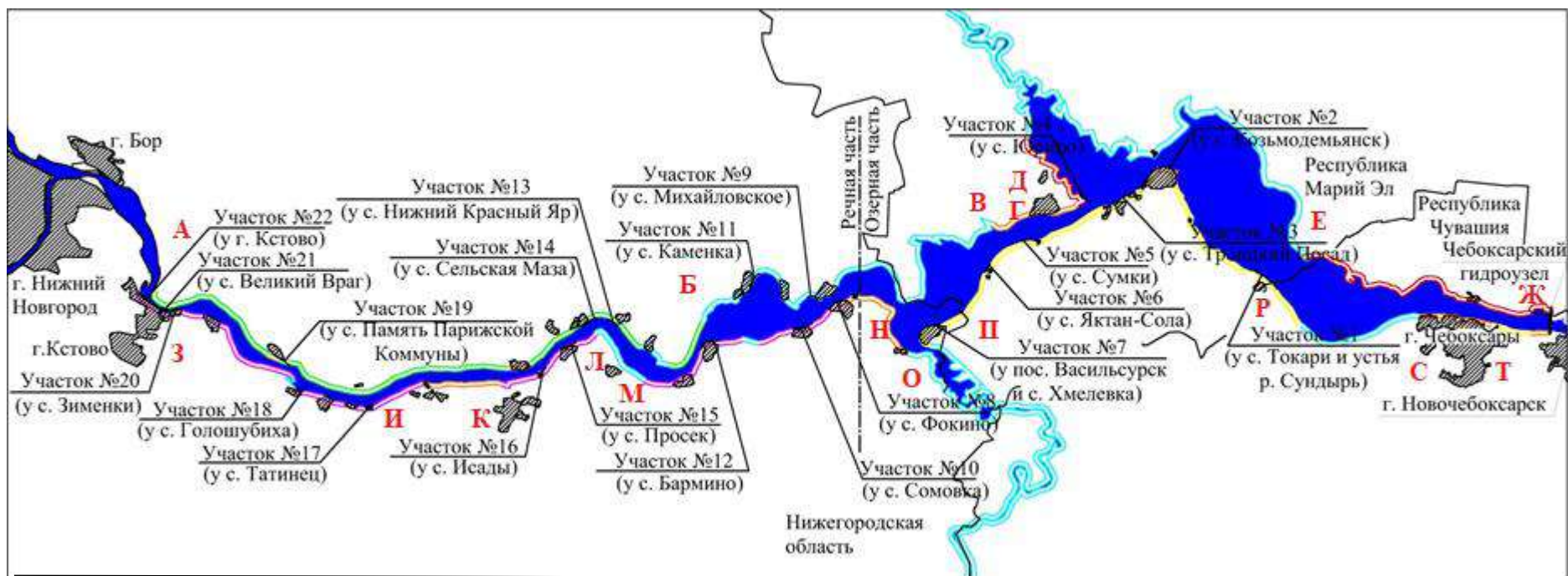


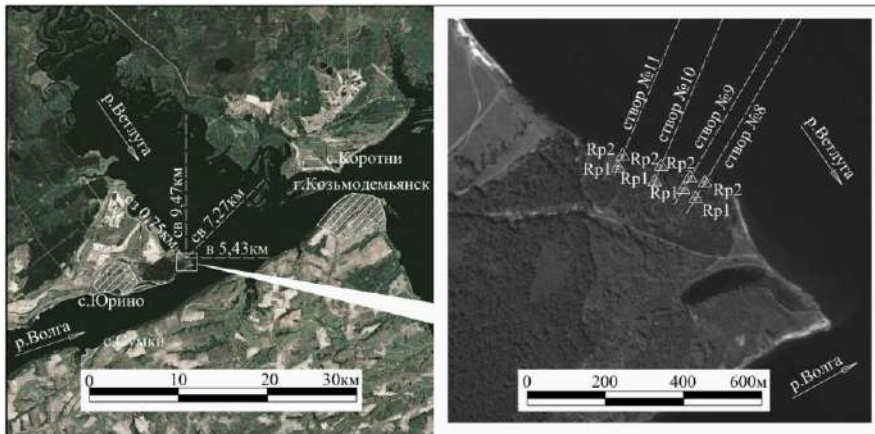
Рис. 14.33. Схема Чебоксарского водохранилища с указанием типов берегов и наблюдательных участков по данным ФГУГП «Волгагеология»

Типы берегов. Левый: АБ – эрозионно-абразионный осыпной в несвязных породах; БВ – биогенный зарастающий; ВГ – укрепленный; ГД – абразионно-осыпной в несвязных грунтах; ДЕ – биогенный зарастающий; ЕЖ – абразионно-осыпной в несвязных породах. Правый: ЗИ – эрозионно-абразионный обвально-оползневой в связных породах; ИК – укрепленный; КЛ – эрозионно-абразионный обвально-оползневой в связных породах; ЛМ – биогенный зарастающий; МН – эрозионно-абразионный обвально-оползневой в связных породах; НО – укрепленный; ОП – биогенный зарастающий; ПР – абразионный обвально-оползневой в связных породах; РС – биогенный зарастающий; СТ – укрепленный

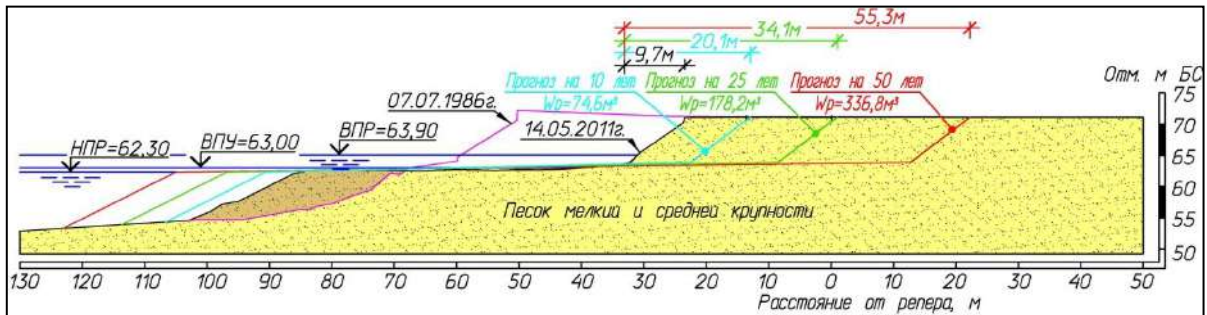
а



б



в



г

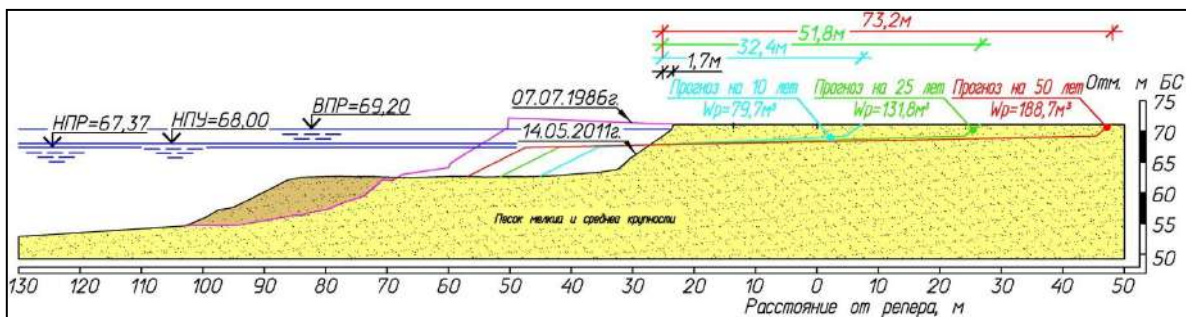
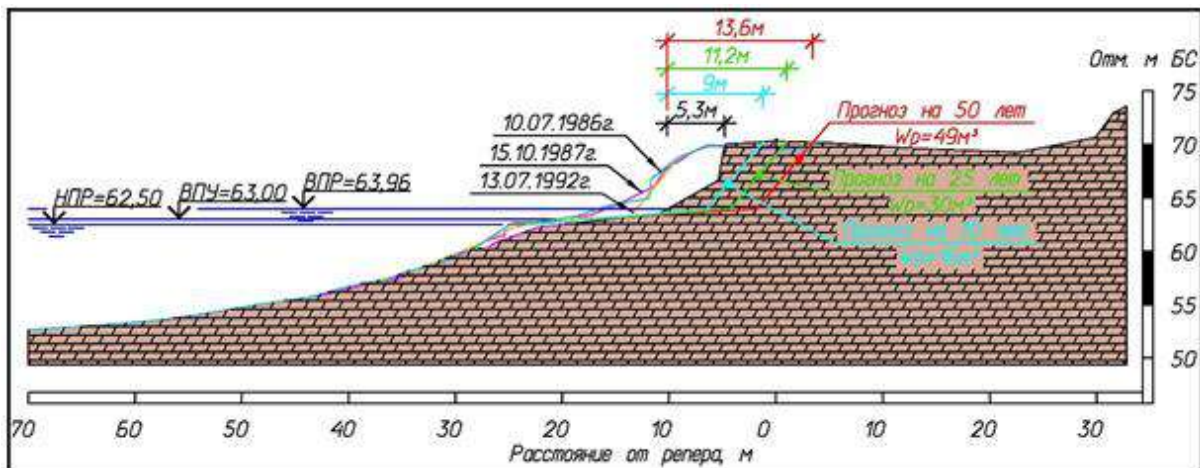


Рис. 14.34. Левый берега Чебоксарского водохранилища: а – у с. Каменка с отсутствием следов современной деформации; б – у с. Юрино в плане; в, г – у с. Юрино в створе №9 при ВПУ = 63,0 м и НПЧ = 68,0 м по наблюдениям и прогнозу

а



б



в

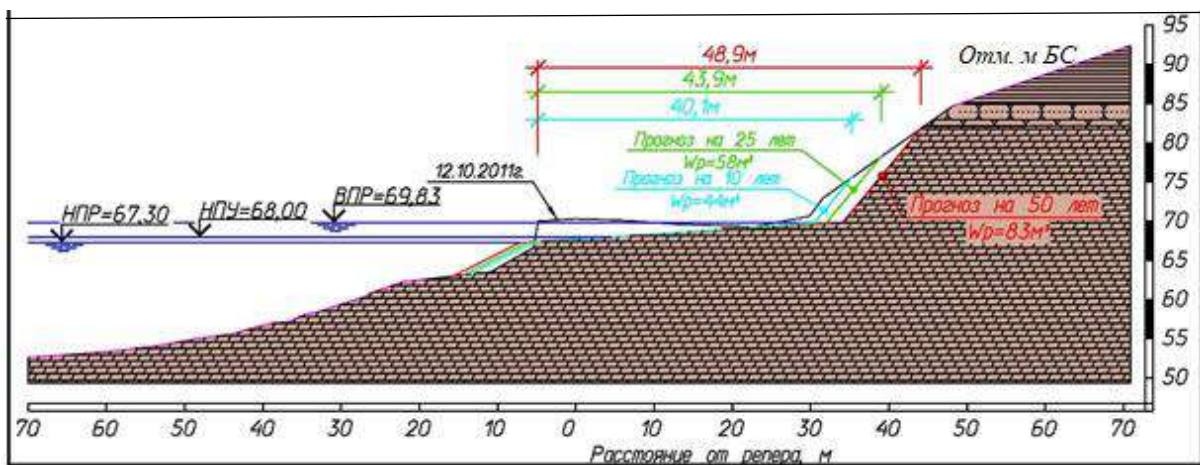


Рис. 14.35. Правый берег Чебоксарского водохранилища у пос. Васильсурск в створе №2: а – общий вид; б, в – профили при ВПУ = 63,0 м и НПУ = 68,0 м по наблюдениям и прогнозу

Длина береговой линии водохранилища по данным Верхне-Волжского бассейнового водного управления составляет 2 168 км, из них берегов: абразионных – 631 км, в том числе в рыхлых аллювиальных, флювиогляциальных, моренных отложениях – 449 км, в плотных глинах, глинистых брекчиях, полускальных породах – 182 км; аккумулятивных – 10 км; нейтральных, биогенных – 947 км; формируемых русловыми процессами – 580 км [121]. По левобережью озерной части распространены песчаные обвальноссыпные абразионные берега высотой до 15 м (см. рис. 14.26). На правобережье преобладают более высокие абразионные берега, сложенные пермскими глинами; они отличаются меньшими длинами прибрежных отмелей, но большей крутизной береговых обрывов (см. рис. 14.12). Для русловой части водохранилища характерны нейтральные и формируемые русловыми процессами берега.

Предприятием «Противокарстовая и береговая защита» в 1957 г. были начаты инструментальные наблюдения процесса переформирования абразионных берегов озерной части Горьковского водохранилища (рис. 14.29) по групповым и одиночным створам [260], продолжались с сокращением до 1985 г., затем были прекращены. С 2008 г. наблюдения экспедиционным порядком возобновлены ННГАСУ [590]. За предшествующий период часть створов оказалась утраченной из-за интенсивного освоения береговой территории. Объектом исследований остались 4 участка с 13-ю сохранившимися створами и материалами наблюдений прошлых лет: на левом берегу участок №1 между деревнями Андроново и Вашуриха и №2 между д. Андроново и Зубовским заливом, на правом берегу №3 д. Черницы – д. Нагорное и №4 г. Чкаловск – д. Вашкино.

За время эксплуатации водохранилища берег на мысовидных выступах наблюдательных участков отступил на 50 – 60 м, заливы в балках отчленились от акватории пересыпями. К 2010 г. наибольшее смещение берегового уступа составило 69,1 м в створе 4 на участке №1 (рис. 14.30, 14.31). Наибольшей длины достигли прибрежные отмели напротив невысоких песчаных берегов (132 м на участке №2). Наименьшую длину имели отмели у берегов, сложенных глинистыми породами – 67 м в створах 8 и 9 на участке №3 (рис. 14.32). С ростом береговых отмелей отчетливо прослеживалось наступление III стадии развития, в которой абразионные берега Горьковского водохранилища пребывают с 1970-х гг. (см. рис. 14.31). В 2009/2010 гг. скорость их переработки в исследованных створах составила от 0,2 до 1,0 м/год, в то время как за период 1957 – 2010 гг. средняя скорость

была от 0,7 до 1,3 м/год. Уклоны береговых отмелей приблизились к волноустойчивым, которые для средних и мелких песков оцениваются величиной 0,01– 0,005 [387]. Объемы аккумуляции в некоторых створах стали превалировать над объемами абразии. Однако вдольбереговой транспорт наносов не позволяет сложиться динамическому равновесию и абразия будет, хотя и с малой интенсивностью, импульсивно продолжаться [590; 591].

Описанными многолетними инструментальными измерениями охвачены наиболее характерные участки перестройки абразионных берегов водохранилища. ФГУ «Дирекция Горьковского водохранилища» следит за смещением береговой бровки на застроенных территориях. Подвергающимися значительному разрушению называются берега в п. Юркино (0,75 м/год) и д. Фалино-Пестово (0,8 м/год) по левой стороне, также в д. Юшково (1,4 м/год), д. Гребенихе (0,3 м/год), г. Пучеже (0,5 м/год) по правой стороне водохранилища. Современная средняя скорость отступления абразионных берегов по водохранилищу в целом дается значениями 0,19 – 0,3 м/год [121]. Эти величины близки данным проведенных ННГАСУ измерений.

Вариантный прогноз ННГАСУ по периметру озерной части [590; 591] на 10-летие 2011 – 2020 гг. предпослал ожидать переформирование абразионных берегов Горьковского водохранилища со средней скоростью 0,1– 0,4 м/год. При 631 км протяженности абразионных берегов риск потери земель равен 6,3 – 25,2 га/год, что существенно меньше публиковавшихся прогнозных величин (200 га/год) [372].

Пример Горьковского водохранилища показал также, что прогностические данные прошлых лет о потерях земель при отступании берегов больших эксплуатируемых равнинных водохранилищ [372] могут быть необоснованно завышенными, как уже отмечалось по волжскому каскаду [288; 417].

**Чебоксарское водохранилище** заполнено в 1981 г. до временного подпорного уровня (ВПУ) 63,0 м БС. Эксплуатация большого равнинного водохранилища при пониженном уровне воды в течение нескольких десятилетий с перспективой последующего подъема до НПУ не имеет прецедента в России. Сочетание наблюдений и прогноза переформирования берегов Чебоксарского водохранилища с открытой возможностью использования материалов прошлых лет может явить собой оригинальный гидродинамический эксперимент в береговой зоне [300].

На рис. 14.33 представлена схема Чебоксарского водохранилища. Проектная длина водохранилища 341 км. Верхняя граница современного

подпора проходит выше с. Работки в 226 км от ГЭС. Соответственно площади зеркала водохранилища составляют 2162,42 км<sup>2</sup> и 1118,33 км<sup>2</sup> [441]. По морфологическим признакам водохранилище сейчас разделяется на три района: приплотинный – узкий и глубокий, длиной 28 км, шириной 2 – 4,3 км, с наибольшими глубинами 12 – 20 м; средний – самый широкий, длиной 131 км, с глубинами до 7 – 19 м (эти районы составляют озерную часть водохранилища); верхний – наиболее узкий и мелководный, длиной 67 км, шириной 0,9 – 2,2 км с глубинами до 6 – 14 м (руслевая часть водохранилища). Продолжительность безледного периода на водохранилище от 196 до 231 суток. В связи с небольшими длинами разгона волн и обширными мелководьями, а также преобладанием слабых ветров (до 5 м/с), волнение на водохранилище имеет ограниченное развитие. Максимальные высоты волн (по расчету) составляют в озерной части 1,3 – 2,5 м, в речной части 0,6 – 1,9 м. Суммарная средняя многолетняя энергия волнения у берегов по отдельным участкам при ВПУ = 63,0 м находится в пределах 48 – 681 тыс. кДж/год, а при НПУ = 68,0 м возрастает до 50 – 1154 тыс. кДж/год на 1 пог. м берега.

Правобережье водохранилища представляет собой высокое плато, обрывающееся крутым склоном к долине реки, сложенное песчано-глинисто-мергелистыми породами пермского возраста. В своем большинстве коренные склоны имеют оползневой облик. Пойма и первая надпойменная терраса сложены преимущественно песчаными аллювиальными и флювиогляциальными отложениями. На левобережье распространены пойма, I и реже II надпойменные террасы, представленные теми же отложениями, что и соответствующие формы рельефа на правобережье. Берега водохранилища формируются в нижних частях коренных склонов, а также в пределах уступов I и II надпойменных террас и поймы. Большую протяженность имеют берега, характеризующиеся отсутствием современной деформации (рис. 14.34а). Это объясняется слабой гидродинамической активностью вследствие мелководности или небольшой ширины акватории по левобережью, а по правобережью – значительной прочностью пород. Длина береговой линии водохранилища, определенная по цифровой карте 2006 г. масштаба 1:100 000 в условиях современного подпора составляет около 700 км, а при проектном НПУ увеличивается до 1060 км. Протяженность абразионных берегов в современных условиях 220 км, а при НПУ – порядка 400 км.

Инструментальные измерения профилей абразионных берегов водохранилища проводились на 22 участках (см. рис. 14.33): по 9 створам

предприятием «Противокарстовая и береговая защита» в 1981, 1986, 1992 гг., по 44 створам ФГУГП «Волгагеология» в 1981–1986 гг. и по тем же створам экспедициями ННГАСУ в 2010, 2011 гг.

Прогнозные расчеты переформирования абразионных берегов выполнены в ННГАСУ энергетическим методом [583]. Исходными для прогноза брались профили берегов, измеренные в 2011 г. При расчете высот волн и среднегодовых значений энергии волнения наветренные румбы и волнообразующие направления определялись по картографическим материалам с использованием космических снимков высокого разрешения. Верхний и нижний пределы размывающего действия волн (ВПР, НПР), уклоны надводного абразионного уступа (обрыва) и свала отмели принимались по натурным данным, когда это было возможно, в иных случаях – по рекомендациям [387]. Коэффициенты размываемости пород находились из материалов прошлых лет обратным пересчетом при известной энергии волнения, объеме размывной породы и времени переформирования – в сравнении с рекомендуемыми значениями [387]. Таким образом исходные данные варьировались по нескольким параметрам.

Результаты наблюдений и расчетов берегопереформирований [300; 579] иллюстрируются профилями лево- и правобережья.

Участок у с. Юрино на левом берегу водохранилища при устье Ветлужского залива в 81 км от гидроузла (рис. 14.34б, в, г). Берег низкий, пологий, сложен песками мелкими и средней крупности, осыпной абразионный, высота надводного уступа местами до 10 м. Средняя скорость отступления бровки берега за 1986 – 2011 гг. составила 0,6 м/год. При ВПУ = 63,0 м в предстоящие 50 лет она будет отступать со скоростью 0,2 – 0,9 м/год. При НПУ = 68,0 м высота берега над уровнем воды уменьшится до 3 м, средняя скорость отступления бровки обрыва увеличится до 0,8 – 1,4 м/год.

Участок у пос. Васильсурск на правом берегу водохранилища в 116 км от гидроузла (рис. 14.35). Берег слагают верхнепермские, юрские и четвертичные породы. Верхнепермские представлены известняково-мергелистыми и песчано-глинистыми комплексами татарских отложений мощностью около 35 м, на них лежат юрские глины мощностью до 25 м, граница проходит примерно на отметке 80 м БС. К четвертичным относятся флювиогляциальные и делювиальные образования. Флювиогляциальные суглинки слоем мощностью 12 – 15 м перекрывают юрские породы на плато, делювий преимущественно суглинистого состава развит на склоне. Кроме того склон повсеместно покрыт толщей оползневых накоплений

мощностью до 20 м, состоящей из блоков татарских и верхнепермских пород. Берегопереформирование на участке за период эксплуатации водохранилища было незначительным. Абразия происходит в подножии коренного склона. В дальнейшем скорость смещения бровки абразионного уступа не превысит здесь 0,37 – 0,16 м/год при уровне водохранилища 63,0 м и при НПУ = 68,0 м останется в тех же пределах.

В целом по водохранилищу за период от 1981 г. до 1989 г. средние наблюдаемые скорости отступления бровки абразионных берегов равнялись 0,5 – 1,5 м/год [259]. За весь период эксплуатации с 1981 г. по 2011 г. они составили 0,2 – 1,2 м/год. При этом размывы левобережья были более значительными. На некоторых участках берег отступил на 20 – 50 м.

Из анализа прогнозных данных по всем 44 створам (табл. 14.8) следует, что абразия берегов после условного подъема уровня водохранилища в 2011 г. до отметки 68,0 м усилится. Средние скорости отступления бровки обрыва в пермских породах (на правобережье озерной и речной частей водохранилища), могут составить в первые 10 лет 2,5 – 1,4 м/год, а за 50 лет 0,85 – 0,4 м/год, против 0,7 – 0,79 м/год и 0,37 – 0,32 м/год при уровне водохранилища 63,0 м. Размыв песчаных берегов (на левобережье) будет иметь более высокие скорости: в первое 10-летие 2,3 – 2,8 м/год, а за 50 лет 1,0 – 1,2 м/год при НПУ = 68,0 м против 0,45 – 0,78 м/год и 0,40 – 0,36 м/год при ВПУ = 63,0 м. При эксплуатации водохранилища с отметкой ВПУ = 63,0 м абразией будут захвачены участки побережья средней шириной 4,5 – 8 м в следующее 10-летие и 16 – 20 м за 50 лет, а при НПУ = 68,0 м соответственно 13 – 28 м и 22 – 59 м. Полученные данные согласуются с показателями прогноза, выполнявшегося в 1980-х гг. для нескольких створов под отметку НПУ водохранилища 68,0 м [259].

Риск потери земель из-за абразии берегов за первое десятилетие дальнейшей эксплуатации водохранилища при существующем подпорном уровне 63,0 м составит 99 – 176 га (0,09 – 0,16 % к площади затопления), а при проектном НПУ = 68,0 м 520 – 1120 га (0,24 – 0,52 %); за 50 лет соответственно 325 – 440 га (0,29 – 0,39 %) и 880–2360 га (0,40 – 1,09 %). При этом выполненный прогноз, основанный на материалах наблюдений, дает существенно меньшие площади теряемых земель, чем проектный прогноз от начала эксплуатации водохранилища (табл. 14.9).



Таблица 14.8

**Прогнозируемая переработка абразионных берегов  
Чебоксарского водохранилища**

Уровень водохранилища, м БС	Срок прогноза от 2011 г.	Средние значения отступления бровки абразионного обрыва, м			
		в озерной части водохранилища		в речной части водохранилища	
		левый берег	правый берег	левый берег	правый берег
ВПУ = 63,00	10 лет	4,5	7,0	7,8	7,9
	50 лет	20,1	18,6	18,2	16,0
НПУ = 68,00	10 лет	23,1	25,1	28,1	13,6
	50 лет	51,1	42,3	58,7	22,0

Таблица 14.9

**Наблюдаемые и прогнозируемые потери земель вследствие абразии берегов Чебоксарского водохранилища**

Уровень водохранилища, м БС	Длина абразионных берегов, км	Площадь потерянных земель к 2011 г. по данным о наблюдаемой скорости берегопереформирования, га	Риск дальнейшей потери земель по прогнозу, основанному на материалах наблюдений			Площадь потери земель по проектному прогнозу от 1981 г. [441]
			Срок прогноза от 2011 г.	Средняя ширина зоны переработки берегов, м	Площадь потерянных земель, га	
ВПУ= 63,00	220	132 – 792	10 лет	4,5 – 8	99 – 176	–
			50 лет	16 – 20	325 – 440	2 936
НПУ= 68,00	400	–	10 лет	13 – 28	520 – 1120	–
			50 лет	22 – 59	880 – 2360	6 330

По Волжско-Камскому каскаду водохранилищ площадь затопленных земель дается величиной 2 128 800 га, а потерянных в результате берегопереформирования на середину 1990-х гг. по разным оценкам от 34 000 до 43 400 га, или 1,59 – 2,03 % к площади затопленных земель [112]. В процентном отношении потери земель в береговой зоне Чебоксарского водохранилища меньше, чем в среднем по каскаду.

Очевидно, что адекватность прогноза берегопереформирования самому процессу можно оценить только эмпирически. Поэтому важно было бы продолжить натурные наблюдения за берегами Чебоксарского водохранилища, от года его наполнения до НПУ сделать новый прогноз с использованием уточненных натуральных данных, а завершение гидродинамический

эксперимент получит через 10 лет нормальной эксплуатации объекта [300; 579]. Возможно, эту работу кто-нибудь и захочет провести. Но в рыночном обществе все заточено на прибыль [686], а от наблюдения за берегами водохранилищ явной прибыли нет.

**Воткинское водохранилище**, образованное в долине р. Камы, представляет собой довольно узкий со значительной извилистостью берегов водоем общей площадью около 1120 км<sup>2</sup> и объемом 9,4 км<sup>3</sup>. Заполнение водохранилища проведено в 1961 – 1964 гг.

Камская долина асимметрична: правый склон крутой и обрывистый, левый – низкий и пологий. На правом берегу развиты пермские породы, представленные красноцветной песчано-глинистой толщей – переслаивающимися между собой песчаниками, алевролитами, аргиллитоподобными глинами. Левый террасированный берег слагают четвертичные отложения – галечники, пески, супеси, суглинки и глины. У водохранилища имеются обвально-осыпные и осыпные абразионные, денудационно-абразионные, оползнево-абразионные, аккумулятивные, нейтральные и биогенные участки берегов (рис. 14.36).

В период наполнения водохранилища и первых лет нормальной эксплуатации (I и II стадии берегопереформирования) скорость переработки абразионных суглинистых берегов составляла в среднем около 7 м/год, берегов из аргиллитов – около 1 м/год [417].

Таблица 14.10

**Показатели переработки берегов Воткинского водохранилища по данным дешифрования аэрофотоснимков [417; 419]**

Местоположение (длина участка, км)	Геологическое строение	Высота абразионного уступа, м	Ширина акватории, км	Период наблюдений, годы	Скорость переработки берега, м/год, средняя
д. Боголюбы (2,9)	Верхнепермские аргиллиты, алевролиты, песчаники	3,6	5,0	1976–1986	0,65
д. Кононовка (2,3)		3,8	4,0	1981–1986	0,42
д. Ерзовка – д. Лузган (1,9)		6,0	4,0	1976–1986	0,78
с. Елово	Аллювиальные глинистые пески	2,5	5,0	1976–1991	2,5
д. Мазунина (1,7)	Делювиально-аллювиальные суглинки	1,5	1,4	1976–1986	1,5

а



б



в



Рис. 14.36. Берега Воткинского водохранилища:  
а – обвально-осыпной; б – оползнево-абразионный (правый); в – изначально нейтральный, перешедший к абразионному развитию [419]

Количественных исследований переработки берегов после окончания II-й стадии интенсивного берегоразрушения проводилось немного [211; 212; 417; 419]. В табл. 14.10 представлены данные о III-й стадии берегопереформирования, полученные с помощью дистанционных методов в 1980-е гг. Сейчас абразионные берега продолжают оставаться в III-й стадии переформирования: сложенные рыхлыми четвертичными отложениями суглинистого и песчаного состава отступают со скоростью 1,5 – 2 м/год, сложенные песчаниками и конгломератами более устойчивы [211; 212].

Площадь потерянных земель при берегопереформировании на Воткинском водохранилище ориентировочно оценивается в 1800 га, что составляет 1,6 % от площади его зеркала [199].

**Цимлянское водохранилище** (табл. 14.11) представляет собой вытянутый с северо-востока на юго-запад водоем, в котором выделяются четыре участка (рис. 14.37): Калачский русловой; Чирской, являющийся зоной мелководий, с наибольшей шириной 22 км, преобладающими глубинами 5 – 7 м; Центральный, имеющий среднюю ширину 13 км и преобладающие глубины 8 – 14 м; Приплотинный участок, глубоководный, имеет наибольшую ширину 38 км и максимальную глубину 28 м вблизи плотины, преобладающие глубины 16 – 18 м. При заполнении водохранилища под воду ушли пойма р. Дона, первая и частично вторая надпойменная терраса в средней и нижней частях водоема.

Таблица 14.11

**Проектные морфометрические показатели  
Цимлянского водохранилища на р. Дону [292]**

Наименование показателей	Значения
Год заполнения	1952
Нормальный подпорный уровень	36,0 м БС
Уровень мертвого объема	32,0 м БС
Площадь водного зеркала	2 677 км <sup>2</sup>
Полный объем	23,510 км <sup>3</sup>
Длина	180 км
Ширина средняя	14,9 км
Ширина максимальная	38 км
Глубина средняя	8,8 м
Глубина максимальная	28 м
Протяженность береговой линии	660 км
Протяженность абразионных берегов	119,5 км

Правым берегом Цимлянского водохранилища в его верхней части является склон Калачской возвышенности, здесь имеются высокие (выше 100 м) денудационно-абразионные берега. На участке от устья р. Чира до хутора Суворовского сформированы обвально-осыпные абразионные и оползнево-абразионные берега (выше 50 м), характеризующиеся большими объемами обрушения (рис. 14.38). Между устьями рек Аксенец и Цимла развиты низкие бухтовые берега. В приплотинном районе на участке от устья р. Цимлы до г. Цимлянска вновь появляются высокие берега, в которых развиваются процессы абразии (рис. 14.39).

На большей части левобережья водохранилища развиты нейтральные берега в песчано-глинистых отложениях и лессовидных суглинках.

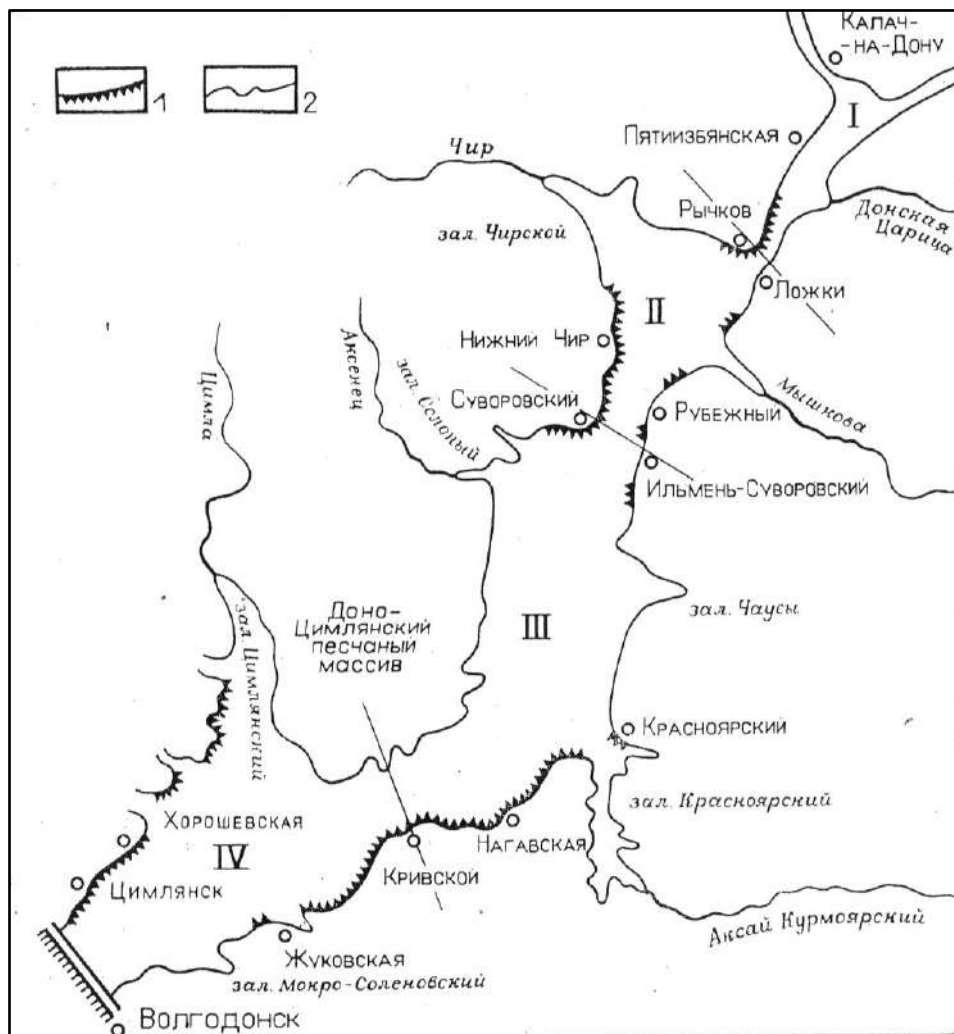


Рис. 14.37. Схема Цимлянского водохранилища: участки: I – Калачский, II – Чирской, III – Центральный, IV – Приплотинный; берега: 1 – абразионные, 2 – затопляемые и устойчивые к размыву [292]



Рис. 14.38. Обвально-осыпной абразионный правый берег Цимлянского водохранилища у пос. Рычков

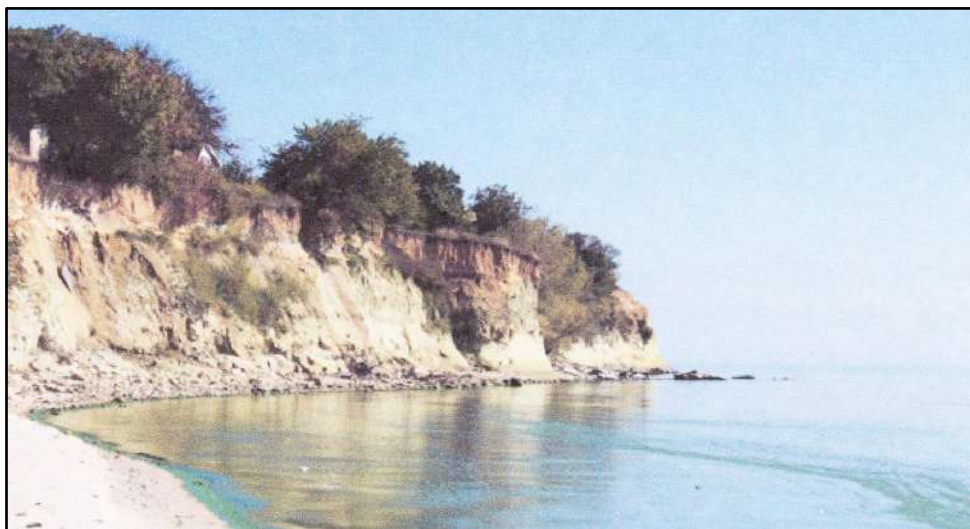


Рис. 14.39. Правый берег абразионного развития на Цимлянском водохранилище у ст. Хорошевской



Рис. 14.40. Обнажение отмелого берега Цимлянского водохранилища при низком уровне воды [fon-don.com]

Исключение на левобережье – участок от устья р. Курмоярский Аксай до станицы Жуковской, где появляются высокие обвально-осыпные абразионные берега.

Гидрометеорологические условия, в которых происходило переформирование берегов Цимлянского водохранилища на начальном этапе его эксплуатации, характерны изменчивостью среднегодовых уровней воды от 30,0 до 34,64 м БС за 1954 – 1980 гг. и годовой амплитудой колебаний в пределах 2,4 м (1972 г.) – 7,44 м (1955 г.); продолжительностью безледного периода 279 – 283 суток; числом дней с сильным ветром (15 м/с и выше) 14 – 34 в год и приходившихся на осень; бурным волновым режимом, когда каждые три дня отмечалась высота волны равная или превышавшая 1 м и ежегодно регистрировалось максимальное волнение на Приплотинном участке 3,5 м, Центральном – 3,2 м, Чирском – 2,6 м [292].

При наполнении водохранилища в 1952 г. на многих береговых участках образовался надводный уступ высотой от 2,5 до 13,5 м и абразионная отмель шириной 10 – 35 м, бровка берега отступила за год на 20 – 40 м. В последующие годы скоростью разрушения до 20 м/год отличались обвально-осыпные абразионные берега, сложенные песками и супесями, при этом происходило быстрое формирование отмелей, ширина которых после 10 лет эксплуатации приближалась к 100 м при уклонах до 1° [673]. После 3 – 5 лет интенсивной абразии процесс обрушения берегов начал замедляться, а к концу второго десятилетия произошло снижение в 3 раза темпов обрушения берегов глубоководной зоны, но все же они остались значительными (табл. 14.12).

Таблица 14.12

**Показатели абразии берегов Цимлянского водохранилища за два первых десятилетия его эксплуатации [292]**

Год наблюдения	1955	1956	1970	1971
Максимальный уровень, м БС	36,6	36,8	36,1	36,3
Отступление бровки берега, м за год:				
залив Красноярский	16	10	3,3	3,3
хут. Суворовский	14	5,3	2,6	2,5
пос. Нижний Чир	4,3	2,5	0,7	0,3
хут. Ильмень-Суворовский	15	0	0	0

При нормальном подпорном уровне у абразионных берегов Цимлянского водохранилища повсеместно отсутствуют пляжи и урез воды проходит по коренным породам берегового обрыва, что обуславливает активное

протекание абразии. После опускания уровня воды за лето на 4 – 5 м, осенние штормы размывают аккумулятивные призмы отмелей, сформировавшихся поздней весной и ранним летом при уровнях воды, близких к НПУ. В результате размыва ширина прибрежных отмелей уменьшается и процессы абразии при высоких уровнях следующего года возобновляются. Нестабильность уровней водохранилища является одной из основных причин периодической активности береговой абразии [66].

В местах распространения нейтральных берегов урез водохранилища мигрирует в зависимости от высоты уровней и в отдельных районах перемещается на расстояние до 1 км (рис. 14.40).

За 1952–1972 гг. площадь потерянных земель вследствие берегоперестроения на Цимлянском водохранилище составила 87,7 км<sup>2</sup>, т.е. 3,27 % к площади водохранилища при НПУ [292]. В 2000-е гг. потери называются около 10 га/год [372].

**Новосибирское водохранилище**, единственное из четырех предполагаемых на р. Оби [148], заполнено в 1957 – 1959 гг. со следующими параметрами: НПУ = 113,5 м БС, длина 230 км, наибольшая ширина 22 км, площадь водного зеркала 1072 км<sup>2</sup>, полный и полезный объемы 8,86 и 4,40 км<sup>3</sup>, сработка уровня 5 м [79; 148; 545].

Берега водохранилища (рис. 14.41) представлены в основном суглинками, супесями, песками Приобского плато и I – IV надпойменных террас р. Оби. Лишь в берегах средней и верхней частей водохранилища имеются ограниченные выходы на поверхность известняков и песчаников. Рельеф и геологическое строение обусловили генетические типы берегов, характерные для равнинных водохранилищ.

В годы наполнения и первые годы нормальной эксплуатации водохранилища абразионные процессы наиболее интенсивно протекали на правобережье нижней озеровидной части, особенно на участке у д. Верхней Ельцовки (рис. 14.42), где процесс усугублялся размоканием пылеватых карбонатных суглинков [548]. За безледный сезон 1959 г. бровка берега на участке отступила на 34,6 – 40,4 м, в т.ч. в результате одного шторма 12.X. 1959 г. на 4,5 – 7,1 м. На отмели виден торфяник, принесенный сверху. Уровень воды на 0,3 м ниже НПУ [510]. К 1969 г. береговой обрыв отступил здесь на расстояние до 120 м. На левобережье размывались отдельные участки берега. С годами абразия стала затухать (табл. 14.13), но происходит до настоящего времени (см. рис. 14.42).

Отступление бровки абразионных берегов Новосибирского водохранилища



к 1995 г. на разных участках составило от 30 до 350 м. Потери земель от берегопереработки к 2000 г. оценены в 20 км<sup>2</sup> или 1,8 % к площади зеркала водохранилища [545].

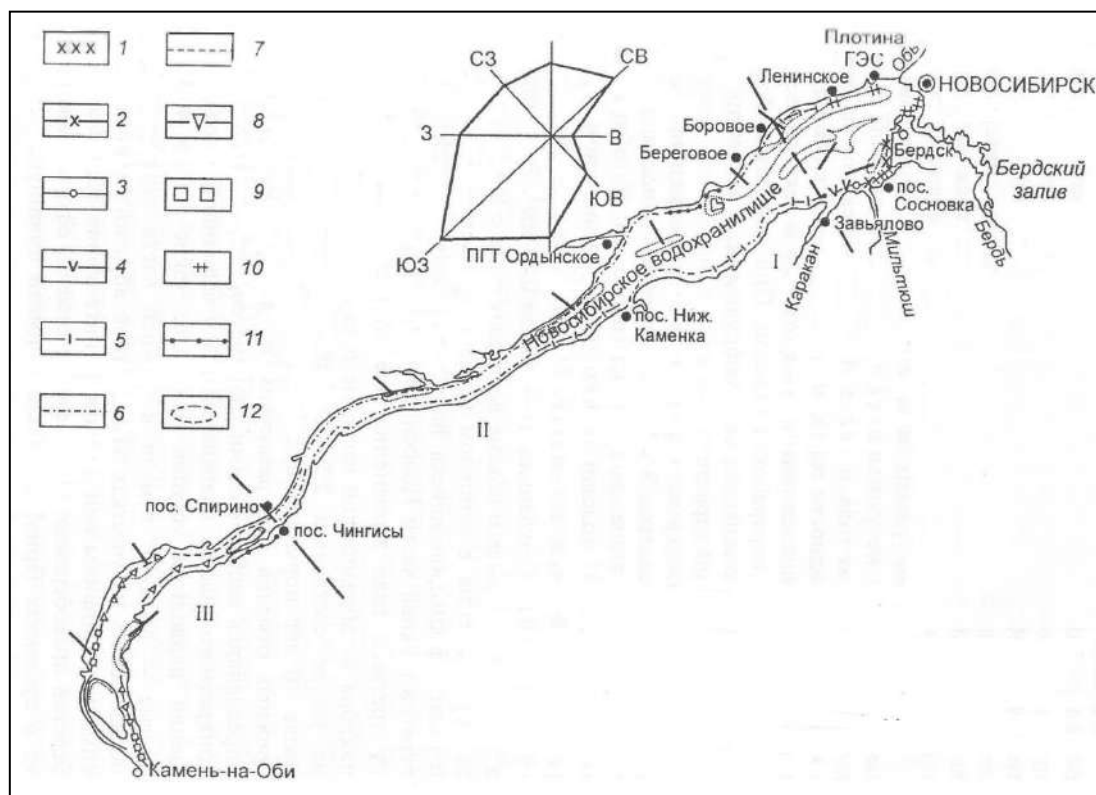


Рис. 14.41. Схема Новосибирского водохранилища по состоянию на 1995 г.:

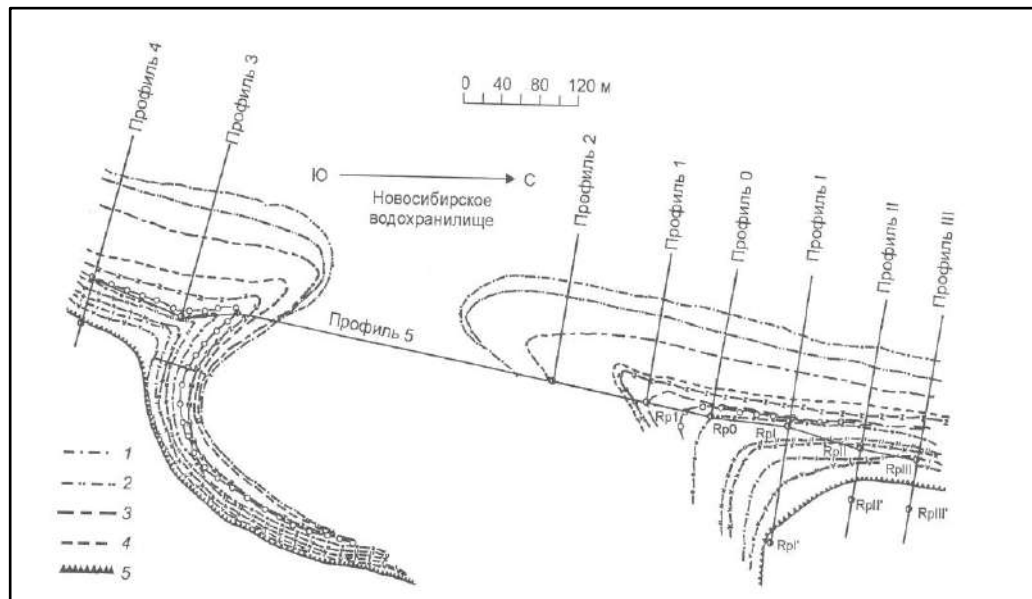
I – нижняя; II – средняя; III – верхняя части водохранилища; фактическое отступление бровки абразионных берегов: 1 – до 350 м, 2 – до 250 м, 3 – до 150 м, 4 – до 120 м, 5 – до 100 м, 6 – до 50 м, 7 – до 30 м, 8 – до 20 м, 9 – отсутствует; 10 – укрепленные берега; 11 – пологие нейтральные берега и затопленные мелководья; 12 – затопленные торфяники [548]

Таблица 14.13

### Переработка абразионных берегов Новосибирского водохранилища [545]

Водохранилище, берег		Отступление бровки берегового обрыва, м					за все время
		в период наполнения 1957–1959 гг.	в период нормальной эксплуатации				
			1960–1970 гг.	1971–1980 гг.	1981–1990 гг.	1991–1995 гг.	
Нижняя часть	п.б.	35–93	22–130	19–87	25–30	15	до 350
	л.б.	3–5	до 20	до 50	до 25	–	до 100
Средняя часть	п.б.	до 20	до 15	до 10	до 5	2	до 50
	л.б.	до 15	до 20	до 10	до 10	5	до 60
Верхняя часть	п.б.	до 5	до 18	до 6	до 4	до 2	до 35
	л.б.	до 5	до 15	до 5	до 3	до 1	до 30

а



б



в



Рис. 14.42. Участок интенсивной абразии берега Новосибирского водохранилища у д. Верхней Ельцовки: а – бровка берега 1 – перед заполнением водохранилища, 2 – в конце 1957 г., 3 – в 1958 г., 4 – в 1959 г., 5 – в 1969 г. [548]; вид берега б – 1959 г. [510]; в – 2017 г. [fishingsib.ru]



Рис. 14.43. Коренные склоны, перекрытые покровом рыхлых отложений мощностью до нескольких метров, ставшие берегами Красноярского водохранилища

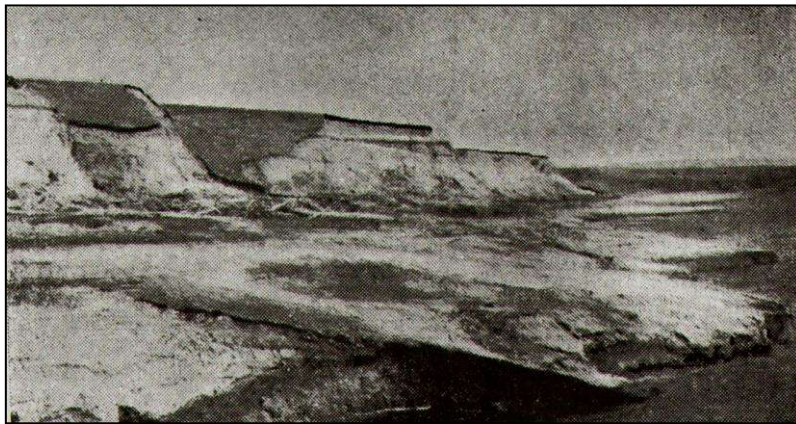


Рис. 14.44. Приглубый обвально-осыпной абразионный берег Красноярского водохранилища, сложенный легкими суглинками, в период интенсивного переформирования. 1972 г. [673]



Рис. 14.45. Берег Красноярского водохранилища с почти затухшей абразией. 2018 г. [posibiri.ru]

**Красноярское водохранилище** (см. рис. 11.3) заполнено до НПУ = 243,00 м БС в 1970 г. Общая протяженность его берегов составляла при этом 1 560 км, из них на неразмываемые коренные склоны приходилось 860 км, на размываемые около 700 км, т.е. примерно 45 % длины береговой линии [676]. Берегами водохранилища явились обвальнo-осыпные, обвальнoе, делювиальнoе, оползневые и террасированные склоны. Наибольшее распространение в зоне сопряжения с урезом НПУ получили высокие (до 120 м) обвальнo-осыпные уступы древних речных террас и высокие обвальнo-осыпные коренные берега (рис. 14.43), сложенные обычно выветрелыми коренными породами. Такой характер первичного рельефа обусловил широкое распространение приглубых берегов [673]. На относительно пологие берега с уклоном менее 6 – 7° пришлось всего 15 % от протяженности береговой линии (около 200 км) в верхней части водохранилища и в зоне выклинивания подпора [676].

В период первоначального наполнения водохранилища (с 1967 г. по 1970 г.) и в первые годы нормальной эксплуатации берега, сложенные рыхлыми отложениями с уклонами более 2 – 10°, подвергались значительному абразионному переформированию (рис. 14.44). Наиболее интенсивное берегопереформирование отмечалось на участке Куртак, расположенном на левом берегу Отраднинского плеса в 140 км выше плотины ГЭС: линейное отступление бровки высокого обвальнo-осыпного абразионного берега на этом участке за 1967 – 1972 гг. составило 135 м, высокого оползнево-абразионного берега за тот же период – 300 м. Вместе с рыхлыми толщами супесей и суглинков обрушению здесь подверглась верхняя выветрелая часть коренных пород. Большие глубины, достигающие 15 – 20 м при НПУ, обусловили вынос обрушенного материала за пределы зоны абразии. Переформирование берега осложнялась развитием оврагов по балкам и логам [673; 676]. В последующем абразия берегов водохранилища приняла затухающий характер (рис. 14.45).

В настоящее время потери земель от переработки берегов Красноярского водохранилища предполагаются около 100 га/год [372].

**Бурейское водохранилище** Бурейская ГЭС расположена в 174,5 км от устья р. Буреи. Строилась с 1983 г., после перерыва строительство было возобновлено в 2000 г. с одновременным совершенствованием проекта, в 2010 г. ГЭС сдана в эксплуатацию.

Бурейское водохранилище занимает долину р. Буреи в ее среднем течении на длину 234 км от створа гидроузла. НПУ водохранилища 256,0 м БС,

ФПУ – 263,0 м, УМО – 236,0 м, глубина у плотины 124 м, средняя глубина 43 м, площадь зеркала 740 км<sup>2</sup>, полный объем 20,94 км<sup>3</sup>, полезный объем 10,73 км<sup>3</sup>. Оно ведет многолетнее регулирование стока, эксплуатируется в целях обеспечения электроэнергией потребителей юга Дальнего Востока, предотвращения наводнений в пойме р. Буреи и Среднего Амура [317; 730].

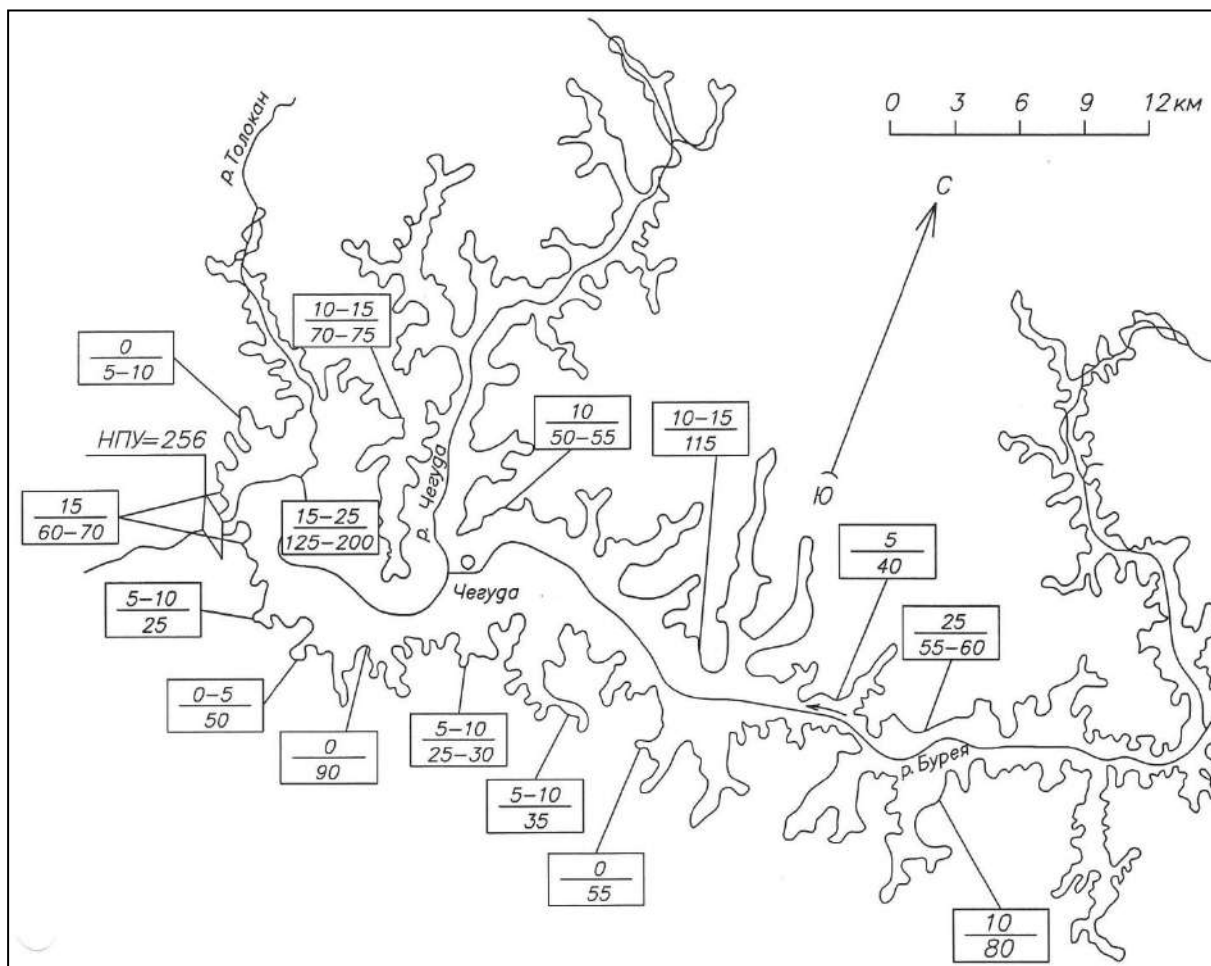


Рис. 14.46. План приплотинной части водохранилища Бурейской ГЭС: показаны прогнозные величины переработки абразионных берегов в м, числитель – за 10 лет, знаменатель – на конечную стадию

На рис. 14.46 показан план приплотинной части Бурейского водохранилища по проекту 1979 г. Здесь имеются абразионные приглубые и отмельные, абразионно-эрозионные, устойчивые (нейтральные) берега. Прогноз берегопереформирования выполнялся в институте Ленгидропроект [387]. Прогнозные величины переработки абразионных берегов составляют за 10 лет 5 – 25 м, на конечную стадию 25 – 200 м. Достоверность прогноза можно было оценить на десятом году эксплуатации водохранилища, но это вряд ли сделано.

## 14.6. Развитие денудационных, оползневых и закарстованных берегов водохранилищ

После наполнения водохранилищ на их побережье возникает или усиливается ряд геодинамических процессов, к которым относятся денудация, оползни и карст. Таким берегам присущи свои особенности развития.

**Денудационно-абразионным берега** обычно представлены выветрелыми скальными или полускальными породами. В коренном склоне абразией вырабатывается обрыв. При наличии трещин волны расшатывают отдельности и выламывают их. Переформирование надводной части происходит путем осыпей щебенки и вывала глыб [673]. Подобные профили вырабатываются в берегах, сложенных переслаивающимися пермскими породами на Куйбышевском водохранилище (рис. 14.47), третичными опоками на Волгоградском водохранилище [286], песчаниками на Братском водохранилище (рис. 14.48) и др.

Когда абразия затухает или не развивается, а в разрушении береговых откосов участвует только денудация, денудационно-скальные берега водохранилищ остаются нейтральными.

**Оползневые берега.** Главной причиной оползней считается несоответствие между напряжениями и прочностью горных пород. Условиями образования оползней являются тектоническая раздробленность пород, напластование слоев, наличие трещин разрыва и трещин напластования, уменьшение прочности пород за счет выветривания, дополнительного обводнения, размокания, растворения, увеличение крутизны склонов. В берегах водохранилищ оползни провоцируются колебаниями уровня воды при наполнении-сработке и абразионной подрезкой оснований [673].

По особенностям развития, генезису и приуроченности к определенным геоморфологическим элементам первичного рельефа выделяют, как основные, следующие виды оползней: оползни-блоки выдавливания на коренных склонах долин (рис. 14.49); структурные оползни-блоки (оползны-срывы) на коренных склонах; оползни-блоки соскальзывания уступов древних речных террас; оползни-обвалы на коренных склонах долин, приуроченные к зонам тектонических разломов (рис. 14.50); оползни-потоки на коренных склонах; оползни-оплывины (рис. 14.51); оползни-сдвиги на коренных склонах, сложенных скальными породами; оползни-сдвиги на уступах террас, сложенных рыхлыми породами; оползни-сплывы на

отмелях водохранилищ [673].

В строении оползнево-абразионного берега обычно различаются: поверхность скольжения; подошва (базис) оползания; оползневой цирк, оползневое тело и оползневые накопления; отмель абразионная или аккумулятивная [673].

По глубине залегания поверхности скольжения оползни ранжируются на поверхностные – не глубже 1 м, мелкие – до 5 м, глубокие – до 20 м, очень глубокие – глубже 20 м.

В неслоистых массивах на склонах, сложенных однородной песчаной или глинистой породами, развиваются так называемые асеквентные оползни, когда поверхность скольжения имеет цилиндрическую форму.

На берегах равнинных водохранилищ оползневые процессы, в отличие от абразионных, не обнаруживают общей тенденции к затуханию.

На р. Волге крупные оползни приурочены к высоким склонам правобережья, сложенным верхнепермскими, верхнеюрскими и нижнемеловыми отложениями, менее крупные – к глинистым отложениям четвертичного возраста, наиболее распространены на берегах Горьковского, Чебоксарского, Куйбышевского, Саратовского, Волгоградского водохранилищ (табл. 14.14). Участки оползневых берегов имеются на водохранилищах Камы, Дона и других равнинных рек.

Таблица 14.14

#### Характеристика оползневых склонов волжских водохранилищ [112]

Водохранилище	Протяженность оползневых склонов, км		
	общая	опасных участков	участков с оползнями более 10 млн м <sup>3</sup>
Горьковское	440	90	20
Чебоксарское	300	–	–
Куйбышевское	540	270	100
Саратовское	570	85	45
Волгоградское	1 200	120	120

Исторические хроники предоставляют возможность проследить, например, развитие оползневого Сурско-Волжского склона в г. Васильсурске с года образования города до наших дней [256; 310].

Город основан в 1523 г. на правобережье рек Суры и Волги в месте их слияния. Абсолютные отметки плато 165 – 170 м, строения располагались на пологом склоне, отметка уреза реки была 46,8 м. Берег сложен породами четвертичной, юрской и пермской систем. В 1556 г. «город ополз вместе с

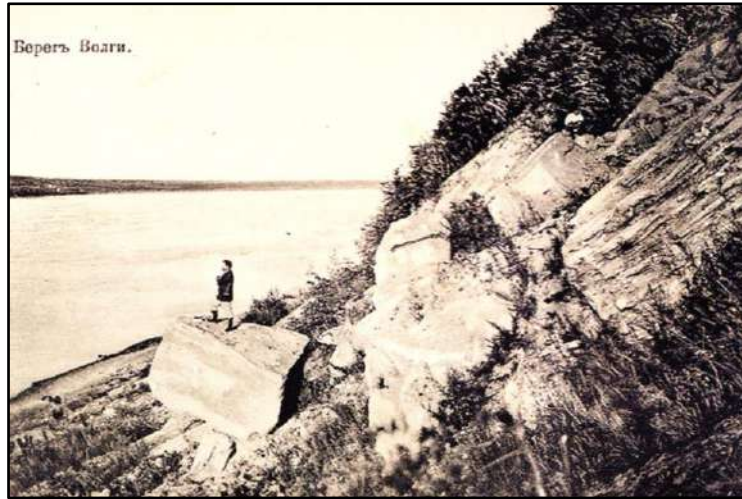


Рис. 14.47. Вязовые горы на правом берегу р. Волги близ г. Казани, 1900 г. [621], образовавшие денудационно-абразионный участок берега Куйбышевского водохранилища



Рис. 14.48. Проявление денудационно-абразионного процесса в песчаниках на участке берега Братского водохранилища у горы Монастырской





Рис. 14.49. След оползня выдавливания на правом берегу р. Волги выше г. Лыскова в пределах подпора Чебоксарским водохранилищем

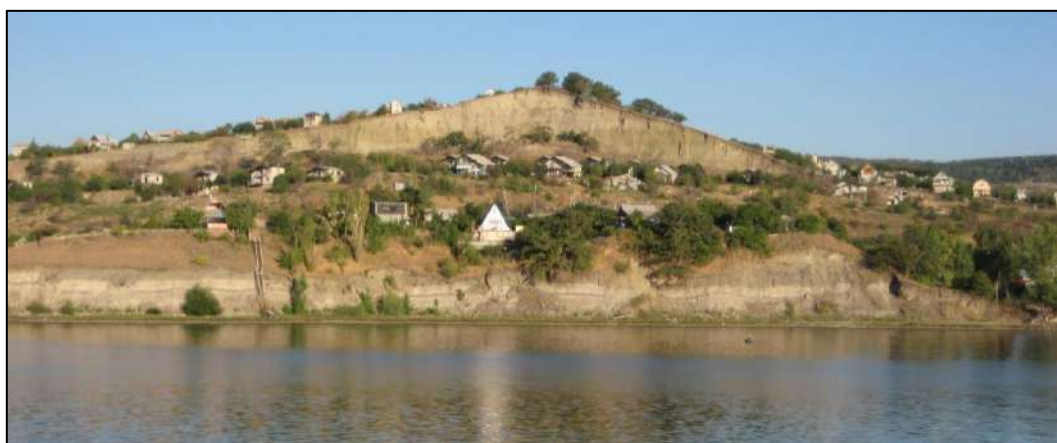


Рис. 14.50. Село Синенькое на оползневых террасах правого берега Волгоградского водохранилища.



Рис. 14.51. Оползни-оплывины на правом берегу Куйбышевского водохранилища ниже г. Елабуги

церковью», большая часть домов в пределах склона была разрушена, приняли решение о переносе города на плато. В начале XVII в. берег р. Суры стал активно подмываться, ширина террасы у основания склона, где размещался торг, быстро уменьшилась и в 1624 г. ярмарка переместилась вверх по р. Волге к Макарьевскому монастырю. В конце XVIII в. размыв берега разрушил улицы и базарную площадь в нижней части города. В 1804 – 1806 гг. оползни привели к разрушению строений в средней и верхней частях склона. Затем размыв берега сменился аккумуляцией, стала наблюдаться стабилизация оползней, к 1828 г. у основания склона образовалась терраса, на которой разместилась базарная площадь. В 1830-х гг. берег р. Суры снова стал размываться. Городское начальство встревожилось: «В весеннее и осеннее время при разливе воды берег по течению Суры на протяжении 300 сажень обваливается с большою потерей земли. Можно предположить, что через 10 или менее лет может угрожать опасность не только торговым лавкам, но даже и домам обывателей». К 1874 г. р. Сура размывла террасу с базарной площадью и подошла к основанию склона. За 1876 – 1877 гг. она «ушла» от города и стала впадать в Волгу на 2 км выше по течению, Волга вплотную подошла к склону против центральной части города, склон стал подмываться волжской водой [256].

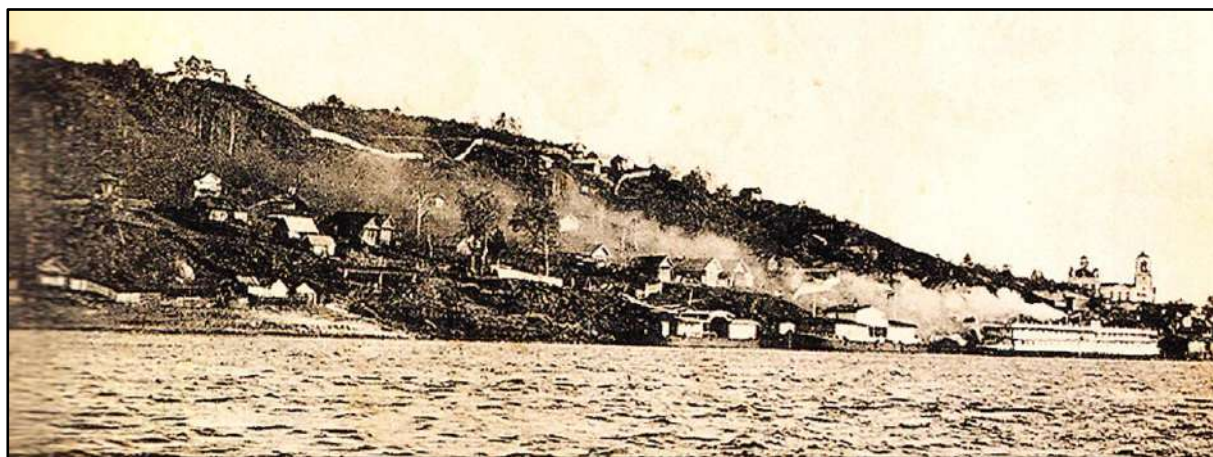


Рис. 14.52. Оползневый волжский склон г. Васильсурска. 1900-е гг. [521]

В XX в. (рис. 14.52) значительная активизация оползневого процесса отмечалась в 1913 – 1914 гг., 1946 – 1948 гг., 1979 – 1981 гг. В 1946 – 1948 гг. оползни охватили весь склон, перестала существовать нижняя улица. 18 декабря 1979 г. произошел крупный оползень течения, в апреле 1980 г. он достиг максимума: длина оползня составила 640 м, ширина 750 м, горизонтальное смещение до 6 – 8 м. В оползневой зоне оказались 250 жилых

домов и прочих строений. Скорость смещения была небольшой – от 0,05 до 0,30 м/сутки, что позволило своевременно эвакуировать жителей. Всего в этот год на волжском склоне в г. Васильсурске было разрушено 650 домов и вновь началась застройка плато. В 1981 г. было заполнено до ВПУ = 63,0 м Чебоксарское водохранилище. За 1981–1982 гг. интенсивность оползневого процесса резко снизилась, но смещения пород в эти годы завершили разрушение части города, расположенной на склоне. В створе школы на ул. Герцена измерялось расстояние от школьного здания до бровки берегового уступа: 1927 г. – 75 м; 1929 г. – 70 м; 1946 г. – 51,5 м; 1947 г. – 49,5 м; 1950 г. – 44,5 м; 1951 г. – 43,5 м; 1957 г. – 36 м; 1967 г. – 28 м; 1980 г. – 18 м; 1982 г. – 13 м.

При обследовании склона г. Васильсурска в 2007 г. отмечалось развитие оползней в его нижней части, смещение на 0,2 – 0,5 м старых оползневых цирков [310].

Более чем 400-летняя история развития оползневых процессов в г. Васильсурске свидетельствует о том, что подмыв основания склона был и остается одним из оползнеобразующих факторов. Исторический опыт показывает, что застройка оползневых склонов чревата трагическими последствиями. Это надо бы понимать жителям правобережных волжских городов, стремящимся со своими особняками ближе к воде, но рассудок этих людей не склонен к путешествиям по прошлому и будущему, а довольствуется только настоящим.

Для предгорных и горных местностей характерны оползни как в мягких породах, так и в скальных береговых массивах водохранилищ.

На Братском водохранилище оползневые склоны в разных породах, занимают около 250 км берегов в пределах его основной части [673]. Существенное развитие получили оползни-сплывы, приуроченные к местам сведения лесных массивов.

При наполнении Усть-Илимского водохранилища в начале лета 1975 г. на ранее недеформированном склоне вблизи пос. Ершово образовался оползень протяженностью более 300 м со сдвигом грунта на высоту около 100 м. В дальнейшем из 80 описанных случаев образования оползней-сплывов по берегам водохранилища 62 пришлось на участки со сведенным лесом, а временные лесовозные дороги превратились в овраги [515].

На Красноярском водохранилище в период его наполнения наблюдалось много оползней скальных берегов. Самый крупный случился в урочище Чертова Речка при подъеме уровня воды на 70 м над поймой Енисея в

1969 г. Отрыв оползневой массы, представленной красноцветными песчаниками и алевролитами, прошел по мощным трещинам, секущим породы вкрест уреза воды, заполненным пластичной глиной и кальцитом. Длина оползня вдоль уреза получилась около 400 м, ширина до 300 м, площадь 80000 м<sup>2</sup>. Объем оползневой массы составил примерно 3 млн м<sup>3</sup>, при этом около 0,5 млн м<sup>3</sup> пород вошло в воду. При сходе оползня возникла большая волна. Ширина водохранилища в этом месте была 3 км. На противоположном от оползня берегу располагался пологий (8°) задернованный склон, глубоко уходящий под уровень воды. Высота наката образовавшейся от оползня волны на этот склон составила 25 м [676].

**Устойчивость оползневых берегов.** При том, что геологические процессы являются нестационарными во времени и происходят в трехмерном пространстве, во многих случаях массивы горных пород могут условно рассматриваться как статические системы, особенно когда интересуются конечным результатом, а не самим процессом. Также допустимо предполагать, что траектории перемещения частей массива при развитии какого-либо процесса лежат в одной плоскости и рассматривать не объемные, а плоские условия. Так часто поступают, формулируя задачу устойчивости грунтового откоса на определенный момент времени в статической двумерной постановке [276].

Устойчивость грунтового откоса проверяется по возможным поверхностям сдвига с нахождением наиболее опасной призмы обрушения, характеризующейся минимальным коэффициентом устойчивости [610; 615]. Существует целый набор гипотез для однозначного определения коэффициента устойчивости [71; 276]. В нашей практике использовались две программы для расчетов устойчивости откосов: программа «Slope» (разработка ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева), позволяющая определить коэффициент устойчивости в двумерных условиях откоса любой конфигурации, сложенного многообразием грунтов при круглоцилиндрической форме поверхности обрушения с учетом фильтрационных и сейсмических воздействий [71], и общераспространенная программа «Plaxis», предназначенная для конечно-элементного расчета деформаций и устойчивости грунтовых геотехнических сооружений и естественных откосов, с помощью которой можно анализировать воздействие изменений порового давления и параметров грунтового (фильтрационного) потока на деформацию и устойчивость откоса.

Проводилась серия постворовых расчетов устойчивости правобере-

жья р. Волги в пределах Чебоксарского водохранилища на случай подъема его уровня от ВПУ = 63,0 до НПУ = 68,0 м БС [187; 308; 579] по следующей методике: рассматривался створ с существующим профилем берега, измеренным в натуре на 2011 г., инженерно-геологические условия принимались по материалам изысканий ФГУГП «Волгагеология»; по программе «Берега» [584;] решалась задача об абразионном переформировании берега в створе на срок 10 и 50 лет: а) при существующем ВПУ = 63,0 м, б) при проектном НПУ = 68,0 м; затем решалась задача о статической устойчивости берега по программе *Plaxis*: а) для существующего профиля берега на 2011 г., б) для прогнозных профилей берега; устанавливалась также ширина захвата возможным оползнем прибрежной части плато при нарушении состояния равновесия склона в случае изменения характеристик пород при полном влагонасыщении. Некоторые данные прогноза (по створам в населенных пунктах) помещены в табл. 14.15.

Таблица 14.15

**Расчетные показатели устойчивости правого берега  
Чебоксарского водохранилища по створам в населенных пунктах [308]**

Участок наблюдения, номер створа	Коэффициент устойчивости склона в состоянии естественной влажности			Ширина оползневой зоны, м*	Показатель оползневой опасности**
	при ВПУ = 63,0 м по состоянию на 2011 г.	при НПУ = 68,0 м			
		на 2011г. (0 лет)	на срок 10 лет		
г.Козьмодемьянск, №51	0,89	—	0,79	—	—
с. Хмелевка, №1	1,282	1,281	1,25	12–15	+
пос. Васильсурск, №1	1,24	1,24	1,18	8–20	+–
с. Фокино, №43	1,041	1,038	0,98	7–10	+–
с. Сомовка, №39	1,587	1,587	1,33	16–20	+
с. Бармино, №37	2,566	2,582	2,26	~70	+
с. Исады, №29	1,253	1,254	1,17	15–18	+–
с. Просек, №30	1,163	1,163	1,01	33–35	+–
с. Татинец, №1	1,274	1,260	1,16	14–15	+–
с. Зименки, №1	1,007	1,016	0,93	18–21	+–
с. Великий Враг, №1	1,185	1,174	1,02	13–20	+–
г. Кстово, №1	1,264	1,263	1,07	16–20	+–
г. Н. Новгород, №5.1 в районе Киселевского оврага	1,220	1,200	—	~80	+–

\* от бровки склона в состоянии полного влагонасыщения; \*\* (+) – берег устойчив,  $K_{уст.} > 1,25$ ; (+–) – берег в состоянии предельного равновесия,  $K_{уст.} = 1 - 1,25$ ; (–) – берег неустойчив,  $K_{уст.} < 1$ .



Рис. 14.53. Карстовый провал – озеро Морской глаз глубиной 35,5 м на левобережье р. Волги в Республике Марий -Эл

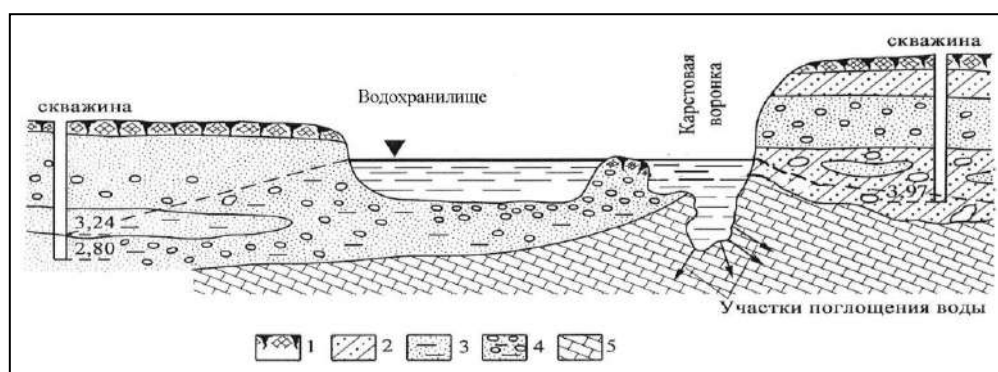


Рис. 14.54. Схема загрязнения водами водохранилища трещинно-карстового водоносного горизонта через карстовую воронку:  
1 – растительный слой; 2 – супесь; 3 – песок; 4 – песок с галькой, водоносный;  
5 – известняк [306]



Рис. 14.55. Карстовый провал, уходящий в дно подпертого озера – водохранилища Вадское в Нижегородской области

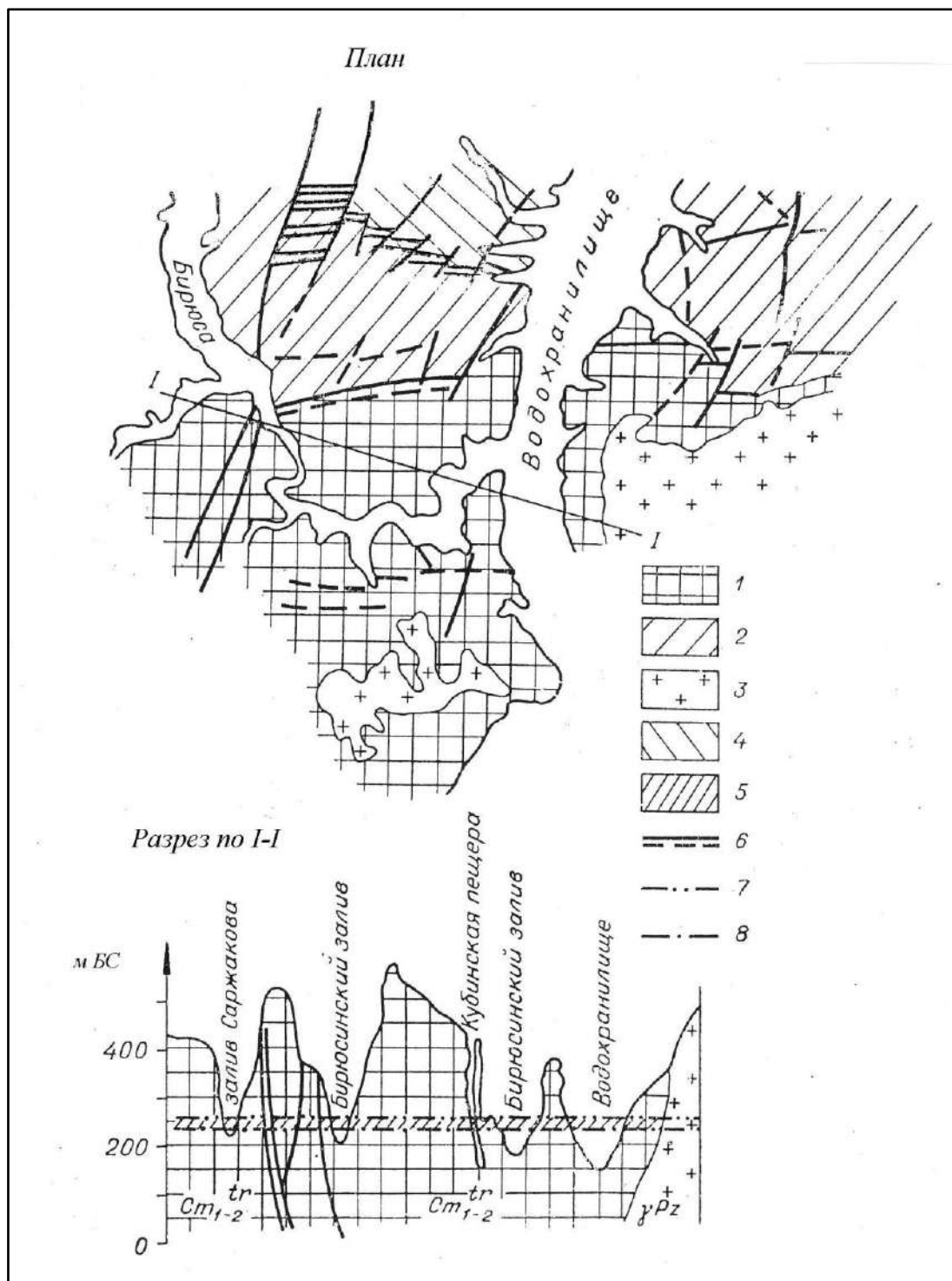


Рис. 14.56. Схема Бирюсинского закарстованного участка на побережье Красноярского водохранилища:

1 – известняки массивные, слоистые; 2 – терригенные породы; 3 – интрузивы;  
4 – вулканогенно-осадочные породы; 5 – зона сработки уровня водохранилища и интенсивного развития карста; 6 – зона тектонических разломов; 7 – уровень подземных вод при НПУ; 8 – уровень подземных вод при максимальной сработке водохранилища

[676]

В результате прояснилось нижеследующее:

– сам по себе подъем на 5 м уровня водохранилища не приведет к активизации оползней: расчеты показали, что в отдельных створах коэффициент устойчивости даже несколько увеличится;

– подмыв и абразионная подрезка оснований склонов были и остаются одними из оползнеобразующих факторов, о чем свидетельствуют более чем 400-летняя история развития оползневых процессов в г. Васильсурске и данные проведенных расчетных исследований. При абразионной подрезке склонов их оползнеопасность возрастает, особенно после подъема уровня водохранилища до отметки 68,0 м. Так, в створе № 51 у г. Козьмодемьянска расчет показал неустойчивость склона в настоящее время ( $K_{уст} = 0,89$ ), срочный прогноз на 10 и 50 лет от момента наполнения водохранилища до НПУ дал коэффициенты устойчивости соответственно 0,79 и 0,73;

– на берегах равнинных водохранилищ оползневые процессы, в отличие от абразионных, не обнаруживают общей тенденции к затуханию.

**Проявления карста** наблюдаются в районах, где развиты горные породы, подверженные растворению и выщелачиванию (рис. 14.53).

Там, где возникает гидравлическая связь водохранилища с карстующимися породами через карстовые воронки, может происходить загрязнение чистых подземных вод нечистыми поверхностными водами (рис. 14.54; 14.55).

Закарстованные берега имеются на Камском, Братском, Красноярском, других водохранилищах. На Камском водохранилище протяженность закарстованных берегов 76 км (8,8 % длины береговой линии). Обычно это обрывы, сложенные трещиноватыми легко растворимыми гипсами и ангидритами, а в южной части водохранилища известняками. Переформирование карстово-абразионных берегов происходит под влиянием растворяющего действия воды при омывании пород ветровыми волнами. У уреза воды на обрывах образуются волноприбойные ниши длиной от десятков до сотен метров вдоль берега и глубиной, достигающей 4 – 8 м. Блоки нависших над нишами пород обрываются и падают к урезу. Размеры падающих блоков в поперечнике и по высоте 3 – 5 м при длине 10 – 15 м. В условиях волнения упавшие блоки разбиваются за несколько дней, а особо крупные лежат месяцами [673].

Карстовые процессы активизируются не только на береговых обрывах водохранилищ, но и распространяются в сторону водоразделов. Так, на участке Хадахан – Мельхитуй берега Братского водохранилища ширина



зоны активизации сульфатно-карбонатного карста в 1990 г. достигала 6 км, а на участке Рассвет – Усть - Алтан 2,6 км. Наибольшая интенсивность провалообразования наблюдалась в прибрежной полосе шириной до 1 км: соответственно 5,9 и 0,8 провалов в год на 1 км<sup>2</sup> [337]. В зоне Красноярского водохранилища у устья р. Бирюсы закарстованы известняковые породы (рис. 14.56) с образованием вертикальных и горизонтальных пещер, воронок и других карстовых проявлений. В 1970 г. по достижении НПУ водохранилища часть карстовых форм, поверхностных и подземных, была затоплена. При сезонных спадах уровня водохранилища в связи с гидравлической связью понижается уровень подземных вод, что создает условия для фильтрационного размыва, растворения известняков и уноса растворенного и разрушенного материала. Это приводит к усилению развития карстовых процессов в амплитуде шестнадцатиметровой сработки водохранилища [676].

#### **14.7. Формирование берегов малых водохранилищ**

Характерные черты малых водохранилищ лесной, лесостепной и степной зон России: наличие приплотинных озеровидных расширений; амплитуда колебания уровня воды не более 1 м; преобладание ветровых волн высотой не более 0,4 – 0,8 м.

Значительные по протяженности участки берегов таких водохранилищ, особенно в их средних и верхних частях, формируются в условиях почти полного отсутствия волнения. Здесь берега минуют абразионный тип, стабилизируются или зарастают. Абразионное переформирование берегов происходит только при активном волнении или при колебаниях уровня воды, чаще всего на приплотинных участках [577; 713].

В 1999 – 2012 гг. рекогносцировочными обследованиями абразионных берегов 18 малых (<100 км<sup>2</sup>) равнинных водохранилищ европейской части страны были зафиксированы качественные закономерности их эволюции, постулированные в 1970-х гг. [713] и проявившиеся при многолетней эксплуатации:

– для всех малых водохранилищ характерно ускоренное становление абразионных берегов: за 5 – 7 лет они проходят стадию интенсивного разрушения, к 20 – 25 годам – стадию становления берега и абразионно-аккумулятивной отмели, которая завершается выработкой профиля динамического равновесия;

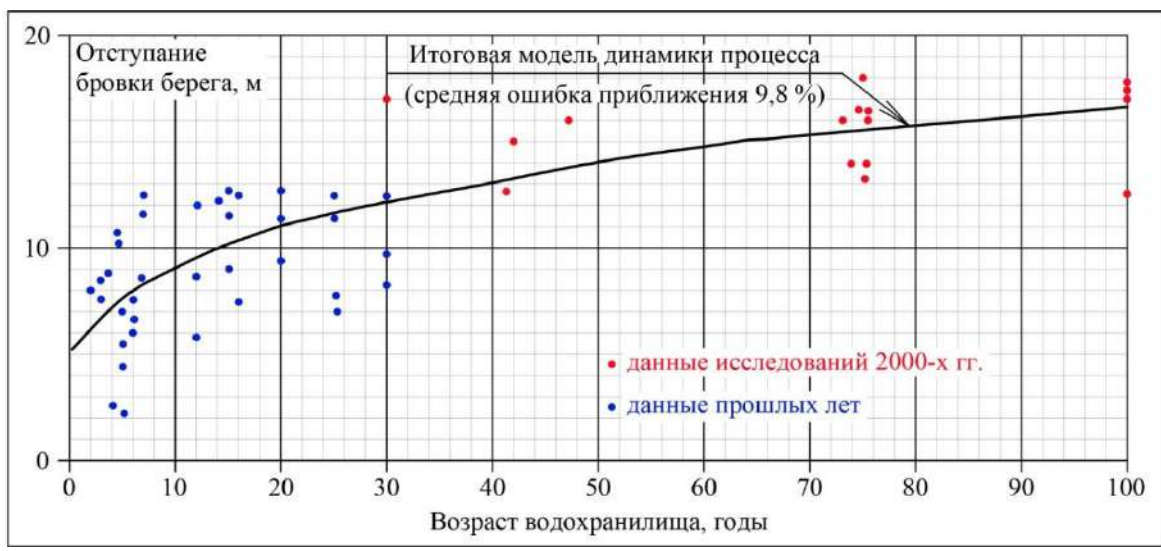


Рис. 14.57. Наблюдаемые величины и синтезированная общая закономерность отступления бровки абразионных берегов малых (<100 км<sup>2</sup>) равнинных водохранилищ в зависимости от возраста

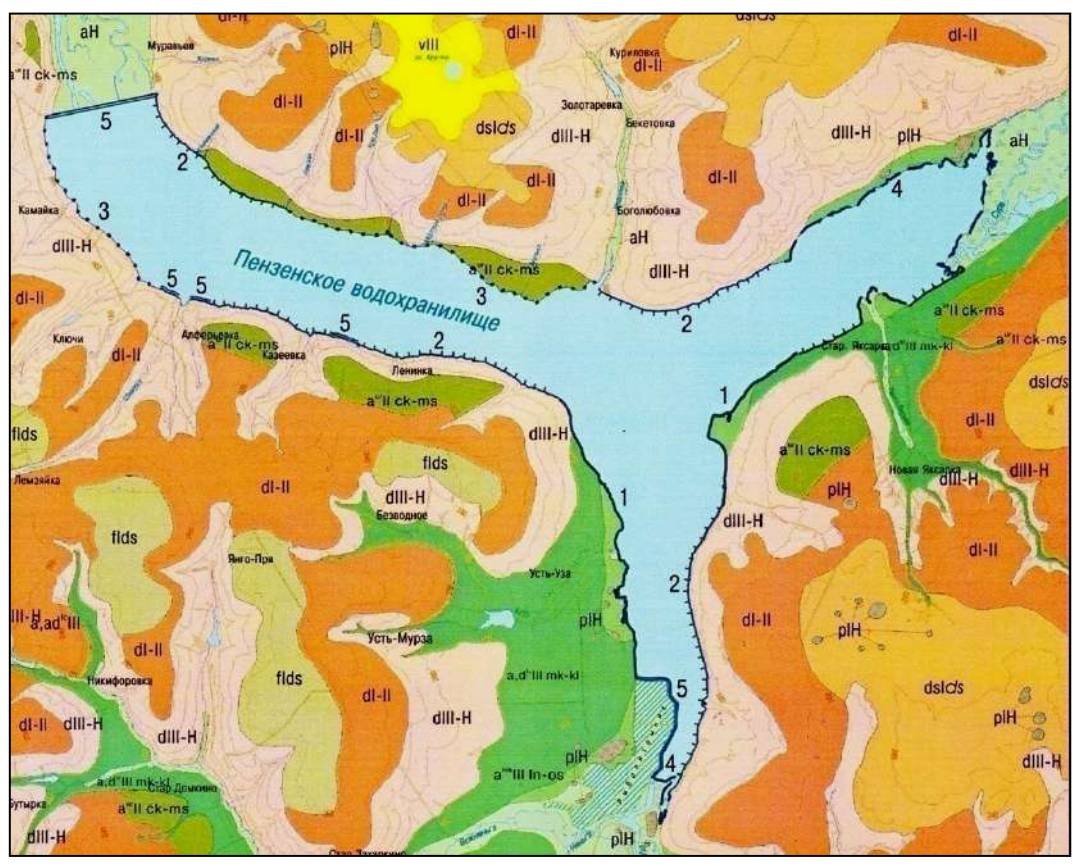


Рис. 14.58. Схема районирования берегов Пензенского водохранилища:  
1 – участки береговой абразии с обрывами высотой от 0,5 до 9 – 10 м; 2 – участки обрывов обвального и осыпного генезиса; 3 – склоны высотой от 0,5 до 15 – 18 м с мелководьем, устойчивые к размыву; 4 – заболоченные низины в устьях рек Суры и Узы; 5 – укрепленные берега [303; 593]

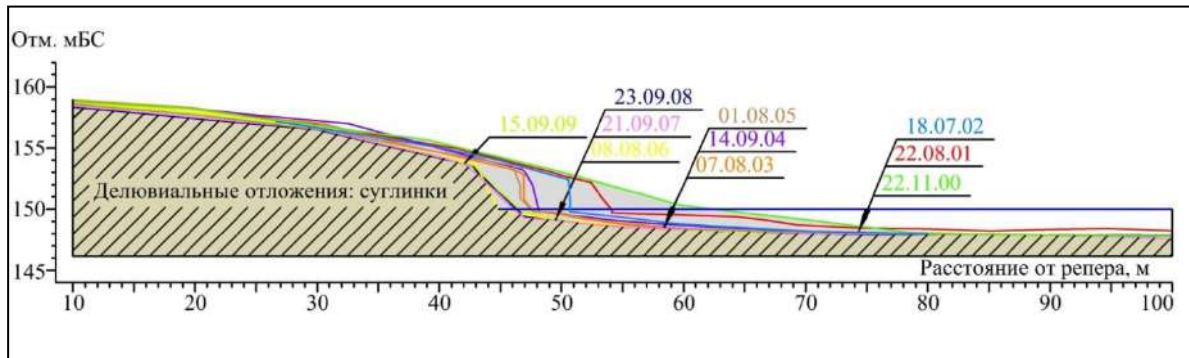


Рис. 14.59. Устойчивый к размыву правый берег в приплотинной части Пензенского водохранилища. 2005 г.

а



б



в

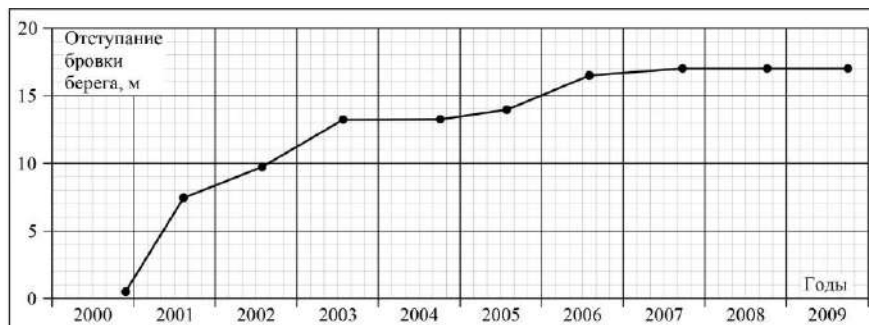


Рис. 14.60. Вид в 2010 г. (а), измеренные профили (б) и график отступления бровки абразионного левого берега (в) Пензенского водохранилища в створе № 5 у с. Казеевка [303; 593]

– абразионные отмели в состоянии динамического равновесия получают небольшие размеры, далее происходит их переработка с формированием неустойчивого микрорельефа, характерного для природных водоемов замедленного водообмена.

В процессе рекогносцировок, где это было возможно, фиксировалось положение бровок надводных уступов, определялись величины отступления берегов за период эксплуатации водохранилищ. По полученным результатам вместе с привлеченными данными прошлых лет о 36 малых водохранилищах европейской части России, Украины и Белоруссии [713], синтезирована [189] кривая отступления бровки абразионных берегов малых равнинных водохранилищ в зависимости от их возраста, представленная на рис. 14.57, в которой нашла количественное отражение описанная выше закономерность об их поведении в течение многолетнего периода эксплуатации водохранилищ [577; 592; 593].

Особенности развития берегов малых равнинных водохранилищ показываются на примере Пензенского водохранилища (рис. 14.58, 14.59, 14.60а), построенного в 1979 г. на р. Сура в лесостепной зоне к юго-востоку от г. Пензы для водоснабжения города и орошения прилегающих земель. Его протяженность по р. Сура 27 км при ширине до 3 км. По проекту НПУ = 150,0 м БС, УМО = 143,0 м, полный объем 560 млн м<sup>3</sup>, максимальная глубина 16 м, площадь зеркала 110 км<sup>2</sup>. На рис. 14.60 б, в приведены данные инструментальных наблюдений (проводившихся ФГУ «Сурский гидроузел» при участии ННГАСУ) по одному из створов у с. Казеевки. Здесь берег был изначально пологим и до 2000 г. не разрушался. Затем началось его развитие по абразионному типу, практически завершившееся с выработкой профиля динамического равновесия. Протяженность береговой линии по урезу НПУ за 26 лет эксплуатации увеличилась с 99 до 109 км [303; 593].

В разработанной ННГАСУ «Схеме комплексного использования и охраны водных объектов бассейна р. Суры» [600] рекомендовано в пределах населенных пунктов закрепить берега Пензенского водохранилища на протяжении 2,7 км.

## **14.8. Деформации русел в нижних бьефах ГЭС**

Среди нижних бьефов ГЭС различают свободные и подпертые. В свободных бьефах отсутствует всякий подпор, подпертые являются верховьями

нижеследующих водохранилищ. Под влиянием гидроузлов в нижних бьефах изменяется характер и интенсивность русловых процессов по сравнению с естественными участками рек.

В формировании берегов нижних бьефов участвуют волновая, ледовая и термическая абразия, русловая и склоновая эрозия, физическое выветривание, механическая суффозия, растворение, гравитационные движения пород на склонах, зарастание береговой полосы. На устойчивости берегов отрицательно сказываются суточное и недельное регулирование стока воды и резкое снижение стока наносов. Ведущими в формировании берегов нижних бьефов являются, как правило, процессы русловой боковой эрозии и ветро-волновой абразии, всего сильнее проявляющиеся во время половодий, когда скорости стокового течения достигают 1 м/с и более, уровни воды наивысших отметок, а волны наибольших высот (рис. 14.61, 14.62). Как в свободных, так и в подпертых нижних бьефах непосредственная абразия берегов происходит в меньшем по высоте интервале по сравнению с реками вследствие сокращения амплитуды колебаний уровней воды в безледный сезон.

Продольный профиль русла крупных равнинных рек имеет волнообразный характер с чередованием плесов и перекатов (см. рис. 12.20). В нижних бьефах гидроузлов наблюдается его перестройка. Непосредственно за рисбермой водосливной плотины или ГЭС начинается размыв дна, протекающий в первое десятилетие очень энергично. Постепенно глубинная эрозия смещается вниз по реке. В целом обозначается тенденция к сглаживанию различия между плесами и перекатами. Ниже зоны глубинной эрозии формируется зона аккумуляции наносов, отличающаяся неустойчивыми аккумулятивными формами в подводной части русла (рис. 14.63) [258; 477; 713].

Из-за глубинной эрозии ситуация в нижних бьефах усугубляется таким явлением, как **посадка уровня воды**. Под посадкой уровня понимается понижение отметки уровня воды при равных значениях расходов через гидроузел, связанное с увеличением емкости русла в нижнем бьефе.

Трансформация русел в нижних бьефах гидроузлов иллюстрируется на примерах рек Волги, Камы и Оби.

В подпертых нижних бьефах верхневолжских гидроузлов единственное место, где в 1960 – 1970 гг. была отмечена значительная боковая эрозия русла, это вогнутый участок левобережья р. Шексны в 1 км ниже Рыбинской ГЭС. Скорость отступления берега, сложенного четвертичными песками и суглинками, достигала здесь в 1963 – 1979 гг. 1,5 – 3,3 м/год. Сравнительно



Рис. 14.61. Иллюстрация размыва половодьями песчаного правого берега р. Волги в нижнем бьефе Жигулевской ГЭС



Рис. 14.62. Абразионный участок правого берега р. Дона в нижнем бьефе Цимлянского гидроузла

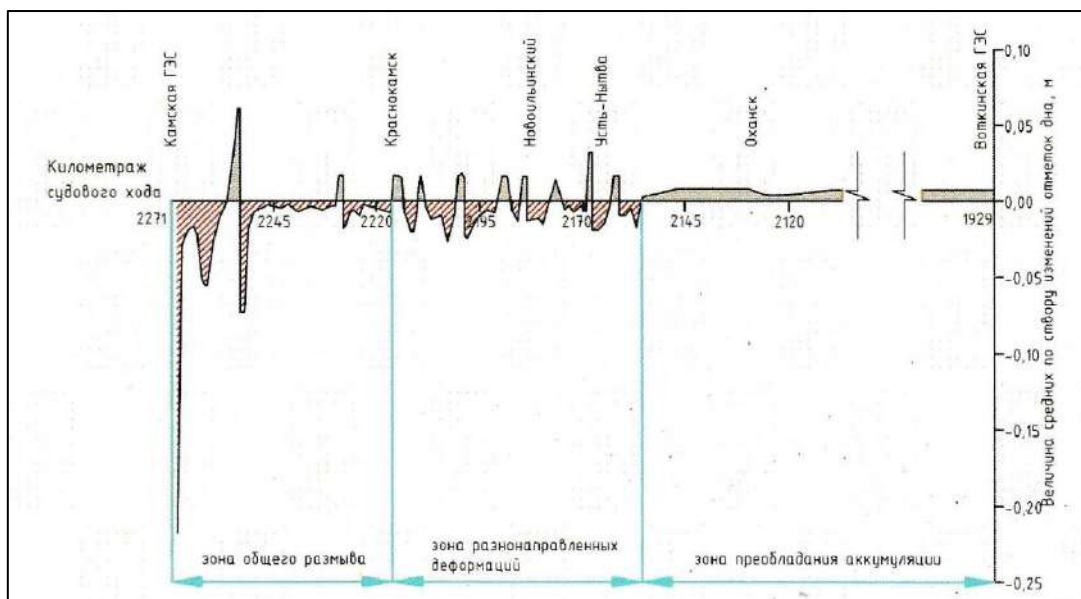


Рис. 14.63 Продольный профиль преобладающих процессов перестроения дна нижнего бьефа Камской ГЭС по сценарию года 50 % обеспеченности [477]

высокая скорость размыва берега на участке объяснялась тем, что после строительства Рыбинского гидроузла сброс суммарного стока р. Волги и р. Шексны стал осуществляться только по руслу р. Шексны, имеющему небольшую пропускную способность, а дно русла сложено практически неразмываемыми породами [258]. Позднее заметили, что в нижнем бьефе Рыбинского гидроузла разрушению подвергается 13 км берегов [112]. Процесс объяснили попусками ГЭС: если бы ГЭС работала не в пиковом режиме, переработка берегов была бы существенно меньшей. В 1980-х гг. стало понятно, что процесс может носить незатухающий характер [199]. Приступили к берегоукреплению, облагораживающему вид с воды г. Рыбинска.

Проектом Нижегородского гидроузла предусматривалась его эксплуатация в условиях подпора водами Чебоксарского водохранилища. Подпор до сих пор не осуществлен. На основании русловых съемок в нижнем бьефе гидроузла в первые годы после ввода его в эксплуатацию было установлено, что за 1956–1960 гг. с 6-километрового участка ниже плотины вынесено более 2 млн м<sup>3</sup>, а с 1960 г. по 1966 г. еще около 1,5 млн м<sup>3</sup> донного грунта [258]. Получившая развитие глубинная эрозия к настоящему времени при среднесуточных расходах ГЭС 1 100 м<sup>3</sup>/с вызвала посадку уровней воды ниже гидроузла на 1,3 м, у г. Балахны – на 0,8 м. [441; 679] (см. раздел 12.4).

Нижним бьефом Камского гидроузла на р. Каме является русловой участок Воткинского водохранилища (см. рис. 14.63). Здесь в первое трехлетие после наполнения Воткинского водохранилища (1964–1966 гг.) отступление берегов, сложенных четвертичными и верхнепермскими породами, происходило со скоростью 1–3 м/год, а в 1974–1976 гг. берега почти совсем не деформировались [258]. Но на участке от гидроузла до г. Краснокамска произошел размыв дна и наибольшая глубина к 2009 г. возросла от проектных 13 м до 18,6 м, а средняя глубина – от 5,2 м до 5,9 м [399]. К 2002 г. за счет глубинной эрозии посадка уровня воды составила не менее 1,8 м. По мере развития процесса увеличивались расходы воды, необходимые для поддержания минимальной регламентированной отметки уровня. Если в 1965 г. при уровне верхнего бьефа Воткинской ГЭС 84,9 м БС минимальная отметка 86,5 м в нижнем бьефе Камской ГЭС обеспечивалась среднесуточным расходом 710 м<sup>3</sup>/с, то в 2002 г. при более высоком уровне верхнего бьефа Воткинской ГЭС 85,8 м для этого требовался расход 840 м<sup>3</sup>/с [83].

Просел уровень воды в нижнем бьефе Воткинской ГЭС. Изменившаяся к 2010 г. кривая связи расходов и уровней воды показана на рис. 14.64.

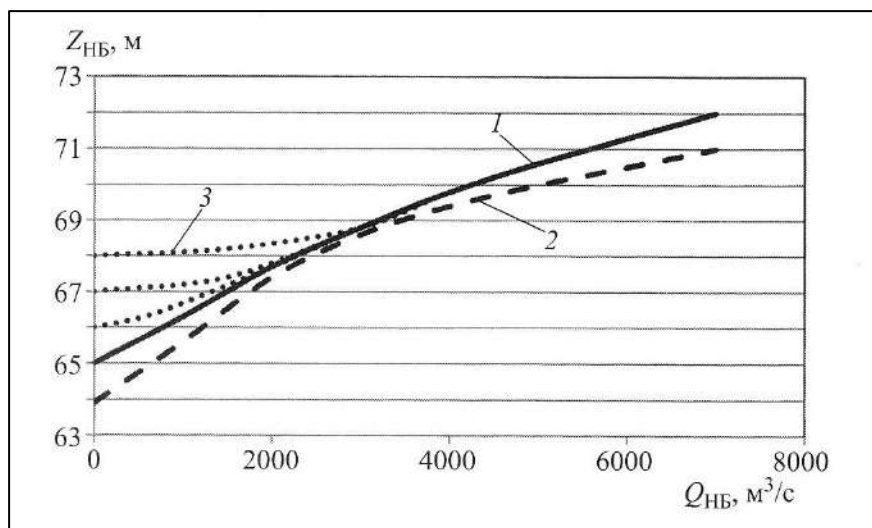


Рис. 14.64. Кривые связи расходов и уровней воды нижнего бьефа Воткинской ГЭС: 1 – проектная; 2 – современная; 3 – при НПУ Нижнекамской ГЭС 68,0 м БС [496]

Сооружение Волжской ГЭС в 1959 г. повлияло на изменение темпов и направленности русловых деформаций р. Волги ниже г. Волгограда. За прошедший период эксплуатации ГЭС понижение уровня в нижнем бьефе вследствие размывов дна составило для расходов до 10000 м<sup>3</sup>/с 1,55 – 1,27 м. Для больших расходов оно постепенно уменьшается (рис. 14.65). Заметную роль в изменении интенсивности понижения уровня сыграло формирование тел аккумуляции на приплотинном участке и их последующая деформация. В характере горизонтальных русловых деформаций значительных изменений не произошло. Зарегулирование стока сказалось в интенсификации этих деформаций лишь на отдельных, преимущественно извилистых участках реки [252; 366].

Чувствительным экологическим и социальным последствием русловых деформаций в нижнем бьефе Волжской ГЭС явилось нарушение водного питания и естественного режима р. Ахтубы. Волгоградская плотина перекрыла левый рукав р. Волги – Ахтубу, отходивший от основного русла выше г. Волгограда, по которому в естественных условиях протекал средний многолетний расход воды 150 м<sup>3</sup>/с. Для восстановления питания р. Ахтубы водой из р. Волги в 6 км ниже створа гидроузла прорыли канал, который должен был обеспечивать Ахтубу волжской водой. «Посадка» кривой связи расходов и уровней р. Волги близ входа в Волго-Ахтубинский канал, составляющая при современных средних межених (июль – март) расходах воды 5500 – 6000 м<sup>3</sup>/с более 1,5 м, а также занесение самого канала,



препятствуют поступлению в Ахтубу расходов воды, покрывающих надобность водопотребителей. Проблемой озабочены местная администрация, население и хозяйствующие субъекты [33]. В числе возможных решений разработано встраивание водопропускного сооружения в напорный фронт Волгоградского гидроузла с отводом потока в 100 – 150 м<sup>3</sup>/с в р. Ахтубу [77; 410].

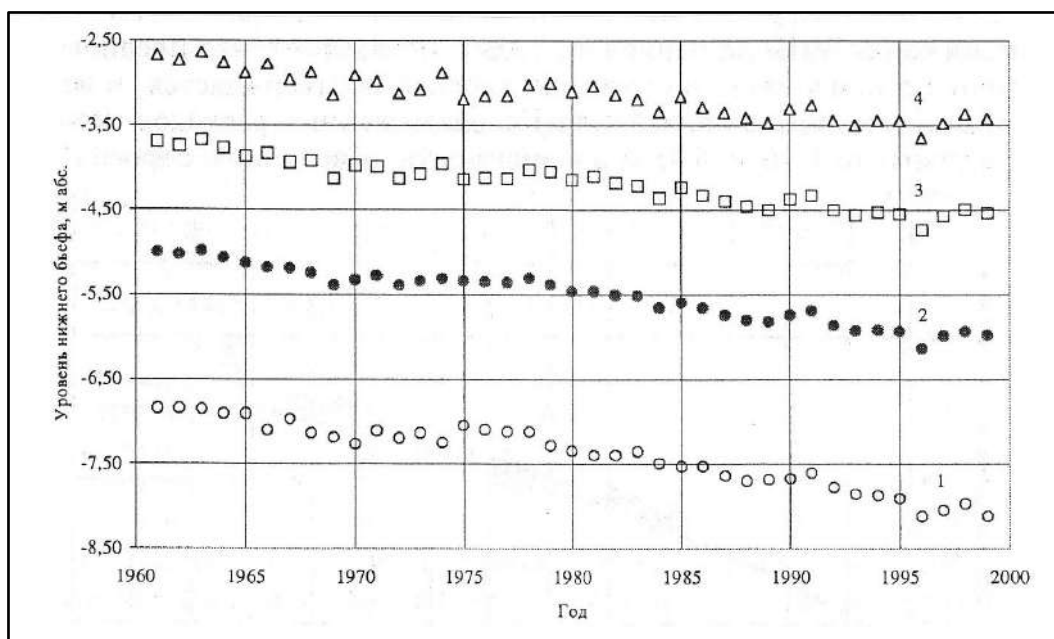


Рис. 14.65. Понижение уровней в нижнем бьефе Волжской ГЭС при расходах: 1 – 10000 м<sup>3</sup>/с; 2 – 15000 м<sup>3</sup>/с; 3 – 20000 м<sup>3</sup>/с; 4 – 25000 м<sup>3</sup>/с [366]

В нижнем бьефе Новосибирского гидроузла на р. Оби, созданного в 1956 г., в результате глубинной эрозии русла к концу 1980-х гг. посадка уровня воды составила непосредственно за гидроузлом 1,5 – 1,6 м, а в районе водомерного поста г. Новосибирска 0,9 – 1,0 м. Здесь только за 1986 – 1988 гг. кривая связи расходов и уровней сместилась вниз по высотной оси на 15 – 20 см (рис. 14.66). При этом на понижение уровня воды в районе г. Новосибирска существенно повлияли карьерные разработки грунта в русле реки, при отсутствии которых посадка уровня могла составить лишь 0,15–0,20 м [70].

Руслоформирующим процессам в нижних бьефах ГЭС присущ как разрушительный (например, в смысле потери земель), так и созидательный (например, для гидроэнергетики) характер. Из-за понижения кривых  $Q = f(H)$  в нижних бьефах энергетических гидроузлов увеличиваются напоры и, соответственно, выработка ГЭС [28; 100; 258]. Так, на величину посадки

уровня воды в створе станции (1,5 – 1,6 м) возрос максимальный напор Новосибирской ГЭС и достигает в сентябре-октябре 20,5 – 21,0 м при проектном значении 19,6 м [459]. За счет этого выработка электроэнергии гидроэлектростанцией увеличивается на несколько процентов [70].

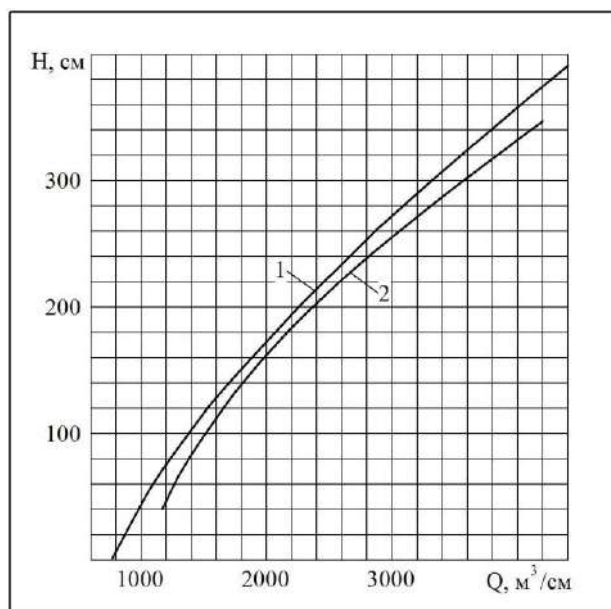


Рис. 14.66. Зависимость  $Q = f(H)$  р. Оби, водпост « г. Новосибирск»: 1 – 1986 г.; 2 – 1988 г.; H – от нуля водпоста [70]

## 14.9. Об оценке потери земель в береговой зоне

Публикации о потерях прибрежных земель в результате берегоперформирований на водохранилищах [7; 112; 121; 123; 199; 419; 683; и др.] не сообщают каким способом и на базе каких данных потери подсчитаны, зачастую не разделяя и употребляя как синонимы понятия берега, береговой линии, береговой зоны [112]. Коснемся этого вопроса применительно к абразионным берегам.

Вдоль периметра водохранилища выделяется береговая зона. Бровка надводного абразионного берегового уступа представляет собой границу береговой зоны на суше. Надводная часть береговой зоны простирается от бровки берегового уступа до береговой линии. Между бровкой уступа и проектной (первоначальной) береговой линией заключается полоса теряемых земель в период эксплуатации водохранилища.

Береговая линия в ходе эволюции водохранилищной котловины может

перемещаться вглубь прилегающей территории или наоборот – в сторону акватории. Процесс же перемещения бровки абразионного уступа однопавленный – вглубь территории. Определение положения бровки надводного абразионного берегового уступа на местности – наиболее простое измерение при оценке динамики потери земель в береговой зоне.

Описанный принцип оценки потери земель проиллюстрирован в табл. 14.16 данными по участку наблюдений №1 между д. Вашуриха и д. Андроновно на левом берегу Горьковского водохранилища. На космическом снимке (см. рис. 14.30) можно рассмотреть выпрямление береговой линии со сдвигом в сторону суши. В связи с затуханием абразии (см рис. 14.31) потери земель, отнесенные к 1 км длины береговой зоны на данном участке, уменьшились от 1,37 га/год в 1957 – 1959 гг. до 0,11 га/год в 2009 – 2010 гг. и по прогнозу сократятся до 0,08 га/год к 2030 г.

Таблица 14.16

**Усредненные показатели потери земель по участку № 1  
между деревнями Вашуриха и Андроновно на левом  
абразионном берегу Горьковского водохранилища**

Источники данных	Момент времени, годы	Усредненная по участку величина отступления бровки надводного берегового уступа, м	Площадь потерянных земель, га/1 км длины береговой зоны	Средняя интенсивность потери земель за предшествующий период, га/год на 1 км длины береговой зоны
Наблюдения, см. раздел 14.5	1957	0	0	–
	1959	27,59	2,75	1,37
	1963	33,21	3,32	0,55
	1966	35,09	3,50	0,38
	1971	39,00	3,90	0,27
	1985	48,32	4,83	0,17
	2009	57,93	5,79	0,11
	2010	58,30	5,83	0,11
Прогноз, см. раздел 14.5	2011	58,63	5,86	0,10
	2015	59,96	5,99	0,10
	2020	61,51	6,15	0,097
	2025	62,93	6,29	0,092
	2030	64,23	6,42	0,087

Использование означенного принципа должно способствовать сопоставимости данных, получаемых независимыми исследователями.

# ГЛАВА 15. ФОРМИРОВАНИЕ ЛОЖА ВОДОХРАНИЛИЩ

## 15.1. Процесс занесения и заиления водохранилищ

В результате эрозии и аккумуляции в эксплуатируемых водохранилищах происходит перестройка подводного рельефа.

**Седиментация** (аккумуляция) эрозионного материала в водохранилище представляет собой детерминированный, саморегулируемый, однонаправленный динамический процесс. Седиментационный баланс водохранилища включает наносы разного генезиса, играющие различную роль в его занесении и заилении. Интенсивность занесения и заиления горных водохранилищ чаще всего обуславливают наносы, поступающие извне (аллохтонные) с речным стоком. Для равнинных водохранилищ преобладающими могут оказаться образования, формирующиеся внутри них (автохтонные) [404]. На этапе становления рельефа ложа равнинных водохранилищ основным поставщиком материала являются продукты разрушения берегов, островов и повышений дна в мелководных зонах. Происходит нивелировка дна, как в мелководных, так и в глубоководных зонах за счет отложения наносов в понижениях рельефа. На этапе относительной стабилизации ложа водохранилищ все более существенную роль приобретает твердый сток с водосбора [7; 92].

Общее количество наносов, переносимых водным потоком через живое сечение в единицу времени (с, год) называют **расходом наносов**, иначе – **твердым стоком**. Предельный расход наносов, сверх которого поток при данных гидравлических характеристиках не способен перемещать твердый материал, принято называть **транспортирующей способностью потока**. Твердый сток считают (несколько условно) состоящим из двух частей: взвешенных наносов и донных наносов.

**Взвешенные наносы** движутся в потоке воды. Это наиболее мелкие частицы, для которых неразмывающая скорость (табл. 15.1) намного мень-

ше средней скорости течения  $V_{\text{нер}} \ll V_{\text{ср}}$ .

Таблица 15.1

**Неразмывающие скорости для различных грунтов  
при равномерном движении воды [620; 702]**

Грунты		$V_{\text{нер}}$ , м/с
Несвязные	Пыль, ил	0,15 – 0,20
	Песок мелкий (с примесью среднего), размер частиц 0,05 – 0,25 мм	0,26 – 0,40
	Песок средний (с примесью крупного), размер частиц 0,25 – 1,00 мм	0,40 – 0,70
	Песок крупный (с примесью среднего песка и гравия), размер частиц 1,00 – 2,50 мм	0,70 – 0,80
	Гравий	0,60 – 1,20
Связные	Супесь, суглинок	0,7 – 1,0
	Глина	1,0 – 1,8
Скальные	Пористый и слоистый известняк и песчаник	2,5 – 3,4

**Донные (влекомые) наносы** перемещаются под влиянием силы лобового давления (скоростного напора), возникающей при непосредственном воздействии воды на движущиеся твердые частицы [541]. Донные наносы в нижних участках рек составляют обычно около 5 – 12 % от взвешенных и до 20 – 50 % и более в предгорных и горных участках рек [240] и нижних бьефах ГЭС. Примеры соотношения количества донных ( $Q_{\text{д}}$ ) и взвешенных ( $Q_{\text{в}}$ ) наносов  $Q_{\text{д}}/Q_{\text{в}}$ : р. Терек – 3 %; р. Дон, г. Калач – 9,62 %; р. Обь, нижний бьеф Новосибирской ГЭС – 40 – 50 %; р. Кама, верхнее течение – 99 % [37; 292].

Количество взвешенных наносов в воде характеризуется **мутностью**, т.е. содержанием их в 1 м<sup>3</sup> воды, и выражается в г/м<sup>3</sup> [240] (табл. 15.2). Мутность воды в реке неодинакова в течение года, обычно она существенно выше в период половодья по сравнению с меженью (рис. 15.1).

**Расход взвешенных наносов** определяют, пользуясь гидрометрическими данными, как  $Q_{\text{в}} = S \cdot Q$ , кг/с, где  $S$  – мутность воды, кг/м<sup>3</sup>,  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с [240].

В водохранилище скорость течения, а следовательно, и транспортирующая способность потока, уменьшаются по мере приближения к гидроузлу (рис. 15.2), в результате чего наносы большей частью осаждаются на дно, сортируясь по крупности. Сосредоточенная аккумуляция донных наносов (**занесение**) происходит в зоне выклинивания подпора. Взвешенные наносы (**заиление**) проходят транзитом в следующие мелководную, средних глубин

и глубоководную зоны водохранилища и выстилают там дно слоем аллювия (включающего и продукты абразии берегов). Толщина этого слоя обычно убывает в сторону плотины.

Таблица 15.2

**Среднегодовая мутность воды некоторых рек России**

[7; 92; 140; 240; 292]

Река – пункт измерения	Период	Среднегодовая мутность воды, г/м <sup>3</sup>
Обь – Салехард	до 1957 г.	34,0
Енисей – Игарка	до 1957 г.	18,8
Лена – Табага	до 1957 г.	34,2
Шексна – Черная Гряда	до 1963 г.	41,8
Волга – Ржев	1949 – 1968 гг.	13,5
Волга – Лебяжье	1940 – 1955 гг.	55,0
	1956 – 1969 гг.	39,5
Дон – Раздорская	1934 – 1951 гг.	184
	1952 – 1969 гг.	112
Дон – Калач	1952 – 1972 гг.	152
Кубань – Краснодар	1987 – 2000 гг.	834,9
Сулак – Миатлы	1959 – 1964 гг.	2900

Остановка движения частиц взвешенных наносов происходит при выполнении условия  $V_{ак} = 0,8 V_{нер}$ , т.е. скорость потока  $V_{ак}$ , соответствующая началу аккумуляции наносов, в среднем на 20 % меньше неразмывающей скорости  $V_{нер}$  [120; 541]. Часть взвешенных наносов в виде мельчайших фракций проносятся через водосбросы и турбины ГЭС в нижний бьеф. Для водохранилищ на горных реках эта часть может составлять более 40 %, для русловых водохранилищ – около 10 %. В контексте изложенного рис. 15.3 иллюстрирует данные о стоке наносов р. Камы у г. Сарапула до и после ввода в эксплуатацию Камского и Воткинского гидроузлов при различных расходах воды.

Изучением занесения и заиления водохранилищ, начиная с Г. И. Шамова [705], занималась большая группа отечественных исследователей, получивших эмпирические зависимости, разработавших балансовые методы и создавших компьютерные модели для анализа и прогнозирования этого процесса.

**Седиментационный баланс водохранилища** в общем случае складывается из следующих составляющих:

$$R_{п} + R_{б} + R_{р} + R_{э} + R_{в} = R_{с} + R_{х} + R_{о} \pm R_{вз} + \Delta R ,$$

где  $R_n$  – поступление наносов по основному водотоку;  $R_b$  – боковая приточность наносов и их склоновый смыв;  $R_p$  – поступление наносов от размыва берегов и дна водохранилища;  $R_z$  – то же с ветром;  $R_v$  – поступление вещества в результате внутриводоемных процессов;  $R_c$  – сброс наносов в нижний бьеф через гидроузел;  $R_x$  – изъятие наносов при заборе воды на хозяйственные нужды;  $R_o$  – аккумуляция наносов в водохранилище;  $R_{вз}$  – изменение количества взвесей в водохранилище за расчетный период;  $\Delta R$  – ошибка (невязка) баланса. Все составляющие баланса представляют обычно в размерности массы. Отрицательный баланс указывает на аккумуляцию наносов, положительный – на эрозию.

Седиментационный баланс, в отличие от водного баланса, определяют за длительный период эксплуатации водохранилища, поскольку трудно получить за короткий период (год и меньше) такие его составляющие как объем отложений, объем продуктов переработки берегов. Оценка количества наносов, переносимых рекой, тоже отличается большой неточностью. Величину отдельных составляющих и для многолетнего периода представляется возможным оценить лишь ориентировочно. Поэтому прогнозы заиления водохранилищ балансовым методом во многих случаях оказываются несостоятельными [506; 534].

В обстоятельствах неточности теоретических прогнозов непреходящее значение приобретают натурные изыскания количества донных отложений в водохранилищах.

Особенно быстро происходит **занесение и заиление** речными наносами **небольших водохранилищ, расположенных в горной местности.** Наиболее неблагоприятны в этом отношении водохранилища Средней Азии, Закавказья, Карпат [63; 404; 673; 678].

В России показательным объектом можно назвать Чир-Юртское водохранилище (рис. 15.4), эксплуатируемое в каскаде на р. Сулак в Дагестане [140; 645].

В проекте Чир-Юртской ГЭС полная емкость водохранилища определена равной 108 млн. м<sup>3</sup>, а регулирующая емкость – 6,5 млн. м<sup>3</sup> (рис. 15.5А). Среднегодовой расход воды р. Сулак был 175 м<sup>3</sup>/с, наибольший расход наблюдался в паводок 8 июля 1963 г. и достигал 2120 м<sup>3</sup>/с, средняя мутность воды в реке составляла 2900 г/м<sup>3</sup>, среднегодовой расход взвешенных наносов 545 кг/с. Гранулометрический состав взвешенных наносов: ил и глина – 73 %, пыль – 11 %, песок – 16 %. Влекомые (донные) наносы представлены валунами (24 %), крупной (27 %), средней (32 %) и мелкой (11 %) галькой и



Рис. 15.1. Слияние мутной воды р. Оки с осветленной Горьковским водохранилищем водой р. Волги. Весна 2018 г.

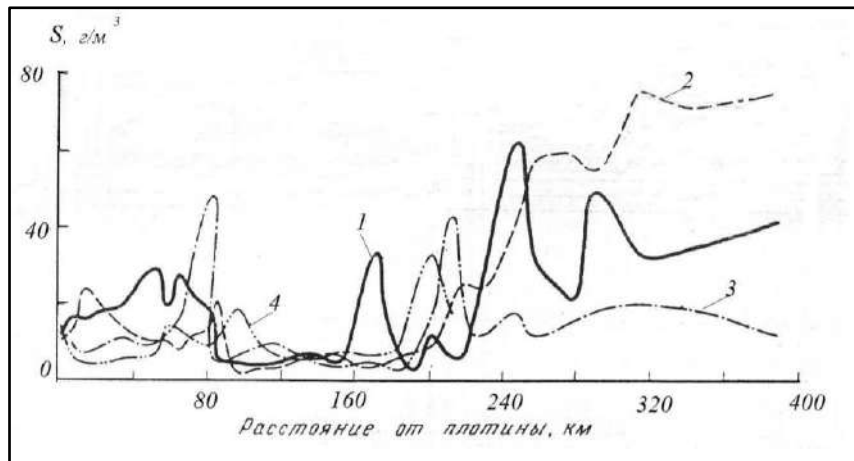


Рис. 15.2. Мутность воды Куйбышевского водохранилища в 1961 г.:  
1 – 1...3 июня; 2 – 1...14 июля; 3 – 9...14 октября; 4 – 10...11 ноября [262]

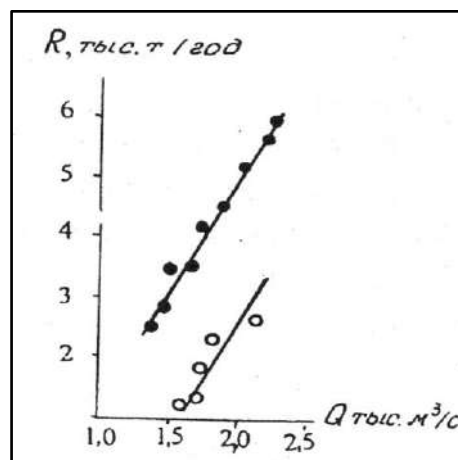


Рис. 15.3. Сток наносов р. Камы у г. Сарапула до (●) и после (○) ввода в эксплуатацию Камского и Воткинского гидроузлов [710]



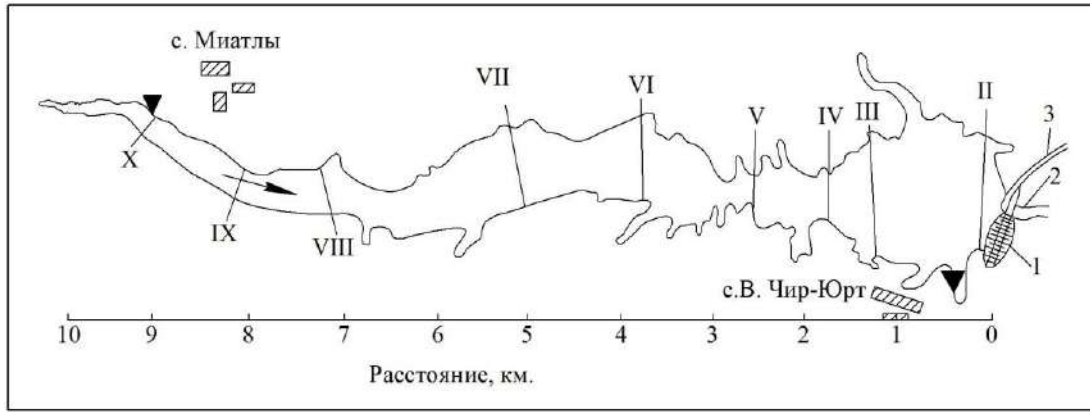


Рис. 15.4. План Чир-Юртского водохранилища на р.Сулак:  
 I - X – створы промеров глубин; ▼ – водомерные посты; 1 – земляная плотина;  
 2 – водосброс; 3 – деривационный канал ГЭС [645]

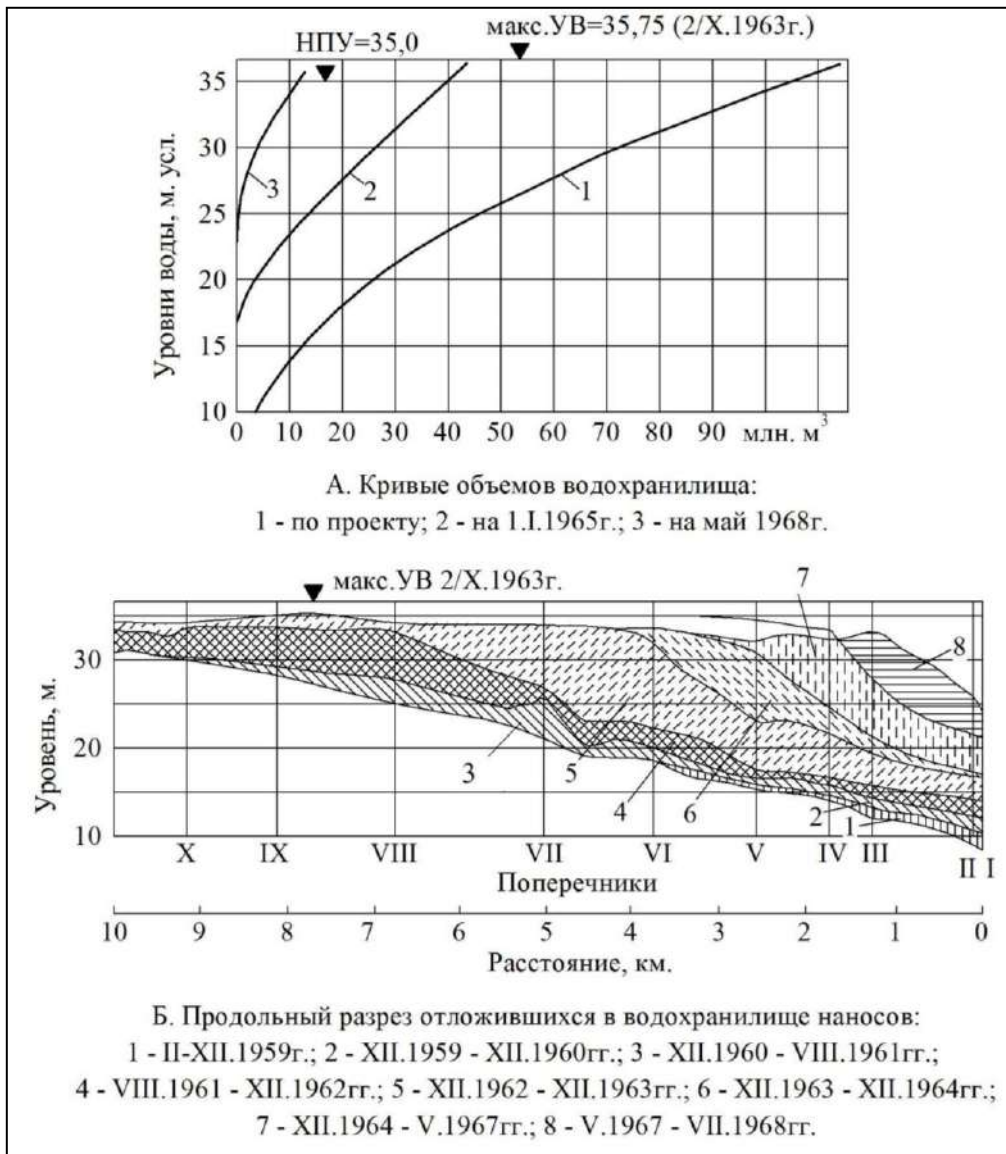


Рис. 15.5. Показатели заиления Чир-Юртского водохранилища [645]

гравием (6 %).

Наполнение Чир-Юртского водохранилища начали в марте 1959 г., к концу 1961 г. оно было наполнено до НПУ и пущены агрегаты ГЭС. За период с 1959 г. по 1964 г. чаша водохранилища заполнилась наносами более чем на 60 % объема, к 1968 г. (за 9 лет эксплуатации) оно почти полностью (на 95 млн м<sup>3</sup>) заилилось, свободная емкость в июле 1968 г. составляла только 13 млн м<sup>3</sup> (рис. 15.15Б). В верхней части водохранилища отложились гравий, галька и валуны, а в нижней – песчано-глинистые частицы.

В процессе заиления водохранилища проявилась рельефообразующая роль мелководной растительности: камыша, осоки, тростника, рогоза, ивы. Во время паводка заросли в его верховье и средней зоне на островах у берегов уменьшали скорость потока воды, тем самым определяли осаждение влекомых и взвешенных наносов. В таких местах происходило быстрое нарастание берегов водохранилища [673].

В связи с заилением водохранилища осложнилась эксплуатация Чир-Юртской ГЭС. В августе 1968 г. была предпринята очистка водохранилища от отложившихся наносов путем глубокого промыва [675]. Водоохранилище сработало через донные отверстия водосброса от уровня 34,0 м до 22,0 м за 2,5 суток со скоростью снижения уровня 0,2 м/час при расходе реки от 1 000 до 400 м<sup>3</sup>/с. По всей длине водохранилища было смыто до 8 млн. м<sup>3</sup> наносных отложений, промывка оказалась относительно эффективной, хотя желаемый результат полностью достигнут не был. С постройкой выше по течению р. Сулак Чиркейского, а затем Миатлинского гидроузлов в 1978 и 1985 гг. в Чир-Юртское водохранилище стала поступать осветленная вода и процесс интенсивного заиления прекратился. Периодически проводимыми мероприятиями по удалению наносов с помощью земснаряда наряду с гидравлическими промывками в пределах двухметровой призмы сработки поддерживается регулирующий объем 7 – 8 млн м<sup>3</sup> [130].

## **15.2. Осадконакопление в чашах больших равнинных водохранилищ**

**Каскад волжских водохранилищ** привел к уменьшению стока наносов р. Волги. До его создания среднегодовая мутность воды в верховье реки у г. Твери составляла около 20 мг/л, а в низовье у с. Лебяжьего – до 120 мг/л. После создания каскада среднегодовое содержание взвесей в потоке воды у

г. Астрахани снизилось до 29 мг/л, а сток наносов уменьшился от 19,3 млн т/год до 7,8 млн т/год [238].

С 1950-х гг. началось изучение осадконакопления в Волжских водохранилищах [336]. За время существования каждого проведено от 3 до 6 грунтовых съемок с интервалами от 3 до 25 лет между съемками [92; 233; 234; 236; 238; 239; 246].

Съемки проводились по единой методике [238]. В полевых условиях определялись типы, мощность и распределение осадков. Местоположение станций на акватории определялось пеленгованием на береговые ориентиры. Пробы грунта отбирались трубкой ГОИН, а на обсохших мелководьях в шурфах. Для определения величин осадконакопления каждое водохранилище делилось на плесы (районы) и участки (от 1 на Саратовском до 20 на Рыбинском), в пределах которых однородны условия седиментации взвесей. Для каждого участка определялась средняя высота слоя отложений, затем вычислялся их объем. Общий объем отложений водохранилища равнялся сумме объемов отложений всех участков. Вычислялся вес (масса) донных отложений как сумма произведений объемов различных типов отложений на их плотность. Возможная ошибка расчета осадконакопления предполагалась 10 – 20 % [92; 238]. По результатам съемок рисовались карты (плановые схемы) грунтовых комплексов водохранилищ. Такие карты составлены по всем водохранилищам на р. Волге, что названо одним из главных достижений исследователей [238]. Планы мощностей донных отложений не строились.

Исследования донных отложений волжских водохранилищ, обобщенные и согласованные между собой В. В. Законновым в 2007 г. [238], а также Цимлянского водохранилища [105; 292] и других [203], позволили выявить некоторые закономерности процесса осадконакопления.

**Формирование грунтового комплекса водохранилища** начинается с момента его заполнения, а исходным материалом служит почвенный покров территории, занятой водоемом. Под воздействием физических и биохимических процессов из первичных грунтов и поступающих в водохранилище и образующихся в нем грунтообразующих материалов (затопленные почвы и растительность, аллювиальные наносы, продукты размыва берегов и дна, продукты жизнедеятельности и остатки животных и растительных организмов, населяющих водную толщу) формируются донные отложения водохранилища.

Свойства донных отложений определяются характером грунтообразу-

ющего материала и гидродинамической активностью водной массы водохранилища. В русловых водохранилищах преобладающая форма гидродинамической активности – стоковые течения. Они переносят взвешенный материал, размывают подстилающий грунт (при достаточных для этого скоростях) и сортируют частицы по крупности. В водохранилищах озерного типа основная форма гидродинамической активности – ветровое волнение. При волнении знакопеременные перемещения водной массы вдоль поверхности дна вызывают турбулизацию придонного слоя и размыв грунта на участках с глубинами, меньшими глубин размывающего действия волн.

На рис. 15.6 показано распределение глубин размывающего действия волн, наблюдающихся на акватории Рыбинского водохранилища при ветре 20 м/сек., который не ежегодно, но отмечается, а на рис. 15.7 – результаты размыва. Размыв берегов и мелководных участков под воздействием волнения приводит к формированию песчанистых отложений. Наиболее мелкие и легкие частицы удаляются из зоны воздействия волнения и откладываются на участках, где влияние волнения ослаблено глубиной, формируя илистые отложения. В образовании всех илов принимают участие остатки затопленной наземной растительности, водной фауны и флоры, продукты ветрового переноса [92].



Рис. 15.6. Схема распределения глубин размывающего действия волн при ветре 20 м/с в условиях Рыбинского водохранилища: 1 – 7 м, 2 – от 7 до 8,5 м, 3 – от 8,5 до 10 м [92]

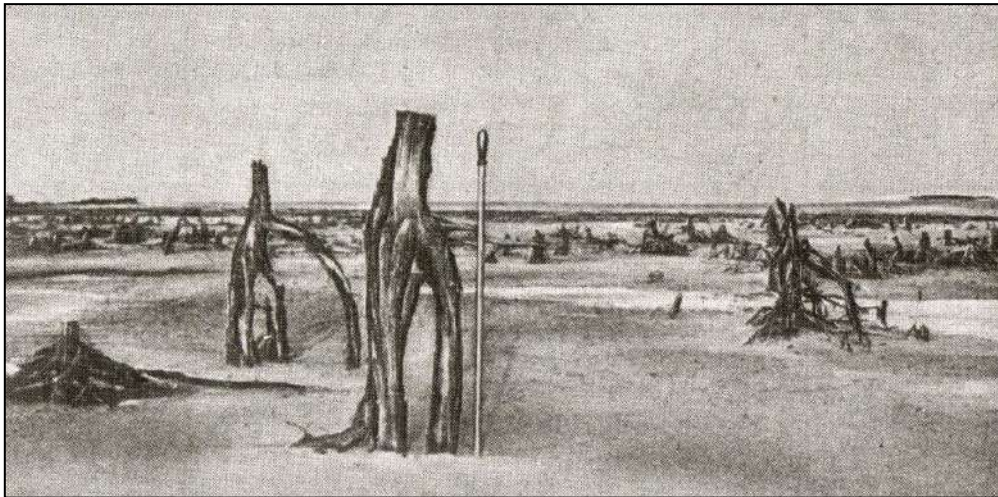


Рис. 15.7. Корни спиленных при подготовке ложа сосен, обнажившиеся в результате размыва мелководья в расширенной части Волжского плеса Рыбинского водохранилища. 1960-е гг. [92]

**Распределение донных отложений по площади** в волжских водохранилищах подчиняется единым закономерностям. На русловых участках преобладают пески различной крупности. В местах перехода русловых участков в долинные получают развитие песчаные серые и серые илы аллювиального происхождения. В озерных частях и в приплотинных участках преобладают илистые отложения. Резких границ между типами отложений не существует [92; 232; 238].

По материалам зондирования максимальное количество отложений отмечается в литорали, так как основное грунтообразование происходит за счет эрозионно-абразионных процессов. На мелководьях накапливается 45 – 60 % поступающего в водохранилище крупнодисперсного осадочного материала.

Максимальная толщина слоя осадков, зарегистрированная к 1990-м гг., в Иваньковском водохранилище составляла 1,20 м, в Угличском – 0,85 м, в Рыбинском – 3,00 м, в Горьковском – 0,96 м, в Чебоксарском – 1,10 м, в Куйбышевском – 1,20 м, в Саратовском – 0,65 м и в Волгоградском водохранилище – 0,85 м [238].

**Расчетный баланс взвешенного вещества** в волжских водохранилищах за многолетний период указывает на то, что 57 – 87 % массы материала, формирующего донные отложения, поступает в эти водоемы за счет абразии берегов и ложа, на долю речных наносов приходится 10 – 40 % взвешенного вещества, атмосферные осадки и продукция гидробионтов дают 1 – 7 %. В расходной части баланса на долю осадконакопления приходится 62 – 96 %,

а сброс через гидроузлы составляет от 4 % до 38 % массы взвесей (табл. 15.3).

Таблица 15.3

**Балансовые характеристики массы взвешенных наносов  
волжских водохранилищ [232]**

Водохранилище	Период, годы	Приход, %			Расход, %	
		Абразивная деятельность	Сток речных наносов	Производство гидробионтов	Сброс через гидросооружения	Осадконакопление
Иваньковское	1937 – 90	63	30	7	30	70
Угличское	1940 – 91	57	40	3	38	62
Рыбинское	1941 – 94	87	10	3	4	96
Горьковское	1955 – 99	65	32	3	16	84
Чебоксарское	1991 – 01	61	36	3	37	63
Куйбышевское	1961 – 02	85	14	1	5	95
Саратовское	1967 – 06	67	32	1	31	69
Волгоградское	1959 – 00	73	26	1	20	80

**Механический состав донных отложений** волжских водохранилищ характеризуется почти полным отсутствием частиц больше 0,5 мм и содержанием органического вещества от 0,5 % у песков до 10 – 30 % у песчаных серых и серых илов и до 70 % у торфянистого ила. Плотность донных отложений при натуральной влажности от 0,15 г/см<sup>3</sup> у торфянистого ила до 1,01 г/см<sup>3</sup> у илистого и 1,53 г/см<sup>3</sup> пылеватого песков [92]. Причем, в Рыбинском водохранилище, годовая слоистость или увеличение плотности с увеличением толщины слоя отложений не прослеживается, что обусловлено трансседиментацией отложений, вызываемой волновым воздействием на дно водоема.

В табл. 15.4 приведены сведения об интенсивности осадконакопления по каждому из волжских водохранилищ в разные периоды времени.

Материалы табл. 15.4 указывают на то, что относительно интенсивная стадия формирования и накопления наносов в первые 2 – 3 десятилетия существования водохранилищ сменилась затем на пассивную стадию [232].

Из-за вытянутости Волжского каскада в меридиональном направлении и пересечении водохранилищами нескольких природно-климатических зон проявилась географическая зональность осадкообразования. Она выражается в увеличении темпов седиментации в среднем по водохранилищам с севера на юг (см. табл. 15.4). Это происходит благодаря повышению

концентрации взвесей из основных источников (абразии берегов и ложа, стока взвешенных наносов притоков), обусловленной увеличением к югу продолжительности периода открытой воды, продолжительности скоростей ветра более 15 м/с, количества пыльных бурь и пр.

Таблица 15.4

**Интенсивность осадконакопления в водохранилищах Волжского каскада, средняя за временные периоды [232]**

Водохранилище	Период, годы	Интенсивность седиментации	
		мм/год	кг/м <sup>2</sup> в год
Иваньковское	1937 – 1957	3,0	2,1
	1957 – 1990	2,2	2,0
Угличское	1940 – 1958	3,8	1,8
	1958 – 1991	1,7	1,8
Рыбинское	1941 – 1955	9,2	6,0
	1955 – 1992	2,1	2,3
Горьковское	1955 – 1980	3,3	2,4
	1980 – 1999	2,1	1,7
Чебоксарское	1981 – 1991	1,3	1,5
	1991 – 2001	3,2	3,9
Куйбышевское	1955 – 1983	6,1	3,8
	1983 – 2002	2,5	1,8
Саратовское	1967 – 1985	4,7	6,3
	1985 – 2006	3,2	2,9
Волгоградское	1958 – 1985	5,4	4,7

В трудах В.В. Законнова анализ природных данных о донных отложениях волжских водохранилищ принял перманентный характер [231; 232; 235; 237; 238]. Результаты грунтовых съемок оцифрованы и представлены в ГИС [235; 405]. Подтверждена стабилизация грунтовых комплексов. Написано, в частности, что карта отложений Куйбышевского водохранилища, составленная по геоинформационной схеме для 2002 г., будет актуальна до 2035 г. [235].

Итог исследований утешителен: интенсивность осадконакопления в водохранилищах Волжского каскада, измеренная за время их эксплуатации величиной 1,7 – 5,4 мм/год, исключает существование проблемы полного заиления этих водоемов на ближайшую тысячу лет [92; 238].

**Цимлянское водохранилище** на р. Дону расположено в степной физико-географической зоне. Эксплуатируется с 1952 г. В этом водохранилище грунтовые съемки проводились в 1970, 1972, 1973 гг. Предпринимавшиеся попытки создания плановой схемы мощностей донных отложений не

увенчались успехом, т.к. результаты грунтовых съемок, проведенных в разные годы, с трудом согласовывались между собой. В связи с этим было выполнено лишь седиментационное районирование водоема с определением для каждого района средней мощности осадков и площади дна, покрытой ими (рис. 15.8). В основном донные отложения, накопившиеся к 1973 г., были приурочены к понижениям рельефа – руслам различного генезиса, бывшим озерам, лопатинам, лиманам, мочажинам, музгам. На ровных поверхностях донской поймы отложения наблюдались при сочетании двух факторов: больших глубин и близости источника осадконакопления. В противном случае дно оставалось незаиленным, что отмечалось во многих местах глубоководья Центральной и Приплотинной акваторий. Грунтовый комплекс в озеровидной части водохранилища (ниже Рычковского сужения) по состоянию на 1973 г. выглядел следующим образом: почвы – 367 км<sup>2</sup>, пески – 298 км<sup>2</sup>, суглинки – 365 км<sup>2</sup>, илы – 996 км<sup>2</sup> [292].

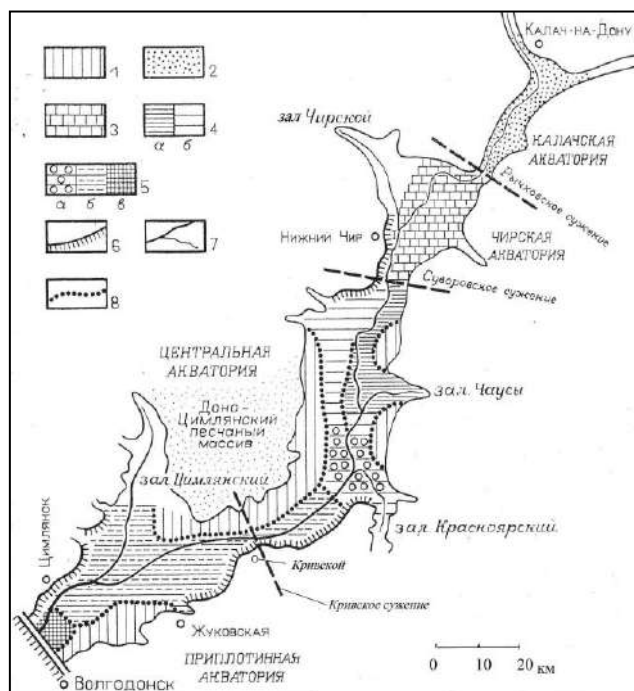


Рис. 15.8. Схема седиментационного районирования Цимлянского водохранилища по состоянию на 1973 г.:

районы: 1 – волнового размыва дна; 2 – транзита алеврит-пелитового и аккумуляции песчаного материала твердого стока Дона; 3 – аккумуляции твердого стока Дона и материала волнового размыва дна; 4 – аккумуляции и трансседиментации твердого стока Дона и материала волнового размыва мелководий левого берега: а – восточный участок, б – западный участок; 5 – аккумуляции продуктов абразии берегов и дна: а – участок низких темпов осадконакопления, б – срединный участок, в – участок наибольших темпов осадконакопления; 6 – аккумуляции в подводных отмелях; 7 – аккумуляции в руслах Дона и его притоков; 8 – границы выделенных седиментационных районов [292]



Расчет заиления Цимлянского водохранилища по балансовому методу за период 1952 – 1995 гг. дал следующие показатели: поступление взвешенных и влекомых наносов по руслу Дона в створе г. Калач-на-Дону – 98,0 млн м<sup>3</sup>; поступление наносов с боковой приточностью – 17,4 млн м<sup>3</sup>; поступление в водохранилище материала переформирования берегов – 610,99 млн м<sup>3</sup>; отток наносов через сооружения Цимлянского гидроузла – 4,7 млн м<sup>3</sup>; общий объем заиления 731,09 млн м<sup>3</sup> [112]. К 2010 г. объем заиления оценивался в 890 млн м<sup>3</sup>. При этом не учтено зарастание примерно 48 км<sup>2</sup> акватории в пределах отметок 34,0 – 34,6 м БС древесно-кустарниковой растительностью, что привело к дополнительному уменьшению полезного объема водохранилища на величину порядка 23 млн м<sup>3</sup> [503].

В табл. 15.5 выписаны значения интенсивности заиления Цимлянского водохранилища, усредненные за разные периоды времени.

Таблица 15.5

**Интенсивность осадконакопления в Цимлянском водохранилище**  
[112; 292; 503]

Период, годы	Осадконакопление		
	млн м <sup>3</sup>	млн м <sup>3</sup> /год	см/год
1952 – 1957	98,7	19,74	0,73
1952 – 1972	248,8	12,44	0,46
1980	–	15,7	0,58
1980 – 1995	–	16,6	0,61
1952 – 1995	731,09	17,0	0,63
1952 – 2010	890,0	15,34	0,57

Особенностью этого водоема является то, что интенсивность его заиления от начала наполнения до 1980 г. снижалась, но в 1980 – 1995 гг. вновь повысилась. Это связывают с высокими уровнями наполнения водохранилища, достигавшими в 1981 г. 36,0 м БС, а в 1987, 1988, 1990, 1991, 1995 гг. – 35,17–35,89 м БС и превышавшими уровень наименьших береговых деформаций 35,0 м БС [292].

За период 1952 – 2010 гг. интенсивность осадконакопления в Цимлянском водохранилище составила в среднем 5,7 мм/год. Она выше, чем в водохранилищах Волжского каскада, но в относительном измерении мала, что также отодвигает проблему заиления его полного объема на тысячелетие.

При несущественных темпах осадконакопления в практике эксплуатации больших равнинных водохранилищ имеются примеры траты средств федерального бюджета на **расчистки от заиления** их отдельных участков с

разными целями. Так, в 2005 г. выполнялись работы по расчистке и углублению заиленных и заросших заливов Иваньковского и Угличского водохранилищ [658].

### **15.3. Заиление малых водохранилищ**

Известно, что проблема заиления по всему миру более актуальна для водохранилищ малого объема [485].

В 1960 – 1970-е гг. исследованиями заиления были охвачены многие малые водохранилища и пруды лесостепной и степной зон России и сопредельных республик бывшего СССР [24; 203; 223; 292; 403; 404; 505; 506; 507; 516; 517; 518; 678; 713]. Исследования сводились к определению накопившихся в них наносов путем промеров глубин и зондирования отложений [506]. Это был верный способ, который в настоящее время на малых водоемах применяется редко, вытесненный констатацией объемов заиления на основе визуальных осмотров.

Основным источником отложений в малых водохранилищах равнин служит привнос материала речным стоком, некоторое его количество поступает от обрушивающихся берегов, кроме того – от отмершей водной растительности и продукции биотопов. Заиление малых водохранилищ идет от верховьев к плотине (так же, как и больших). В верховьях водохранилища осаждение грунтообразующего материала происходит за пределами русловой ложбины преимущественно в понижениях ложа. Большая часть взвесей транзитом по русловой ложбине поступает в приплотинную зону. Мощность отложений в приплотинной зоне связывается с проточностью водохранилищ: с увеличением водообмена мощность донных отложений уменьшается. Для малых водохранилищ характерно распространение трех типов осадков: песчано-илистых, илов и грунтов. Занесение и заиление происходит с различной интенсивностью. В залесенной местности оно протекает относительно медленно. Под влиянием хозяйственной деятельности процесс осадконакопления интенсифицируется. При эрозионном смыве почвы с распаханых водосборов водохранилища заливаются быстро [713]. Интенсивность заиления малых водохранилищ, также как и больших, возрастает с севера на юг [505].

В 2000-е годы ННГАСУ проведены натурные изыскания количества донных отложений 37 малых водохранилищ на реках правобережья и

левобережья Волги в Нижегородской, Пензенской, Кировской областях и Удмуртской республике [303; 571; 592; 593]. Некоторые расположены каскадами, например, водохранилища на территории ЗАТО г. Саров, Выксунские водохранилища в бассейне р. Железницы. Годы постройки от 1759 до 1987, сроки эксплуатации до проведения изысканий от 241 года до 17 лет. Условия на водосборах от полностью залесенной местности до преобладания городской застройки. Полные объемы водоемов 0,0075 – 85,0 млн м<sup>3</sup>, площади зеркала 0,0056 – 26,40 млн м<sup>2</sup>, соответственно 27 из них относятся к прудам, 9 – к малым водохранилищам, а 1 (Пензенское водохранилище) по объему равному 560 млн м<sup>3</sup>, немного выходит за пределы категории «малое».

На большинстве исследованных малых водохранилищ изыскания проводились в летний период с лодки. По некоторым водоемам ситуация с заилием оценивалась на осушенном ложе. Опорожнение могло быть плановым, либо аварийным. Так, Досчатинское водохранилище на р. Железнице объемом 7,5 млн м<sup>3</sup>, построенное в конце 1700-х гг. при железоделательном заводе у г. Выксы Нижегородской губернии, в 2001 г. было полностью опорожнено из-за прорыва напорного фронта гидроузла. К 2005 г., за 5 лет стояния осушенного ложа водохранилища, река промыла в нем меандрирующее русло, вычленив в обрывистых берегах слои отложений. Это позволило зафиксировать толщину слоя во многих местах, при плоском ложе по всей его площади она оказалась практически одинаковой – 0,8 м (рис. 15.9). На Воткинском (на р. Вотке), Ижевском и Пензенском водохранилищах изыскания проводились в зимний период со льда.

Примером из нашей практики приводим **Пензенское водохранилище** на р. Суре построенное в 1979 г. (см. раздел 14.7, рис. 14.58). По проекту нормальный подпорный уровень водохранилища 150,00 м БС, максимальная глубина 16 м. Изыскания проведены по 29 створам, расположенным примерно в 1 км один от другого. Вскрытие донных отложений производилось с помощью скважин ручного бурения диаметром 76 мм, располагавшихся в створах с шагом 250 м. Бурение велось в марте-апреле 2005 г. и феврале 2006 г. с поверхности льда. Всего было пробурено 225 скважин глубиной до 15,2 м общим метражом 875,2 м. Из скважин отбирались образцы нарушенной структуры массой около 1 кг по всей мощности донных осадков. Всего было отобрано 217 проб на спектральный анализ, проводившийся в составе работ. Параллельно с бурением скважин по тем же створам велась георадарная съемка дна с фиксацией границ снег–лед–вода–ил – коренное ложе на глубину до 8 – 9 м. Данные о глубине водохранилища и мощности

ила снимались с радарограмм через каждые 25 м, т.е. в 10 раз чаще, чем с буровых скважин. Протяженность георадарных профилей составила 71,1 км. Сходимость результатов бурения и георадара получилась достаточно высокая. Разбивка временных створов, совмещенных с ними геофизических профилей, пунктов бурения скважин проводилась по топографическому плану 1:25000 с помощью GPS-приемника вместе с промерами мерными лентами и вешением. Ввиду отсутствия помех на акватории сигнал был стабильно хороший. Точность определения координат концов профилей составила 2 – 3 м.



Рис. 15.9. Осушенное ложе Досчатинского водохранилища на р. Железнице, 2005 г.: общий вид и срез слоя донных отложений

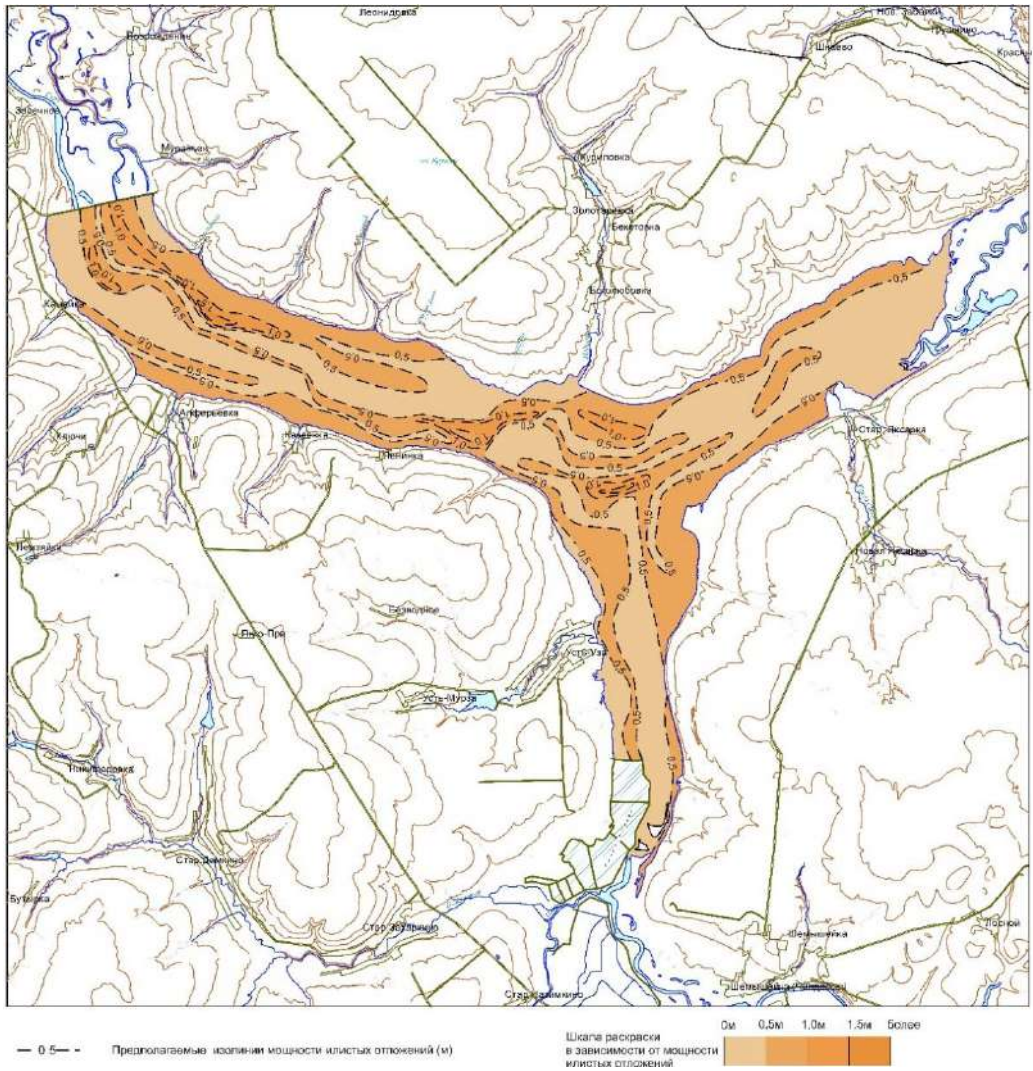


Рис. 15.10. Карта мощности донных отложений Пензенского водохранилища на р. Суре [303]

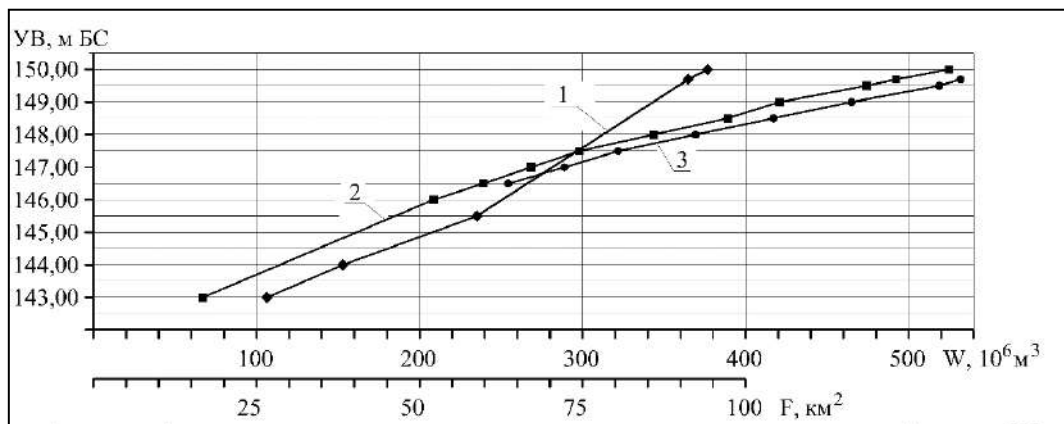


Рис.15.11. Кривые объемов  $W$  и площадей зеркала  $F$  Пензенского водохранилища: 1 –  $F$  по изысканиям на июль 2005 г.; 2 –  $W$  по изысканиям на июль 2005 г.; 3 –  $W$  по проекту [303]

По результатам георадарной съемки в комплексе с данными бурения для Пензенского водохранилища построены карты глубин, рельефа дна, рельефа коренного ложа, мощности илов (рис. 15.10) в границах береговой линии при УВБ = 149,70 м БС на июль 2005 г., когда была выполнена топографическая съемка береговой полосы. В табл. 15.6 представлены результаты определений, а на рис. 15.11 – кривые объемов и площадей зеркала водохранилища. Из этих данных видно, что объем водохранилища при УВБ = 149,7 м БС за 26 лет эксплуатации уменьшился с 531,94 до 492,5 млн м<sup>3</sup>, т.е. на 39,44 млн м<sup>3</sup>, или на 8 %, объем донного ила в водохранилище составил 46,2 млн м<sup>3</sup>, а средняя интенсивность заиления за период эксплуатации – 2 см/год [303].

Таблица 15.6

**Распределение илов в чаше Пензенского водохранилища, 2005 г. [303]**

Мощность ила, м	Площадь участка, млн м <sup>2</sup>	Средняя мощность ила, м	Объем ила, тыс. м <sup>3</sup>
< 0,5	48,35	0,25	12,089
0,5 – 1,0	38,63	0,75	28,976
1,0 – 1,5	3,73	1,25	4,673
> 1,5	0,28	1,7	0,482
Всего	90,99	–	46,220

Интенсивность заиления исследованных малых водохранилищ уложилась в диапазон 0,18 – 1,9 см/год или 0,047 – 0,68 %/год от полного объема; прудов – 0,089 – 3,9 см/год или 0,04 – 1,9 %/год от объема. Среднегодовой объем заиления зависит от объема и продолжительности эксплуатации водоемов [506; 592].

Чтобы уменьшить занесение и заиление малых водохранилищ кое-где проводят мероприятия, направленные на устранение процессов эрозии на водосборах питающих их рек. Наиболее радикальными мерами являются лесонасаждение, закрепление склонов, горно-мелиоративные работы, ограничение выноса, задержание наносов в оврагах и боковых притоках фильтрующими дамбами и небольшими плотинами [534]. Однако, рано или поздно, даже при соблюдении известных мер охраны, заилившиеся малые водохранилища и особенно пруды могут потребовать удаления донных отложений. Извлечение ила из осушенных прудов осуществляют землеройными машинами, в том числе зимой, а из наполненных водой – средствами гидромеханизации. Во многих случаях донные илы оказываются пригодными для удобрения сельскохозяйственных полей [569].

## 15.4. Всплытие затопленных торфяников

**Торфяники** являются продукцией болот. Каждое болото – это торфяник, но не каждый торфяник обязательно является болотом. Когда болото обсохло и в нем торф больше не накапливается, оно может называться торфяником, но уже не является болотом.

На больших водохранилищах лесной зоны над затопленными болотами в начальный период эксплуатации появлялись плавающие торфяные острова площадью до сотен гектаров. При всплывании торфа образовывались замкнутые углубления различных размеров в 3 – 4 м глубиной. Они заполнялись песчаными и иловыми осадками, участвуя в формировании подводного рельефа.

Одной из основных причин всплытия торфяников является интенсивное газообразование в их толщах, обусловленное жизнедеятельностью анаэробных микроорганизмов. Наиболее интенсивно газообразование происходит в слаборазложившихся торфах. При прочих равных условиях торфяники в зонах мелководий всплывают более интенсивно, чем в глубоких местах, а на глубинах более 10 м их всплывания обычно не бывает. На водохранилищах с сезонным регулированием стока всплывание торфов наблюдалось в весеннее время [673]. При сработке уровня водохранилищ ледовый покров ложился на дно и смерзался с торфом. В период весеннего наполнения этот лед отрывал торфяник и поднимал на поверхность.

Процессы всплывания торфяников наблюдались на волжских и камских водохранилищах.

На Рыбинском водохранилище за первый четыре года эксплуатации было насчитано более 1 100 га (11,0 км<sup>2</sup>) плавающих торфяных островов площадью от 0,2 до 0,9 га каждый [673]. В 1946 г. пароход «Рульков» с караваном барж, застигнутый сильным ветром, встал на якорь и через несколько часов был поднят из воды всплывшим торфяным массивом. Для снятия парохода с плавучего острова потребовалось спасательное судно [510]. В мае 1947 г., когда уровень водохранилища достиг отметки 117 м, всплывшие торфяные поля двинулись к гидроузлу. Площадь самого крупного плавающего острова превышала 3 км<sup>2</sup>, толщина – 2,5 м. Многие торфяные поля осели на отмелях, но в 1951 г., когда водохранилище было наполнено до уровня 117,25 м, вновь всплыли. Попытки буксировать их пароходами успехом не увенчались. Пришлось некоторые поля взрывать [108]. Общая

площадь торфяников, всплывших к 1965 г., составляла около 100 км<sup>2</sup>, из которых 40 % было уже разрушено волнами [92]. Во время штормов всплывший торф в больших количествах выбрасывался на низкие песчаные берега. На некоторых участках вдоль береговой линии из него формировался вал высотой 1 м и шириной от 2 – 3 до 20 – 30 м [673]. Значительная доля всплывшего торфа попадала в нижний бьеф и прослеживалась до г. Ярославля, находящегося в 80 км ниже плотины Рыбинской ГЭС [510].

Камским водохранилищем в долине р. Камы и ее притоков затоплено более 52 тыс. га торфяных болот (рис. 15.12). В 1954 – 1956 гг. на водохранилище было зафиксировано 30 плавающих торфяных островов. Самый большой из них, покрытый кустарником и молодым березняком, достигал в длину 4 км и в ширину 0,8 км. Острова приходилось буксировать на мелководья и закреплять там при помощи свай [510; 673].

В ложе Куйбышевского водохранилища было разведано 32,5 тыс. га торфяных болот. По этому поводу докладная записка в СНК Союза СССР от 15 мая 1939 г. гласила: «Учитывая, что в зоне затопления и подтопления расположено 88 уже исследованных торфоболот общей площадью в 9 000 га с запасом сырца 129,5 млн куб. м, или 21 млн т воздушно-сухого торфа, и 313 еще не исследованных болот с общей площадью в 23,5 тыс. га, в течение лета 1939 г. произвести исследования всех торфоболот в зоне затопления и наметить мероприятия по добыче, использованию и предупреждению от всплывания массивов» [230].

По Чебоксарскому водохранилищу площадь затопления торфяных месторождений при отметке НПУ = 68,0 м составляет 12,4 тыс. га с объемом торфа-сырца 151,5 млн м<sup>3</sup>. Прогнозом определена площадь возможного всплывания 1,4 тыс. га торфяников с объемом 12,4 млн м<sup>3</sup>. За время эксплуатации водохранилища при существующей отметке ВПУ = 63,0 м всплывания торфа не наблюдалось. Наиболее опасными с точки зрения всплывания при НПУ = 68,0 м являются торфяные месторождения Ветлужско-Волжского геоморфологического района [441].

Всплытие торфяников происходило на водохранилищах Сибири и северо-востока России.

На Усть-Хантайском водохранилище в заполярье по мере его заполнения с 1971 г. начали всплывать мерзлые и талые торфяники мощностью от 1 – 2 до 4 – 5 м. К 1972 г. количество дрейфующих торфяных островов по некоторым оценкам доходило до тысячи. Они концентрировались в многочисленных заливах на расстояниях 50 – 200 м от берегов [185]. Объем



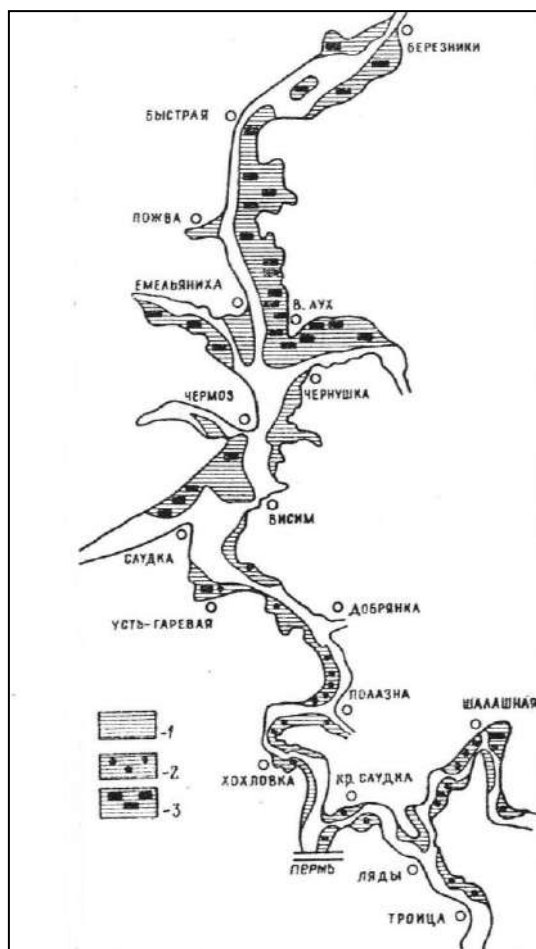


Рис. 15.12. Схема расположения болот и мест всплывания торфяников на Камском водохранилище: 1 – массивы болот; 2 – места всплывания торфяников в 1954 – 1955 гг.; 3 – то же в 1960 г. [7]

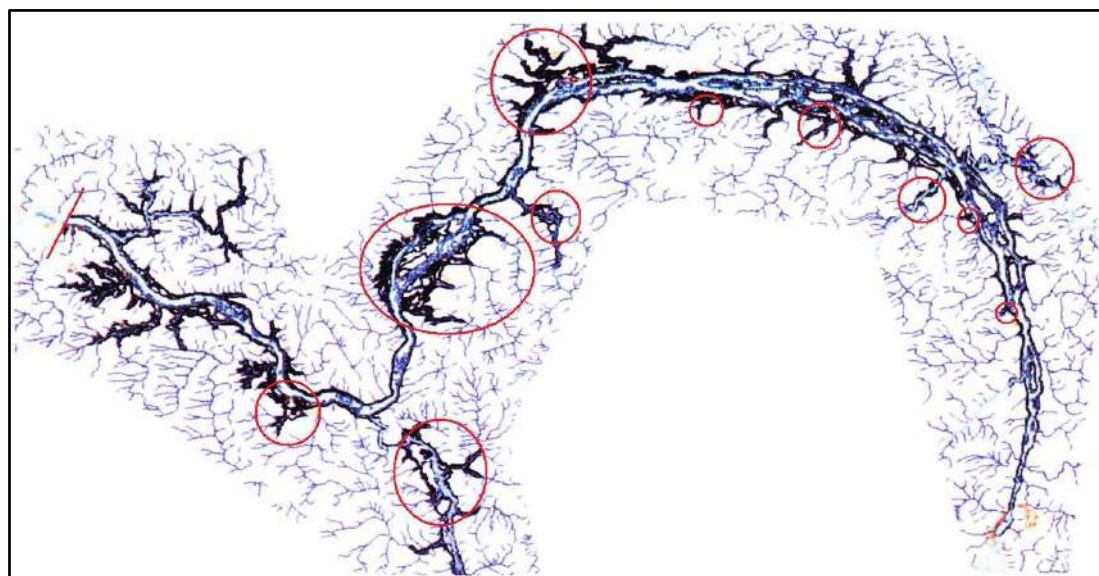


Рис. 15.13. Схема Богучанского водохранилища с отмеченными местонахождениями болот в зоне затопления [281]

всплывших торфяников составил примерно 480 млн м<sup>3</sup> – около 2 % объема водохранилища [330].

Курейским водохранилищем площадью зеркала 558 км<sup>2</sup> затоплено 5 109 га торфяных месторождений, из которых по проекту за 20 лет эксплуатации, считая от 1989 г., должно было всплыть 1 713 га торфяников объемом 18 109 тыс. м<sup>3</sup>. От полного объема водохранилища 9,96 км<sup>3</sup> это 0,18 %.

В зоне водохранилища Богучанской ГЭС на р. Ангаре (2 326 км<sup>2</sup>) находились болота общей площадью 7 682 га с запасом торфа более 80 млн м<sup>3</sup> (рис. 15.13). Из них на глубинах до 2,5 м – 491 га, 2,6 – 5,0 м – 252 га, 5,1 – 10,0 м – 1 578 га, более 10 м – 5 361 га, то есть большая часть в глубоководном положении. В районах всплывания предполагалось поднятие 552 га торфа объемом 4 461 тыс. м<sup>3</sup> при средней мощности слоя 0,8 м [281]. Наполнение водохранилища начали весной 2021 г., ГЭС приняли в постоянную эксплуатацию в 2015 г., о всплытии торфяников опубликованной информации пока не было.

На Чукотке в Анадырском водохранилище площадью 1,47 км<sup>2</sup> через 48 лет эксплуатации (в 2008 г.) у термокарстовых берегов плавали торфяные острова размерами до 200 × 400 м и толщиной до 1 м, покрытые травяной растительностью (рис. 15.14). Всплывание торфяников происходит по мере оттаивания содержащихся в них ледяных жил, затем они разрушаются волнами [324].



Рис. 15.14. Плавающие торфяные поля в Анадырском водохранилище [324]

Всплытие торфяников на северных водохранилищах не оказалось столь массовым, каким ожидалось по прогнозам [335].

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## Книга 1

<b>Введение</b>	3
<b>Часть 1. Назначение и использование водохранилищ</b>	17
Глава 1. Водообеспечение, водохозяйственные комплексы	19
Глава 2. Водоснабжение и водоотведение	24
2.1. Водоснабжение промышленности, сельского хозяйства и населения	24
2.2. Отведение сточных вод	33
2.3. Личные потребности человека	39
Глава 3. Гидроэлектроэнергетика	44
3.1. Энергетика в России	44
3.2. Тепловые, атомные, гидравлические электростанции и их воздействие на окружающую среду	48
3.3. Гидроэлектроэнергетика больших рек	60
3.4. Утилизация водной энергии малых рек	72
3.5. Возможности нетрадиционной электроэнергетики	76
Глава 4. Водный транспорт	85
4.1. Виды транспорта в России	85
4.2. Внутренний водный транспорт в российской транспортной отрасли	99
4.3. Единая глубоководная система в европейской части и водные пути на востоке страны	105
Глава 5. Гидромелиорация	115
5.1. Обводнение и орошение земель	115
5.2. Рекомендация ЮНЕСКО	121
Глава 6. Рыбное хозяйство	123
6.1. Рыбы на столе	123
6.2. Внутренние рыбопромысловые бассейны	127
6.3. Рыбохозяйственное использование водохранилищ	137
Глава 7. Защита от наводнений	147
7.1. Наводнения в поймах рек	147

7.2. Противоаварийная функция водохранилищ	155
Глава 8. Рекреация	165
8.1. Рекреационное значение водохранилищ	165
8.2. Туризм на объектах гидроэнергетики	175
Глава 9. Другие отрасли	179
9.1. Добыча полезных ископаемых в зонах водохранилищ	179
9.2. Возможности вовлечения в экономическую деятельность мелководий водохранилищ	184
9.3. Транспорт воды	190
<b>Часть 2. Взаимодействие водохранилищ с окружающей         средой</b>	<b>193</b>
Глава 10. Водоохранилища как природно-техногенные объекты	195
Глава 11. Затопление земель водохранилищами	208
11.1. Морфологические и морфометрические особенности чаш водохранилищ	208
11.2. Показатели затопления земель водохранилищами	212
11.3. Примеры затоплений	219
Глава 12. Водный режим водохранилищ при регулировании стока	226
12.1. Регулирование стока водохранилищами	226
12.2. Уровненный режим водохранилищ	229
12.3. Водный баланс водохранилищ	235
12.4. Водный режим нижних бьефов гидроузлов	243
Глава 13. Гидрологические процессы в водохранилищах	257
13.1. Течения, водообмен	257
13.2. Волновые явления	262
13.3. Температурный режим водохранилищ	268
13.4. Ледовые явления	273
13.5. Температурный режим нижних бьефов ГЭС	280
Глава 14. Формирование берегов водохранилищ	286
14.1. Разрушение берегов рек и морских берегов	286
14.2. Общие данные о переформировании берегов водохранилищ	280
14.3. Типы берегов водохранилищ	292
14.4. Закономерности формирования абразионных берегов равнинных водохранилищ	301
14.5. Примеры многолетнего переформирования абразионных берегов больших водохранилищ	314

14.6. Развитие денудационных, оползневых и закарстованных берегов водохранилищ	341
14.7. Формирование берегов малых водохранилищ	352
14.8. Деформации русел в нижних бьефах ГЭС	355
14.9. Об оценке потери земель в береговой зоне	361
Глава 15. Формирование ложа водохранилищ	363
15.1. Процесс занесения и заиления водохранилищ	363
15.2. Осадконакопление в чашах больших равнинных водохранилищ	369
15.3. Заиление малых водохранилищ	377
15.4. Всплытие затопленных торфяников	382
Продолжение в книге 2	

*Научно-техническое издание*

Соболь Станислав Владимирович

## **Водохранилища в окружающей среде**

В двух книгах

**Книга 1**

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 №1599

---

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