

**ИНСТИТУТ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
ГРУЗИНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Ирина Константиновна Иорданишвили
доктор технических наук

Константин Теимуразович Иорданишвили
кандидат технических наук

**ВОПРОСЫ ЭКО-ЭВОЛЮЦИИ
ГОРНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ ГРУЗИИ**

Издательство "Универсал"

Тбилиси

2012

© 0. 0ორღანოშვილი, რ. 0ორღანოშვილი, 2012

გამომცემლობა „უნივერსალი“, 2012

თბილისი, 0179, 0. ჭავჭავაძის გამზ. 19, ტლვ. 2223609, 899172230

E-mail: universal@internet.ge

ISBN

**საქართველოს მთის წყალსაცავების
ეკო-ევოლუციის საკითხები
ანოტაცია**

მონოგრაფიაში განხილულია მთის წყალსაცავების ძირითადი მონაცემები და მათ ფუნქციონირებასთან დაკავშირებული პრობლემების კომპლექსი.

მოყვანილია მსოფლიოს წყალსაცავების და კერძოდ საქართველოს მთის წყალსაცავების შექმნის ისტორია, შემოთავაზებულია მათი კლასიფიკაცია, განხილულია შიდაწყალსატევური პროცესების თავისებურებანი. შეფასებული და გაანალიზებულია საქართველოს მთის წყალსაცავების საპროექტო და საექსპლუატაციო მონაცემები.

მონოგრაფია წარმოადგენს იმ სპეციალისტების ინტერესის სფეროს, რომელთაც შეხება აქვთ მთის წყალსაცავების სამეცნიერო-კვლევით, საძიებო, საპროექტო, სამშენებლო, საექსპლუატაციო და გარემოს დაცვის ხასიათის სამუშაოებთან, აგრეთვე სტუდენტების, მაგისტრანტებისა და დოქტორანტებისთვის, რომლებიც დაკავებული არიან მთის წყალსაცავების ეკო-ევოლუციის შესწავლის საკითხებით.

ნაშრომი განხილულია და მოწონებულია გამოსაცემად საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს სხდომაზე (№4, 09.10.2012).

მონოგრაფიის დამუშავება და გამოცემა განხორციელდა საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით (სამეცნიერო გრანტი №GNSF/STO9-622-7-105).

ავტორები დიდ მადლობას მოახსენებენ ინსტიტუტის მეცნიერ-თანამშრომლებს: მ. ვართანოვს, ე. ხოსროშვილს, ზ. ჭარბაძეს, მ. შავლაყაძეს, შ. რობაქიძეს, ლ. კეკელიშვილს, ლ. ბილანიშვილს, ლ. ჯავახიშვილს მონოგრაფიის დამუშავებისათვის.

**ВОПРОСЫ ЭКО-ЭВОЛЮЦИИ
ГОРНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ ГРУЗИИ
Аннотация**

В монографии представлен комплекс проблем, связанный с функционированием горных водохранилищ.

Рассмотрена история создания горных водохранилищ в мире и в Грузии, предложена классификация горных водохранилищ по различным показателям, описаны особенности водоемных процессов. Оценены и проанализированы проектные и эксплуатационные данные ряда горных водохранилищ Грузии.

Работа заинтересует специалистов, соприкасающихся с проблемами научных исследований, изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации горных водохранилищ, а также студентов, магистрантов, докторантов, занимающихся изучением вопросов эко-эволюции горных водохранилищ.

Работа рассмотрена, одобрена и рекомендована для публикации на ученом совете Института водного хозяйства Грузинского Технического Университета (№4, 09.10.2012 г.).

Монография разработана и издана при финансовой поддержке национального научного фонда им. Шота Руставели Министерства образования и науки Грузии (Грант №GNSF/STO9-622-7-105).

Авторы выражают признательность научным работникам института Т.В. Тевзадзе, Л.А. Итриа-швили, М.В. Вартанову, Е.З. Хосрошвили, З.Д. Чарбадзе, Ш.С. Робакидзе, Л.Г. Кекелишвили, Л.Б. Биланишвили, Л.Г. Джавахишвили, М.Л. Шавлакадзе за содействие в издании монографии.

От рецензента

В монографии рассматривается круг вопросов, связанных с проблемами, возникающими при создании горных водохранилищ. Заглавие монографии "Вопросы эко-эволюции горных водохранилищ Грузии" весьма удачно соответствует содержанию книги – комплекс наук, изучающих взаимодействие и развитие различных компонентов окружающей среды, находящихся в стадии непрерывного накопления изменений. Анализируется современное состояние горных водохранилищ с обоснованием и анализом основных условий их создания и эксплуатации.

Изложена методика прогнозирования формирования внутриводоемных процессов в горных водохранилищах. Рассматриваются также вопросы прогнозирования переработки берегов и заиления котловин горных водохранилищ.

Материал содержит ряд практических сведений о строительстве и эксплуатации горных водохранилищ. Книга представляет существенный интерес как для исследователей, проектировщиков и эксплуатационников водохозяйственных систем, так и специалистов, занимающихся проблемами водохозяйственной инженерной экологии.

Директор института водного хозяйства
Грузинского технического университета,
доктор технических наук, профессор

Г.В. Гавардашвили

Оглавление

Введение	6
I. Особенности формирования водохранилищного фонда Грузии	7
I.1. Формирование водохранилищного фонда мира	8
I.2. Краткие сведения о формировании горных водохранилищ мира	20
I.3. Формирование водохранилищных систем Грузии	25
I.3.1. Характеристика условий формирования водных ресурсов и основных компонентов водных запасов Грузии	25
I.3.2. Классификация и типизация водохранилищ Грузии и их водоподпорных сооружений	55
I.3.3. Описание основных водохранилищных систем Грузии	79
II. Особенности формирования системы "горные водохранилища – окружающая среда"	123
III. Прогнозирование развития взаимодействия водохранилищных систем с окружающей средой	144
III.1. Прогнозирование ветро-волнового режима на горных водохранилищах	144
III.2. Прогнозирование занесения горных водохранилищ Грузии.....	159
III.3. Прогнозирование переформирования берегов горных водохранилищ	167
Заключение	182
Использованная литература	183

ВВЕДЕНИЕ

Цель книги – кратко изложить основные результаты исследований авторов за последние годы в области развития науки *о горных водохранилищах*.

Расчетные зависимости предложены в простом виде для их приложения к инженерным практическим задачам. Здесь необходимо отметить исключительную заслугу основоположника изучения функционирования горных водохранилищ Грузии, доктора технических наук, профессора Н.Г. Варазашвили.

Выделение исследований горных водохранилищ – новых водных объектов – определяется особенностями морфологической ситуации и характером эксплуатационного режима. Наука по изучению горных водохранилищ, как самостоятельная область знаний, берет свое начало со второй половины XX века и продолжает интенсивно развиваться в настоящее время. Причиной тому послужила аккумуляция значительного объема воды при малом затоплении ценных земель, т.е. путем использования горных ущелий, в том числе и в Грузии, территория которой характеризуется горными и предгорными районами [И.К. Иорданишвили – 2004, 2008, 2009, 2010].

В книге изложен ряд оригинальных решений динамики прибрежных и глубоководных процессов горных водохранилищ, сопровождаемых примерами расчета наиболее распространенных в практике случаев.

Книга состоит из введения и 3-х глав.

Первая глава содержит краткие сведения о динамике формирования общего водохранилищного фонда мира, фонда водохранилищных систем Грузии и их классификацию по различным показателям. В книгу включены данные о водохранилищных системах Абхазии и Осетии, т.к. авторы оставляют надежду на их скором возвращении в состав Грузии.

Во второй главе затрагиваются вопросы особенностей трансформации и прогнозирования волновых процессов в горных водохранилищах.

В третьей главе рассматриваются вопросы прогнозирования масштабов переработки берегов и формирования наносных отложений в котловинах водохранилищ.

Все научные положения основаны на многолетних полевых исследованиях авторов на ряде малых, средних и крупных горных водохранилищ Грузии. Отдельные положения проверены на модельных стендах в гидравлической лаборатории Института Водного Хозяйства Грузинского Технического Университета.

I. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩНОГО ФОНДА ГРУЗИИ

На Международной конференции в Рио-де-Жанейро, которая состоялась в 1992 г., был намечен путь устойчивого развития человечества. Уже тогда было отмечено, что нынешний путь развития – тупиковый. Перед миром стоят проблемы нехватки продовольствия и чистой воды, загрязнения окружающей среды и перенаселенности городов, роста эмиссии парниковых газов и последствий изменения климата.

В 2012 г. на новой Международной конференции в Рио-де-Жанейро, под названием "Рио+20: будущее, которое мы хотим", была намечена основная линия кампании – "Устойчивая энергия для всех", с постановкой нового круга вопросов с сохранением и восстановлением "чистой воды" планеты.

Несмотря на то, что 2/3 территории планеты Земля покрыта водой, проблема обеспечения населения пресной водой стоит весьма остро: 1,5 млрд. населения Земли испытывает недостаток воды, к 2050 г. количество людей, испытывающих недостаток в воде, возрастет до 3,5 млрд. Из общего количества воды на Земле (1 385 985 км³), объем пресной воды составляет всего 2,53% (35 029 км³) (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Запас воды планеты Земля

Вид воды	Объем км ³	% -ое содержание от общего объема	
		Всего	Пресная вода
1	2	3	4
Океанская	1 338 000	96,50	–
Подземная	23 400	1,70	–
Пресная	10 530	0,76	30,1
Почвенная влажность	16,5	0,001	0,05
Ледниковая	24 064,1	1,74	68,7
Подземная ледниковая	300	0,022	0,86
Озерная	176,4	0,013	–
Пресная	91	0,007	0,26
Соленая	85,4	0,006	–
Болотная	11,5	0,0008	0,03
Речная	2,1	0,0002	0,006
Биологическая	1,1	0,0001	0,003
Атмосферная	12,9	0,001	0,004
Всего в гидросфере	1 385 985	100	–
В т.ч. пресные воды	35 029	2,53	100,0

Из общего количества воды всего 1,0% используется человеком, что, очевидно, и является причиной глобального дефицита воды [Мировой водный запас..., 1974; Калашников В.И., 2008].

1.1. ФОРМИРОВАНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩНОГО ФОНДА МИРА

Создание водохранилищ, связанное с требованиями использования водных ресурсов, развивалось в увязке с развитием цивилизации. Строительство первых водохранилищ обусловлено развитием орошения и земледелия в Египте, Месопотамии, Китае, Центральной и Южной Америке. По данным археологических исследований, первые водохранилища были созданы в Древнем Египте более чем за три тысячи лет до нашей эры. Около 2300 лет до н.э. было создано знаменитое водохранилище Мерис емкостью 1 км^3 , которое впоследствии Геродот назвал одним из чудес света. Ряд водохранилищ, созданных как до н.э., так и более 400-500 лет назад используются до настоящего времени, табл. 1.1.1 [Н.Г. Варашвили, Г.Н. Гобечия, 2002].

Таблица 1.1.1

Характерные показатели некоторых древних водохранилищ мира

№	Наименование водохранилища	Река	Местоположение	Государство	Время создания (ориентировочно)	Известные параметры	Время конца эксплуатации	Причины выхода из строя
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Ксосхайш (Кошиш)	Нил	20 км выше Менфиса	Египет	3000 г. до н.э.	Насыпная плотина $L = 415 \text{ м}$, $H = 17,5 \text{ м}$.	3000 лет	Нет данных
2.	Садд-Эль-Кафара	Нил	29 км южнее Каира	Египет	2900 г. до н.э.	$L = 121 \text{ м}$, $H = 13 \text{ м}$, $V_{\text{пол}} = 568 \text{ м}^3$	Один сезон	Прорыв плотины паводком
3.	Нимруд	Тигр	У города Самарра	Государства ближнего Востока	2500 г. до н.э.	Набросная плотина $H = 13 \text{ м}$	До VII века н.э.	Нет данных
4.	Мерис	Нил (наливное)	8 км юго-западнее Каира	Египет	1800 г. до н.э.	$L_{\text{бер}} = 177 \text{ км}$, $V_{\text{пол}} = 1 \text{ км}^3$	102 г. до н.э.	Нет данных
5.	Хомс (Катинах)	Нар-Эль-Аси (Оронт)	с. Хомс	Сирия	1315 г. до н.э.	Каменно-набросная плотина, $L = 2,29 \text{ км}$, $H = 7 \text{ м}$	До настоящего времени	
6.	Мариб (Судд-Эль-Арим)	Вади Джана	64 км от г. Мариб	Йемен (Саба)	850 г. до н.э.	Земляная плотина $L = 980 \text{ м}$, $H = 11,5 \text{ м}$	До 575 г. н.э.	Брешь в теле плотины. Окончательно разрушена в 670 г. н.э.

Таблица I.1.1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7.	Касири	Хоср	Выше г. Ниневия	Ассирия	703 г. до н.э.	Нет данных		
8.	Джебел-Башиках	Хоср сброс 18-ти рек	У города Ниневия	Ассирия	694 г. до н.э.	Две плотины из квадратных каменных плит	Нет данных	
9.	Артуш-Гомел	Артуш-Гомел	Бавианское ущелье	Ассирия	690 г. до н.э.	Отводной канал 5 км, выложенный плитами известняка		
10.	Мургаб	Мургаб		Персия	600 г. до н.э.	Три плотины	До 1258 г. н.э.	Разрушена
11.	Карнальбо	Альбарре-гас		Иберия (Испания)	II в. до н.э.	Водохранилище $V_{пол} = 10$ млн. м ³	До настоящего времени	
12.	Савех	Фаврехан		Персия	880 г. н.э.	Набросная плотина $L = 120$ м, $H = 40$ м	100 лет	Разрушена паводком
13.	Банде-Эмир		В р-не г. Шираза	Персия	II в. н.э.		До настоящего времени	
14.	Журурия			Государства на территории центральной Америки	VII-VIII век н.э.	Водохранилище $V_{пол} = 220$ млн. м ³ $F = 96$ км ²	До настоящего времени	

Вторая половина XX века характеризуется ускоренными темпами создания водохранилищ во всем мире, число которых к 2010 году насчитывает до 35000, суммарный объем аккумулированной воды в водохранилищах превышает 10 000 км³ (табл. I.1.2, I.1.3; рис. I.1.1, I.1.2, I.1.3), [Г.В. Воропаев 1986; о.კ. თბილისის მუზეუმი, კ. თ. თბილისის მუზეუმი 2010]. Ежегодно в эксплуатацию до 500 гидроузлов с водохранилищами, при этом рост объема зарегулированного стока прослеживается во всех странах мира.

Таблица I.1.2

**Основные показатели некоторых крупнейших водохранилищ мира
(полным объемом 50 км³ и более, площадью зеркала 5000 км² и более) *)**

Водохранилища	Страна	Река, озеро	Подпор плотины, м	Объем водохранилища, км ³		Площадь водного зеркала км ²		Длина водо- хранилища, км	Виды исполь- зования
				полный	полез- ный	общая	в т.ч. озер до подпора		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Братское	Россия	Ангара	106	169,3	48,2	5470		565	ЭСЛРВ
Вади-Тартар	Ирак	Наливное из р. Тигр	Нет данных	72,8	43,5	2000		100	НИ
Виктория (Оуэн-Фолс)	Уганда, Кения, Танзания	р.Виктория, Нил, оз. Виктория	31	Нет данных	204,8	76000	68000	320	ЭРИ
Вольта (Акосомбо)	Гана	Вольта	70	148,0	90,0	8480		400	ЭСИРН
Гордон М.Хрум	Канада	Пис	165	70,1	37,0	1683		360	ЭНС
Гури (Эль- Мантеко)	Венесуэла	Карони	136	111,2	55,0	1500		70	ЭВ
Кариба	Африка			160,4					
Зейское	Россия	Зeya	98	68,4	32,1	2419		225	НЭСЛР
Кабора-Басса	Мозамбик	Замбези	65	63,0	Нет данных	2700		137	ЭНСР
Даниель- Джонсон	США			141,8					
Красноярское	Россия	Енисей	100	73,3	70,4	2000		388	ЭСЛВНР
Куйбышевское	Россия	Волга	29	58,0	34,6	6450		650	ЭСИВР
Ла-Гранд-2	Канада	Ла-Гранд	150	60,8	28,8	4085		120	Э
Насер (Асуан)	Египет, Судан	Нил	95	157,0	74,0	5120		500	ИЭНСР
Иркутское	Россия	Ангара, оз. Байкал	30		47,6	32966	31500	700	ЭСЛРВ
Венерн	Швеция	оз. Венерн	Нет данных		7,2	5550	5500	140	ЭСВ
Онежское (Верхне- Свирское)	Россия	Свирь, Онежское озеро	17		13,1	9930	9700	100	ЭСЛРВ
Онтарио (Ирокуэй)	Канада, США	р.Св. Лав- рентия, оз. Онтарио	23		30,0	19544	19500	310	ЭСНВА
Усть- илимское	Россия			59,4					
Черчилль	Канада	Черчилль	14	32,3	28,0	5698	2849	140	Э

Условные обозначения: Э – энергетика; И – ирригация; Н – борьба с наводнениями; С – судоходство; Л – лесосплав; В – водоснабжение; Р – рыбное хозяйство; А – консервация воды в разных целях.

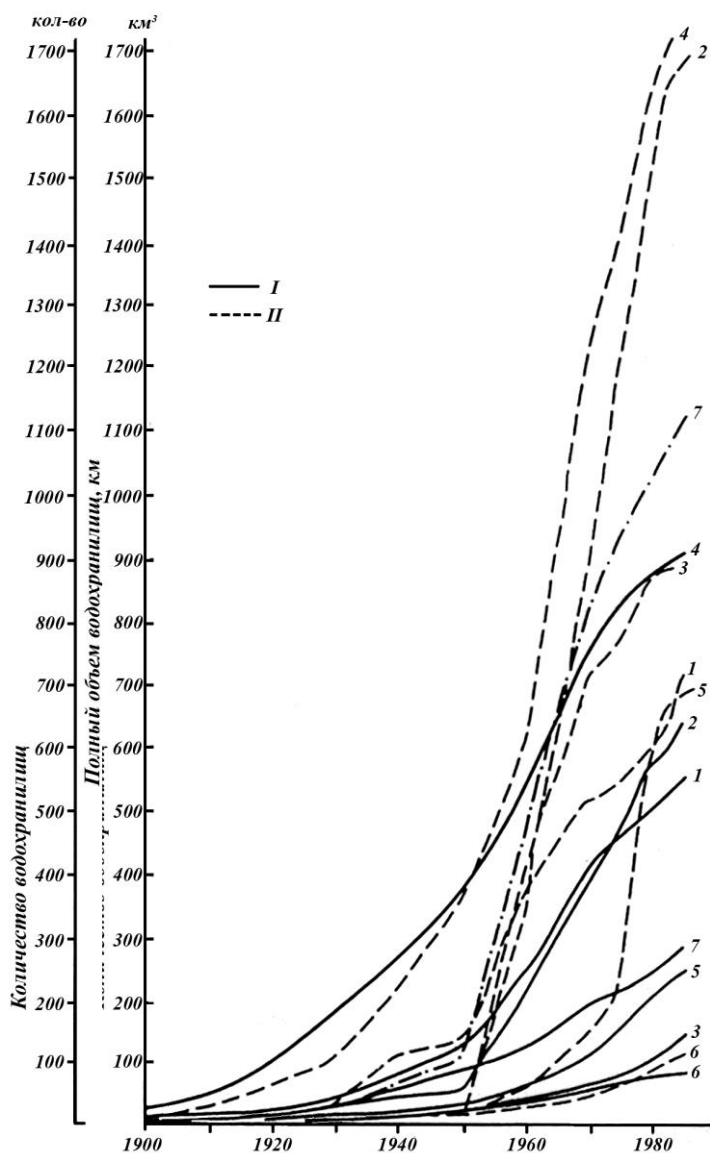
*) Подробные сведения приведены в монографии авторов (ი.კ. იაბღაბიშვილი, კ.თ. იაბღაბიშვილი 2010)

Таблица I.1.3

Динамика создания водохранилищ мира полным объемом более 100 млн. м³

Период создания водохранилища	Европа	Азия	Африка	Северная Америка	Центральная и Южная Америка	Австралия и Океания	Всего
До 1900 года	$\frac{9^*}{3}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{25}{9}$	$\frac{1}{1}$		$\frac{41}{14}$
1901–1950 гг.	$\frac{104}{122}$	$\frac{46}{18}$	$\frac{15}{15}$	$\frac{342}{344}$	$\frac{22}{18}$	$\frac{10}{11}$	$\frac{539}{528}$
1951–1985 гг.	$\frac{404}{491}$	$\frac{526}{1068}$	$\frac{89}{870}$	$\frac{516}{1325}$	$\frac{179}{623}$	$\frac{63}{66}$	$\frac{1777}{4982}$
Всего	$\frac{517}{616}$	$\frac{577}{1628}$	$\frac{105}{885}$	$\frac{883}{1678}$	$\frac{202}{641}$	$\frac{73}{77}$	$\frac{2357}{5552}$

*В числителе – количество; в знаменателе – полный объем водохранилища, км³

Рис. I.1.1. Динамика роста количества и полного объема водохранилищ емкостью более 100 млн. м³.

I – количество водохранилищ; II – суммарный полный объем водохранилищ, км³. 1 – Европа; 2 – Азия; 3 – Африка; 4 – Северная Америка; 5 – Южная Америка; 6 – Австралия; 7 – Россия.

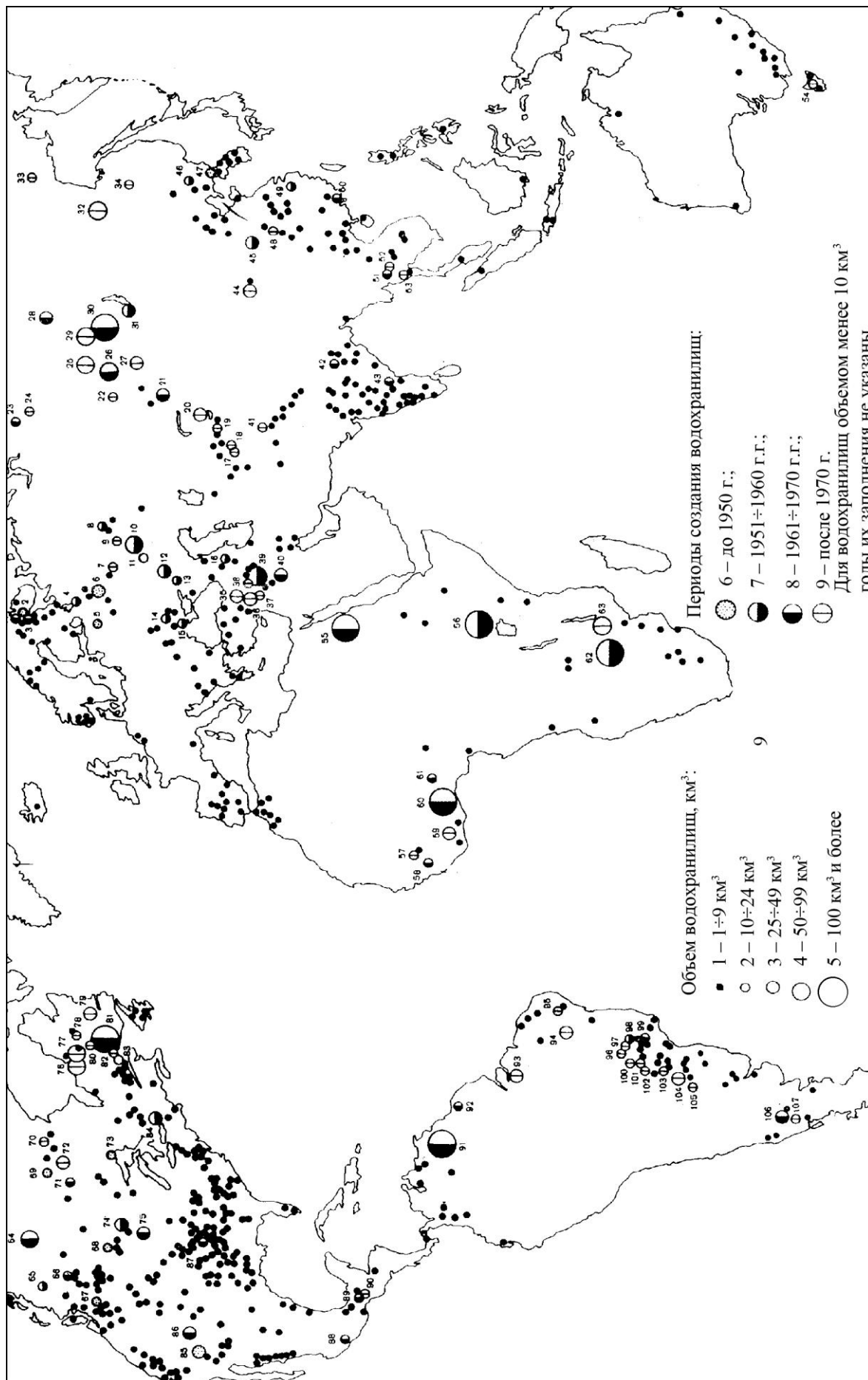


Рис. 1.1.2. Схема размещения водохранилищ мира полным объемом 1 км³ и более

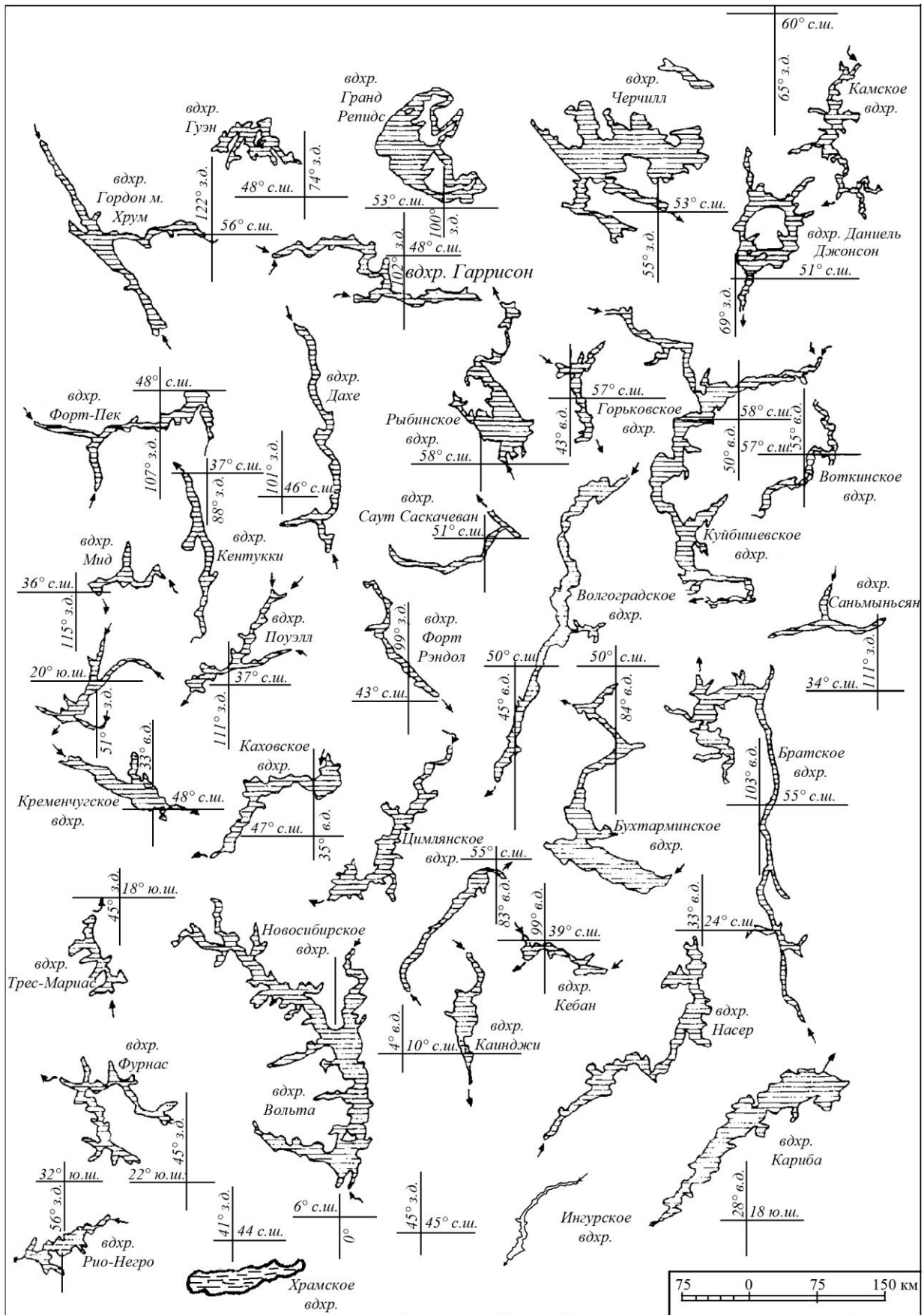


Рис. I.1.3. Конфигурация водного зеркала ряда крупных водохранилищ мира ($F > 13 \text{ км}^2$).
Цифрами обозначена географическая широта и долгота.

Список высочайших плотин мира ($H \geq 200$ м) и их фото приведены в табл. I.1.4 и на рис. I.1.4, а основные классификационные критерии водохранилищ – в табл. I.1.5, I.1.6.

Таблица I.1.4

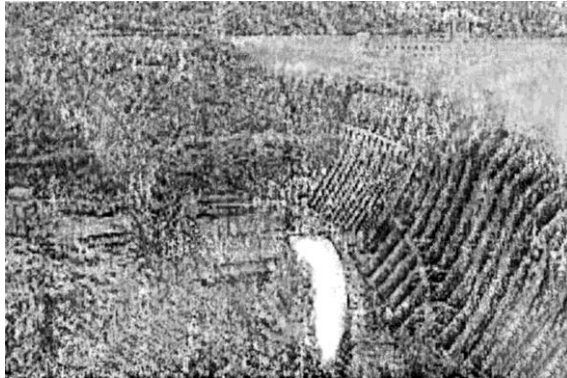
Плотины высотой более 200 м (в алфавитном порядке)

№ п.п.	Плотина	Река	Страна	Тип	Высота, м	Год строительства
1	2	3	4	5	6	7
1.	Альберто Леарс (Гуавио)	Гуавио	Колумбия	З	250	
2.	Альмендра		Испания	А	202	1970
3.	Бакра	Сатсу	Индия	Г	226	
4.	Баркраутская	Чаткал	бывший СССР	А	273	1970
5.	Бекме		Ирак	Г	168	1957
6.	Берке	Кеуан	Турция	АГ	201	
7.	Боудлер (Гувер)	Колорадо	США	АГ	222	1930
8.	Бридж-Кеньон	Колорадо	США	Г	226	1970
9.	Бхарка		Индия	З	225,5	1958
10.	Вайонт		Италия	А	261	1963
11.	Глен-Кеньон	Колорадо	США	АГ	214	1960
12.	Гранд-Диксанс	Диксанс	Швейцария	Г	284	1953
13.	Даниель – Джонсон	Манико – Уаган	Канада	Г	214	
14.	Дворсак	Глеарватер	США	АГ	218	
15.	Дез		Иран	А	204	1964
16.	Ель-Каньон	Гумия	Гондурас	А	234	
17.	Ерман	Джалонг	Китай	АГ	240	
18.	Ерменек	Гексу	Турция	А	210	
19.	Зимапан	Моктезума	Мексика	ГА	203	
20.	Ингульская	Ингури	Грузия	А	271,5	1978
21.	Кампос Новос	Каноас	Бразилия	КН	202	
22.	Карун-1	Карун	Иран	А	200	
23.	Карун-3	Карун	Иран	ГА	205	
24.	Карун-4	Карун	Иран	АГК	230	
25.	Контра	Верцаска	Швейцария	А	220	1965
26.	Люццоне	Люццоне	Швейцария	А	208	1964
27.	Кебан	Евфрат	Турция	КЗ	210	
28.	Колпбраше	Стреамс	Австрия	АГ	200	
29.	Ла Есмеральда	Бата	Колумбия	З	237	
30.	Лаксива	Хуанхэ	Китай	А	250	
31.	Лонгтан	Гонг Чуи	Китай	АГ	216	
32.	Мануел Морено Торрес	Гриджава	Мексика	КН	261	

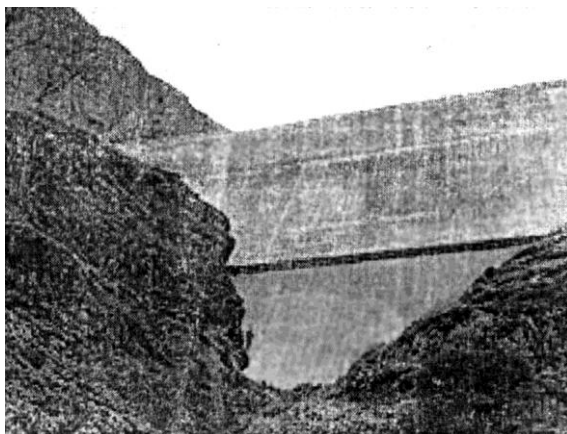
Таблица I.1.4 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
33.	Мовуаген	Дранс де Бань	Швейцария	А	250	1958
34.	Мратинье		Черногория	АЗ	220	
35.	Нурекская	Вахш	Таджикистан	КН	300	1961
36.	Оберн		США	А	209	
37.	Оровиль	Фегер	США	ЗГ	223	1960
38.	Сан-Рокие		Филиппины	ЗКН	210	2003
39.	Саяно-Шушенская		Россия	А	242	1988
40.	Говер	Колорадо	США	Г	221,5	
41.	Тери		Индия	З	261	2006
42.	Мика		Канада	З	243	1973
43.	Сувуй	Кингюанг	Китай	КН	233	
44.	Токтогульская		бывший СССР		215	
45.	Хиаован	Ланканг	Китай	А	292	
46.	Чиркейская		бывший СССР	А	236	1970

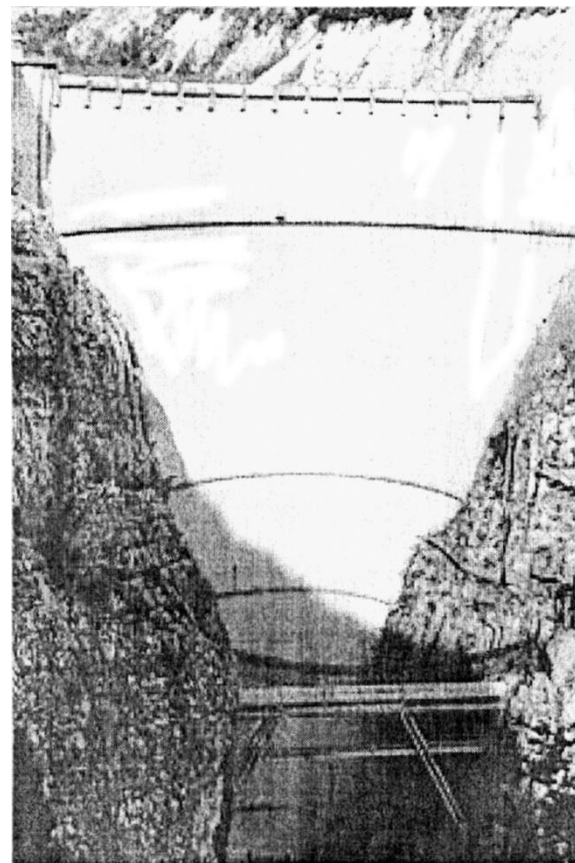
Условные обозначения: А – арочные и купольные; Г – гравитационные; АГ – арочно-гравитационные; КН – каменно набросные; З – земляные.



Саяно-Шушенская (Россия) $H = 242$ м



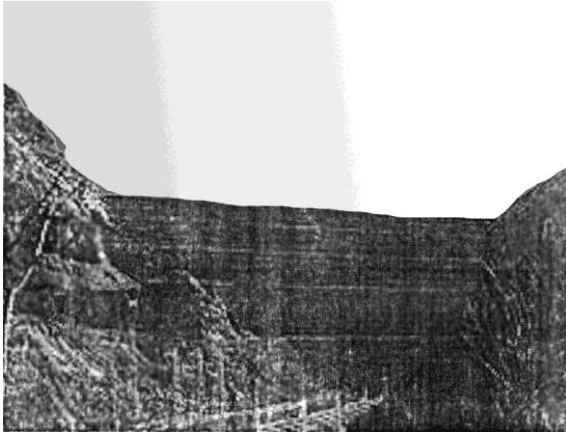
Гранд Диксен (Швейцария) $H = 284$ м



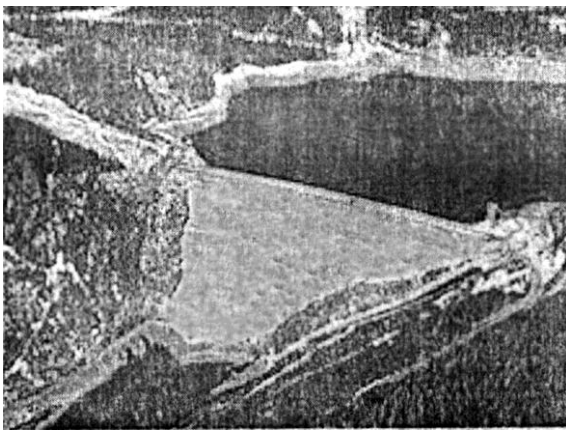
Вайонт (Италия) $H = 261$ м



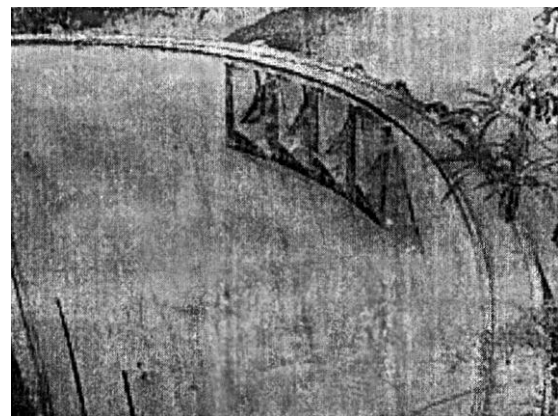
Ингульская (Грузия) $H = 271,5$ м



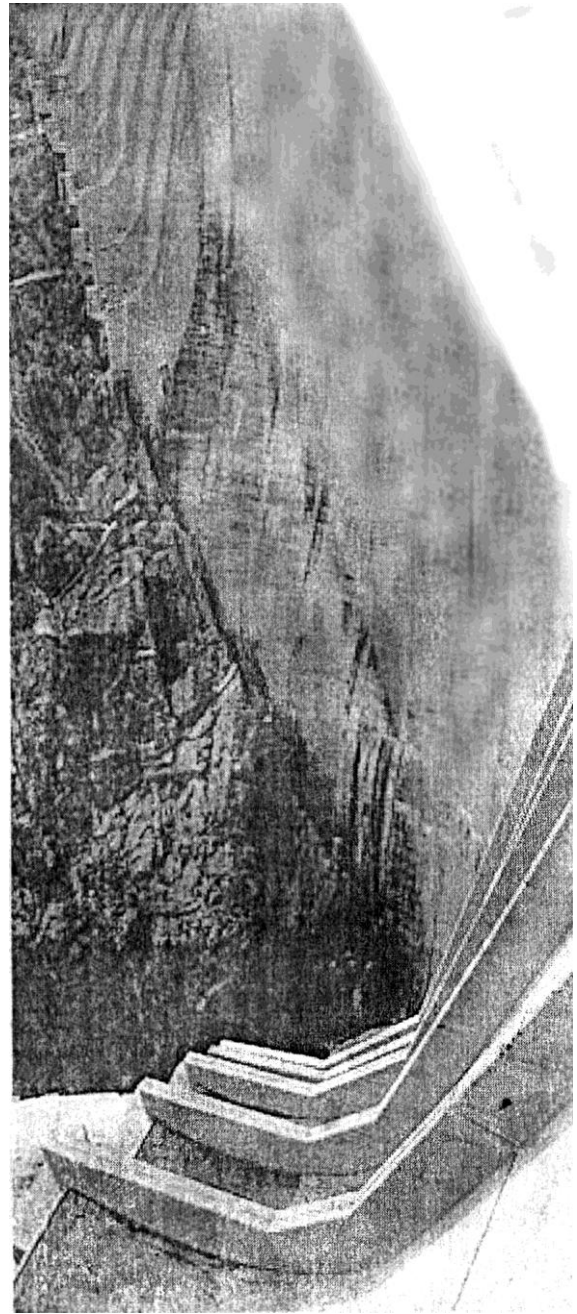
Нурекская плотина (Таджикистан) $H = 300$ м



Мика (Канада) $H = 243$ м



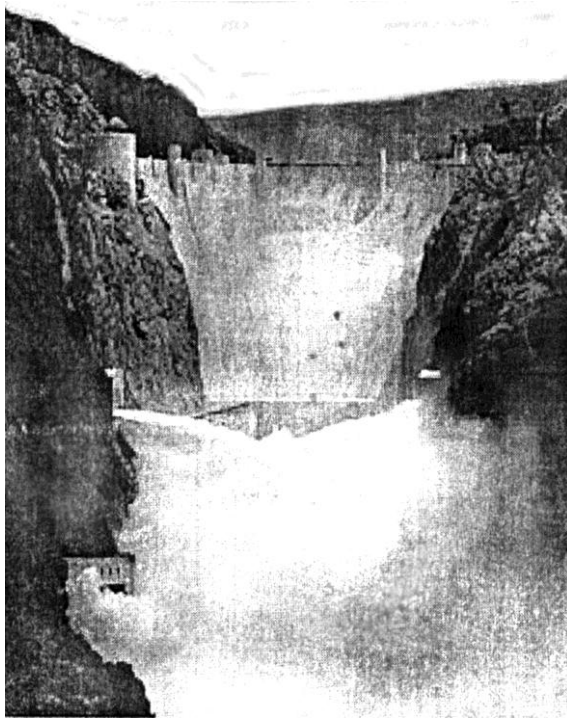
Ел Каньон (Гондурас) $H = 234$ м



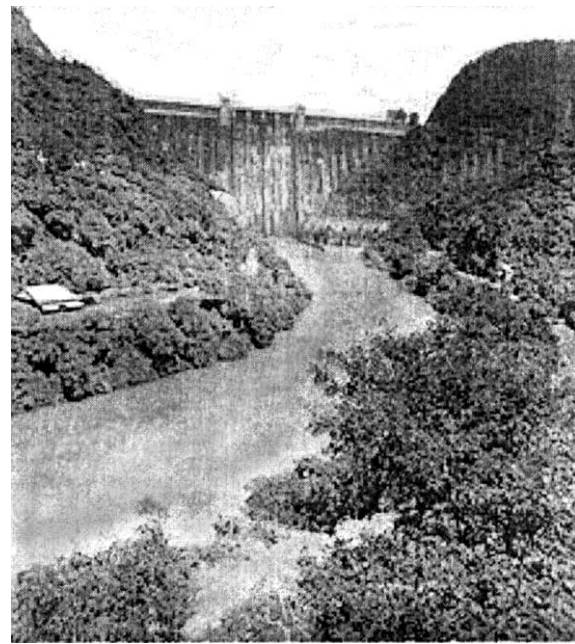
Веруаска (Швейцария) $H = 220$ м



Оровил (США) $H = 223$ м



Гувер (США) $H = 221,5$ м



Бакра (Индия) $H = 226$ м

Фото I.1.1. Фотографии высочайших плотин мира

Таблица I.1.5

Основные классификационные критерии водохранилищ

№	Классификационный признак	Группа	Назначение	Определяющие критерии	Регламентирующие критерии
1	2	3	4	5	6
I	Характер использования	1	Энергетическое	Выработка энергии	
		2	Ирригационное	Аккумуляция воды	
		3	Комплексное	Многоплановое использование	
II	Генезис	1	Русловое (долинное)	В русле реки	
		2	Озерное (наливное)	Естественная чаша озера	
		3	Депрессивное	Депрессивная впадина	
III	Гипсометрическая зональность	1	Равнинное	Абсолютная отметка, показатель рельефа, климатическая зона	менее 400 м $a > 0.78$
		2	Предгорное		400÷800 $a = 0.37$
		3	Горное		800÷1200 $a = 0.27$
		4	Высокогорное		более 1200 $a < 0.14$

Таблица I.1.5 (продолжение)

1	2	3	4	5	6
IV	Объем	1	Большие	Полный объем в млн.м ³ ($V_{пол}$)	$V_{пол} > 1 \text{ км}^3$
		2	Средние		$V_{пол} = 100 \text{ млн.м}^3 \div 1 \text{ км}^3$
		3	Небольшие		$V_{пол} = 10 \div 100 \text{ млн.м}^3$
		4	Малые		$V_{пол} = 1,0 \div 10 \text{ млн.м}^3$
		5	Очень малые		$V_{пол} = \text{менее } 1,0 \text{ млн.м}^3$
V	Глубина	1	Очень глубокие	Максимальная глубина ($H_{макс}$)	$H_{макс}$ более 100 м
		2	Глубокие		$H_{макс} = 40 \div 100 \text{ м}$
		3	Средней глубины		$H_{макс} = 20 \div 40 \text{ м}$
		4	Незначительной глубины		$H_{макс} = 10 \div 20 \text{ м}$
VI	Характер регулируемости	1	Интенсивно срабатываемые	Амплитуда колебания (A , м), скорость перемещения уровня воды (V м/сут)	$A > 100 \text{ м}$, $V_y > 1,0 \text{ м/сут}$
		2	Быстро срабатываемые		$A = 50 \div 100 \text{ м}$ $V_y = 0,5 \div 1,0 \text{ м/сут}$
		3	Средней сработки		$A = 20 \div 49 \text{ м}$ $V_y = 0,08 \div 0,49 \text{ м/сут}$
		4	Нестабильные		$A = 6 \div 19 \text{ м}$ $V_y = 0,03 \div 0,79 \text{ м/сут}$
		5	Квазистабильные		$A < 6 \text{ м}$ $V_y < 0,03 \text{ м/сут}$
VII	Водообмен	1	Исключительно большой	Показатель водообмена в долях года $K_v = W_p / V_{пол}$, W_p – среднегод. сток реки; $V_{пол}$ – объем водохранилища	менее 0,1 года
		2	Очень большой		0,1 ÷ 0,24 г.
		3	Большой		0,25 ÷ 0,49 г.
		4	Средний		0,50 ÷ 0,99 г.
		5	Малый		более 1 года
VIII	Использование стока	1	Эффективного использования	Коэффициент использования, $K_{ис} = V_{пол.в} / V_{прит}$, $V_{пол.в}$ – полезная водоотдача; $V_{прит}$ – среднегодовой объем приточности	0,9 ÷ 1,0
		2	Средние		0,75 ÷ 0,89
		3	Равновесные		0,45 ÷ 0,74
		4	Низкого использования		менее 0,45
IX	Использование емкости водохранилища	1	Высокой емкости	Коэффициент емкости водохранилища $K_{ем} = V_{пол.в} / V_{потр}$ $V_{пол.в}$ – полезный объем водохранилища	0,5 ÷ 1,0
		2	Средней емкости		0,1 ÷ 0,49
		3	Равновесные		0,001 ÷ 0,09
		4	Низкой емкости		менее 0,001

Таблица I.1.5 (продолжение)

1	2	3	4	5	6
X	Срок службы	1	Интенсивно заносимые	Коэффициент условной заиляемости $K_{ус}$, $K_{ус} = W_{ТВ} / V_{пол}$, $W_{ТВ}$ – объем твердого стока, $V_{пол}$ – полный объем водохранилища	более 0,2
		2	Средне заиляемые		0,04÷0,2
		3	Слабо заиляемые		0,01÷0,04
		4	Практически не заиляемые		0,002÷0,01
		5	Свободные		менее 0,002

Таблица I.1.6.

Основные осредненные количественные показатели водохранилищ различных типов

№ п.п.	Основные показатели	Обозначения	Ед. изм.	Количественные показатели		
				Равнинные в-ща	Предгорные в-ща	Горные в-ща
1.	Показатель рельефа	“а”	б/р	1,0 – 0,6	0,6 – 0,29	0,29 – 0,1
2.	Морфометрический показатель	H^2/F	б/р	$9 \cdot 10^{-9} - 2 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$
3.	Амплитуда колебания уровня воды	A	м	не менее 6	6 - 20	более 20
4.	Использование объема	$\frac{V_{полез}}{V_{пол}}$	б/р	0,4 – 0,6	0,5 - 0,7	0 – 0,95
5.	Приращение объема на 1 м подпора	$\frac{V_{пол}}{H}$	$\frac{\text{млн. м}^3}{\text{м}}$	500 - 2000	50 - 500	1,0 – 50,0
6.	Соотношение объема и площади зеркала	$\frac{V_{пол}}{F}$	$\frac{\text{млн. м}^3}{\text{км}^2}$	5 - 15	20 - 50	50 - 120
7.	Соотношение площади затопления и полезного объема	$\frac{S_{зат}}{V_{полез}}$	$\frac{\text{км}^2}{\text{млн. м}^3}$	150 - 120	110 - 50	46 - 25
8.	Площадь затопления на 1 м подпора	$\frac{S_{зат}}{H}$	$\frac{\text{км}^2}{\text{м}}$	250 - 65	50 - 3	0,25 – 0,08
9.	Соотношение площади затопления и приращения площадей орошения (компенсация)	$\frac{S_{зат}}{S_{орош}}$	б/р	0,024	0,025 – 0,1	0,46 – 0,90
10.	Выработка электроэнергии на единицу объема	$\frac{W_{эл}}{V_{пол}}$	$\frac{\text{кВтч}}{\text{м}^3}$	0,115 – 0,65	0,60 - 0,80	0,80 - 2,90
11.	Выработка электроэнергии на единицу площади затопления	$\frac{W_{эл}}{S_{зат}}$	млрд. кВтч / км ²	0,50 - 0,65	0,65 – 0,80	0,80 – 1,80
12.	Процент площади мелководий от общей площади зеркала воды на отметке НПУ	$\frac{F_{мел}}{F_{общ}}$	% %	20 – 15	10 – 6	6 – 4

1.2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ФОРМИРОВАНИИ ГОРНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ МИРА

Географическое расположение водохранилищ определяется рельефной спецификой, морфологией, морфометрией, площадью затопления земель, уровенным режимом водоема, а также характером и интенсивностью взаимодействия водохранилища с окружающей природной средой. За основные классификационные показатели принимаются особенности морфологической ситуации и характер эксплуатационного режима. Согласно данным положениям, выделены:

Равнинные водохранилища характеризуются распластальностью площади зеркала воды при сравнительно небольших глубинах (до 20–25 м) и, соответственно, малых амплитудах колебания уровня воды (до 10 м). Основные виды воздействия на окружающую среду – значительные площади затопления и подтопления, интенсивная переработка береговых склонов за счёт большой интенсивности волновых процессов.

Предгорные водохранилища отличаются небольшой площадью водного зеркала, глубинами от 20 до 50 м и величинами сработки уровня воды до 10-15 м.

Горные водохранилища отличаются небольшой площадью зеркала, значительными глубинами (до 300 м) и интенсивностью перемещения уровня воды с амплитудой его колебания в пределах 20÷100 м. При сработках уровня воды площадь зеркала меняется незначительно вследствие большой крутизны береговых склонов. Подтопление наблюдается весьма редко.

В общем случае для выделения горных и предгорных водохранилищ в отдельную группу следует пользоваться т.н. "коэффициентом горности (α)", предложенный на основании натурных исследований горных водохранилищ [Варазашвили Н.Г., 1996 г.; ი.ჯ. თბილისში, 2010].

Водный баланс водохранилищ отражает характер регулирования, поскольку каждому типу регулирования соответствуют свои периоды, степень заполнения чаши водоема и величина сработки уровней. *Уравнение водного баланса водохранилища* в общей форме, и в том числе для горных водохранилищ, может быть представлено в виде:

$$\sum \Pi - \sum P = \sum A + \Delta H, \quad (1.2.1)$$

где $\sum \Pi$ – сумма составляющих приходной части баланса; $\sum P$ – сумма составляющих расходной части; $\sum A$ – сумма аккумулятивных составляющих баланса; ΔH – невязка баланса.

Приток и сбросы воды водохранилищ значительно изменяются в годовом и сезонном разрезе вследствие колебаний стока рек и в зависимости от характера регулирования стока. Вследствие большой изменчивости этих показателей в горных регионах, *водный баланс горных водоемов отличается существенной изменчивостью*. При этом атмосферные осадки и испарение с зеркала водоема практически не меняют показателей водного баланса, в связи с малой площадью поверхности водоема.

Уравнение водного баланса любого участка водохранилища, ограниченного входным и выходным створами, за определенный момент (t) можно представить в виде:

$$V_k - V_{k-1} = -Q_1 \sum_{k-1}^k t + Q_2 \sum_{k-1}^k t + \Pi_6 + O - И \pm \Pi_B \pm H_b, \quad (I.2.2)$$

где V_k – объем водной массы участка в конце расчетного периода; V_{k-1} – объем водной массы в начале расчетного периода; Q_1, Q_2 – средние расходы через верхний и нижний створы; $\sum_{k-1}^k t$ – период времени в сек.; Π_6 – боковая приточность к периметру участка; O – осадки на водное зеркало; $И$ – испарение с водной поверхности; Π_B – приток подземных вод или потери на фильтрацию; H_b – невязка баланса.

Режим уровней горных водохранилищ определяет ряд процессов в водоеме и в окружающей среде. Особенно сильно это проявляется на горных водохранилищах, характеризующихся значительными величинами изменчивости уровня режима.

Ниже приведены характеристики крупных горных водохранилищ мира (табл. I.2.1).

Таблица I.2.1

**Характеристики крупных горных водохранилищ мира
(высота подпора более 100 м; объем более 5 км³
и площадь водного зеркала более 250 км²)**

№ п/п	Наименование водохранилища	Страна	Река, озеро	Высота подпора у плотины, м	Объем <u>полный</u> полезн. км ³	Площадь водного зеркала км ²	Длина водохранилища км	Виды использования
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Ангостура	Мексика	Грихальва	140,0	10,2	340	140	ЭИ
2.	Ататюрк	Турция	Евфрат	175,0	48,7	138	н.д.	ЭИ
3.	Банчаонен	Таиланд	Мекхлонг	125,0	18,0	420	120	ЭИН
4.	Бекме	Ирак	Бол. Заб	170,0	12,0	н.д.	35	ИАЭ
5.	Биас	Индия	Биас	125,0	8,10	260	42	ИЭ
6.	Барука	Костарика	Ферраба	260,0	15/7	6,2	220	Э
7.	Братское	Россия	Ангара	106,0	170/48	5470	565	ЭСЛВРО
8.	Бурейское	Россия	Буряя	124,0	23/11	800	150	ЭН
9.	Бхумихол	Таиланд	Пинг	150,0	15,4	320	125	ЭИ
10.	Гобиндсагар	Индия	Сатледж	200,0	10,9	176	85	ИЭНСО
11.	Гордон	Австралия	Гордон	130,0	12,8	320	35	Э
12.	Маутин-Гордон	Канада	Пис	165,0	70/37	1680	360	ЭНС
13.	Гури-Маньеко	Венесуэла	Карони	150,0	135/55	4250	250	Э
14.	Даниел-Джонсон	Канада	Маникуаган	154,0	142/85	1950	1575	ЭСН
15.	Докан	Ирак	Малый-Зан	100,0	7,8	270	25	ИЭ
16.	Зейское	Россия	Зея	100,0	69/32	2420	225	НЭСЛР
17.	Инфернильо	Мексика	Бальсас	140,0	12/7	400	130	ЭИН
18.	Итаипу	Бразилия	Парана	165,0	29/18	1350	170	Э

Таблица I.2.1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
19.	Кабора-Басса	Мозамбик	Замбези	127,0	65/52	2700	270	ЭИСП
20.	Каракайя	Турция	Евфрат	155,0	10/5,6	300	400	ЭИ
21.	Кариба	Замбия	Замбези	100,0	161/46	4450	300	ЭСИРН
22.	Кебан	Турция	Евфрат	190	31/16	675	125	ИЭ
23.	Кениир	Малайзия	Трештану	140,0	16	нет данных		Э
24.	Колымское	Россия	Колыма	170,0	16/6	440	150	Э
25.	Красноярское	Россия	Енисей	100,0	74/30	2000	390	ЭЛСВНР
26.	Кремаста	Греция	Ахелос	140,0	4,8/3	80	30	ЭИ
27.	Ла-Гранд 2	Канада	Ла-Гранд	150,0	62/28	4085	120	Э
28.	Ла-Гранд 4	Канада	Ла-Гранд	119,0	21/6	805	50	Э
29.	Люцзяся	Китай	Хуанхе	140	6/4	130	200	ЭЛИ
30.	Мангла	Пакистан	Джелам	116	7,5/6,3	280	75	ЭИ
31.	Мид-Гувер	США	Колорадо	170	38/33	630	185	НИВСЭ
32.	Мика	Канада	Колумбия	235	25/14	445	225	ИЭА
33.	Нагарджунасар	Индия	Кришна	120	12/7	265	40	ЭНИ
34.	Мальпасо	Мексика	Грихальва	110	13/8	300	80	НЭИС
35.	Нечако	Канада	Нечако	100	22/12	800	235	Э
36.	Нурекское	Таджик.	Вахш	300	11/4,5	100	70	ЭСОИ
37.	Поуэл	США	Колорадо	200	34/26	645	300	НИЭА
38.	Рогунское	Тадж.	Вахш	306	11/8	160	65	ЭИН
39.	Сан-Симан	Бразилия	Паранаиба	110	13/9	600	н.с.	Э
40.	Саянское	Россия	Енисей	120	29/16	633	290	ЭИСЛВО
41.	Синь-янь-ян	Китай	Синь-ян	100	22/9	580	н.с.	ЭА
42.	Синьфынь-ян	Китай	Синьфынь	100	14/0,9	390	н.с.	ЭА
43.	Сирицит	Таиланд	Мас.Наи	100	11/9	250	130	ЭИА
44.	Тарбеда	Индия	Инд	130	14/6	260	80	ЭНИ
45.	Токтогульское	Ср.Азия	Нарын	180	20/12	285	65	ЭИСАЭ
46.	Утард 4	Канада	Утард	120	20	655	95	Э
47.	Фосс-ду-Ария	Бразилия	Игуасу	145	8/2	195	н.с.	ИЭЭ
48.	Гран-Кули	США	Колумбия	105	12/6,4	320	240	ЭИ
49.	Футалсуфу	Аргентина	Фут-Фу	120	7/2	90	н.с.	Э
50.	Хаобинь	Вьетнам	Да	120	н.с.			ЭИ
51.	Шеста	США	Сактаменто	145	5,6	120	55	ЭИН
52.	Шрисалам	Индия	Кришна	135	8,7	755	160	ИЭ
53.	Эль-Кахой	Гондурас	Умуя	200	5,6/4,2	95	70	ЭИН
54.	Эмбаркакау	Бразилия	Паранаиба	150	1/5	475	68	Э
55.	Дабалкамм	Австрия	Дорфербах	200	236/20	н.с.	н.с.	Э
56.	Алькантара	Испания	Тахо	110	3137/ 2155	105	н.с.	ЭИ
57.	Каштелу-Боди	Португалия	Зезири	100	1100/880	30	120	ЭН

Таблица I.2.1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
58.	Гранд-Диксанс	Швейцария	Диксанс	227	401/400	4	2,5	Э
59.	Анвалид	Иордания	Джармук	100	200	12,2	н.с.	ИЭ
60.	Магарин	Иордания	Ярмук	155	486/320	н.с.	н.с.	ИВ
61.	Окутадами	Япония	Тадами	140	600/460	10	-	Э
62.	Билль-ЭльВидан	Марокко	Аль-Абид	125	1500	1160	34	ИЭ
63.	Бенмор	Н.Зеландия	Уантаки	100	2480	2000	78	Э
64.	Пелигре	Гаити	Артибонит	160	610	480	н.с.	ИЭ
65.	Пуэбло-Вьехо	Гватемала	Чихой	100	460	350	н.с.	Э

Обозначения: Э – энергетика, И – ирригация, Н – борьба с наводнениями, Л – лесосплав, В – водоснабжение, Р – рекреация.

В Европе в конце XIX века необходимость использования энергии воды привела к созданию водохранилищ в предгорных и горных районах (табл. I.2.2).

По данным мирового водного регистра в Европе на уровне 1990 г. насчитывалось более 2500 водохранилищ объемом каждое более 1 млн. м³.

Таблица I.2.2

Суммарные показатели по горным водохранилищам Западной Европы

№№ п/п	Страны	Показатели по водохранилищам								
		Объем от 1 до 99 млн. м ³		Объем от 100 до 999 млн. м ³		Объем от 1000 и более млн. м ³		Общее количество водохранилищ	Общий полный Объем. млн ³	Общая площадь зеркала км ²
		Кол-во	Объем	Кол-во	Объем	Кол-во	Объем			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Австрия	64	1244	6	875		–	70	2199	120
2.	Албания	18	178	2	820	1	2620	21	3618	160
3.	Бельгия	10	170	–	–	–	–	10	170	15
4.	Болгария	63	1002	19	4636	–	–	82	5838	390
5.	Великобритания	293	3090	11	2436	–	–	304	5526	600
6.	Венгрия	3	60	2	826	–	–	5	886	160
7.	Германия	218	1936	12	1848	–	–	230	5873	370
8.	Греция	4	110	5	2655	3	7994	12	10759	235
9.	Дания	3	10	–	–	–	–	3	10	5
10.	Ирландия	11	138	3	803	–	–	14	941	100
11.	Исландия	4	53	1	1000	6	1233	6	1233	170
12.	Испания	304	5878	73	2762	9	15399	386	44039	2100
13.	Италия	296	4452	29	5292	–	–	325	9744	430
14.	Люксембург	3	71	–	–	–	–	3	71	10

Таблица I.2.2 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15.	Нидерланды	8	331	2	1225	2	8900	12	10456	520
16.	Норвегия	58	1483	36	12728	6	9330	100	23541	
17.	Польша	96	850	14	2771	–	–	110	3621	600
18.	Португалия	40	1349	16	3928	2	4400	58	9677	450
19.	Румыния	63	918	9	1897	2	3780	74	6595	360
20.	Финляндия	37	102	7	1547	6	14168	50	16745	1170
21.	Франция	276	3742	21	5747	1	1270	300	10784	450
22.	Чехословакия	89	1147	11	3427	–	–	100	4574	350
23.	Швейцария	68	1898	13	2152	–	–	81	4050	130
24.	Швеция	48	808	28	10165	4	9970	80	20943	н.с.
25.	Страны бывшей Югославии	66	1069	2	3827	12	3827	87	11653	680
	И т о г о	2149	33108	342	96881	32	82658	2530	211647	15575

Создание горных водохранилищ обусловлено значительной крутизной (α) склонов чаши и глубиной (H), а также высокой прочностью и непроницаемостью пород, слагающих чашу водохранилища. К примеру, горные водохранилища *Закавказского региона* отличаются значительной глубиной: Ингурское водохранилище – $H = 271,0$ м; Чиркейское – $H = 215,0$ м; Жинвальское – $H = 110$ м; Сионское, Шамхорское, Ахерианское и др. – $H = 75 \div 90$ м. [Варазашвили Н.Г. – 1876, 1991, 1996, 2002 г.; ი.ჯ. ობრდებოშვილი – 2004, 2006, 2008 г.].

Горные водохранилища *Средней Азии*: Нурекское – $H = 300,0$ м, Токтогульское – $H = 180,0$ м.

Горные водохранилища *Сибири и Дальнего Востока*: Саянское – $H = 220,0$ м; Усть-Илимское, Зейское, Ханкайское – $H = 50,0 \div 40,0$ м. Значительной величиной сработки уровня отличаются Братское, Красноярское, Байкальское и др. водохранилища.

Горные водохранилища *Северной Англии, Уэльса и Шотландии* общим объемом более 60 км^3 практически не оказывают влияние на окружающую среду. В Швейцарии и Австрии до 200 горных водохранилищ, созданные в XX веке, в основном, располагаются выше отметки 500,0 м.

Крупные высокогорные водохранилища с общей площадью зеркала до $4,5 \text{ км}^2$ (Гранд-Диксанс, Эмосин, Гепачи, Замербоден и др.) имеют длину до 20–25 км. Глубина высокогорных водохранилищ достигает 200,0–300,0 м (Мовуазинское, Гранд-Диксанс, Вогорн).

В Италии самые глубокие горные водохранилища: Маина-ди-Саурское, Санта-Джустинское, Форте-Бузо, Канкано Борегардо, Каприле, Фрера, Воионт, Пиастра и др.

В Армении – горный каскад Севан-Разданских девяти ГЭС на р. Раздан с общей мощностью 900 мВт, включает также 17 ирригационных каналов, которые орошают 100 тыс. га земель.

В Азии (без учёта территории республик бывшего СССР) на данном этапе эксплуатируется до 600 водохранилищ, каждое объемом до $100\text{--}200 \text{ млн. м}^3$, полный объем которых

достигает 900 км^3 . Общее количество составляет до 15 тысяч водоемов, полезный объем которых достигает 400 км^3 . Размещение водохранилищ по территории региона неравномерно, при этом средние и крупные водохранилища, т.е. более 80%, располагаются в горных зонах, на плоскогорьях и в верхней части речных долин.

Китай представляет существенный интерес, как одна из наиболее крупных по территории стран мира. При этом большая часть страны занята горами и плоскогорьями, изрезанными реками, среднемноголетний сток которых оценивается в 2784 км^3 . Соответственно, по запасам гидроэнергоресурсов (более 550 млн. кВт) Китай занимает первое место в мире. В то же время наблюдаются катастрофические наводнения в среднем каждые два года. Эти два обстоятельства послужили, в основном, причиной создания гидросистем с водохранилищами, тем более что площадь водосборного бассейна (более 1500 рек) занимает свыше 1 тыс. км^2 . В Китае, раньше, чем где нибудь на планете, начато строительство водохозяйственных систем с водохранилищами, в основном, в условиях предгорных и горных регионов. По общему количеству водохранилищ Китай занимает первое место в мире. В связи с высокогорностью территории наблюдаются особенно благоприятные условия по рельефу и топографии для создания крупных водохранилищ горного и предгорного типов, с хорошими удельными соотношениями регулируемого объема на единицу площади затопления и, соответственно, высокой эффективности их использования. Около 40 водохранилищ имеют объем свыше $1,0 \text{ км}^3$. Самым крупным является водохранилище Саньмынься на р. Хуан-Хе, полным объемом $35,4 \text{ км}^3$ и площадью зеркала 2350 км^2 . Почти все крупные горные и предгорные водохранилища используются комплексно для ирригации, гидроэнергетики, водоснабжения и борьбы с наводнениями. Создана самая крупная в мире ГЭС мощностью 25 млн. кВт на р. Янцзы с водохранилищем объемом 39 км^3 , которое значительно изменило ландшафт. В настоящее время общий объем водохранилищ достиг 10000 км^3 . В перспективе намечается регулирование $2/3$ рек Земли. При таком темпе и объеме создания водохранилищных систем, остро стоит вопрос изучения и оценки влияния их на окружающую среду.

1.3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩНЫХ СИСТЕМ ГРУЗИИ

1.3.1. ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ВОДНЫХ ЗАПАСОВ ГРУЗИИ

Условия формирования водных ресурсов Грузии. Площадь Грузии составляет $69,7$ тыс. км^2 , протяженность с северо-запада на юго-восток – 600 км. Республика занимает юго-западную часть Кавказского перешейка, разделена водораздельным хребтом на две различные по водообеспечению области – Западную и Восточную. Между горами высокогорного Кавказа и высоким Южно-Грузинским нагорьем зажата зона погружения, представленная Колхидской низменностью и Имеретской возвышенностью в Западной Грузии и Алазанской долиной – в Восточной Грузии. 75% территории Грузии занято горами и только 25% равнинами и низинами, поэтому здесь резко выражена вертикальная зональность (рис. 1.3.1.1)

В геологическом строении отчетливо выражены вытянутые в широтном направлении с севера на юг чередующиеся между собой две складчатые системы и две глыбы депрессии со значительным различием в фациях отложений (рис. I.3.1.2). Эти различия обуславливают разнообразие форм и характера береговых и склоновых процессов на водохранилищах, расположенных на территории республики.

Современные геоморфологические процессы – денудация, эрозия, выветривание, оползни, обвалы, осыпи, карст и др. Речные долины характеризуются, в основном, U-образным профилем с высокими крутыми берегами и надпойменными террасами небольшой ширины. Поэтому русловые водохранилища занимают как узкие поймы долин, так и значительные площади террас. Формация рельефа обуславливает специфические особенности **морфометрии водохранилища**, а именно: значительные глубины при малых площадях зеркала воды, большую крутизну береговых склонов, значительные колебания уровня воды в годовом и сезонном разрезе.

В климатическом отношении территория Грузии характеризуется большим разнообразием климата: от вечных снегов и ледников до влажного субтропического и степного континентального. Изменение температурного режима зависит не только от высотного положения, но и от формы рельефа. Средний из абсолютных максимумов температуры воздуха составляет $+12^{\circ}\dots 40^{\circ}\text{C}$, минимумов $0^{\circ}\dots -30^{\circ}\text{C}$. **Распределение осадков** колеблется в пределах 300-4000 мм и зависит от высоты места и зональности. **Насыщенность ветрами** неодинакова в различных зонах. Общий перенос воздушных масс происходит с запада на восток. Характерными для всей Грузии, за исключением Колхидской низменности, являются горно-долинные ветры, скорость которых достигает 30-40 м/сек.

Гидрографическая сеть развита неравномерно. Наибольшая густота отмечается в Западной Грузии (рис. I.3.1.3). Внутригодовое распределение стока подчинено вертикальной зональности. Водность рек уменьшается с запада на восток со 100 до 2 л/сек на 1 км². Разнообразие рельефно-климатических условий определяет разнообразие источников питания и большие различия в сроках и объемах прохождения паводков и половодий.

Основные компоненты водных запасов Грузии. Здесь необходимо разграничение понятий "водные запасы" и "водные ресурсы". Определение "водные запасы" дает представление о наличии всех видов воды. К "водным ресурсам" может быть отнесена та часть "водных запасов", которая используется человеком. В состав компонентов "водных запасов" Грузии включаются реки, озера, ледники, болота, подземные воды, в том числе термические и минеральные воды, каналы, водохранилища [И.К. Иорданишвили, К.Т. Иорданишвили, 2008,2009].

Краткие сведения*) "водных запасов" Грузии. Речной фонд Грузии – основной источник водопотребления и водопользования. На территории Грузии всего 26 060 рек, среди количества которых в Восточной Грузии – 7 951, а в Западной – 18 109 рек (табл. I .3.1.1; I .3.1.2; I .3.1.3; I .3.1.4; I .3.1.5).

*) Подробные сведения о водных запасах Грузии приведены в монографиях авторов [И.К. Иорданишвили, К.Т. Иорданишвили – 2008,2009].

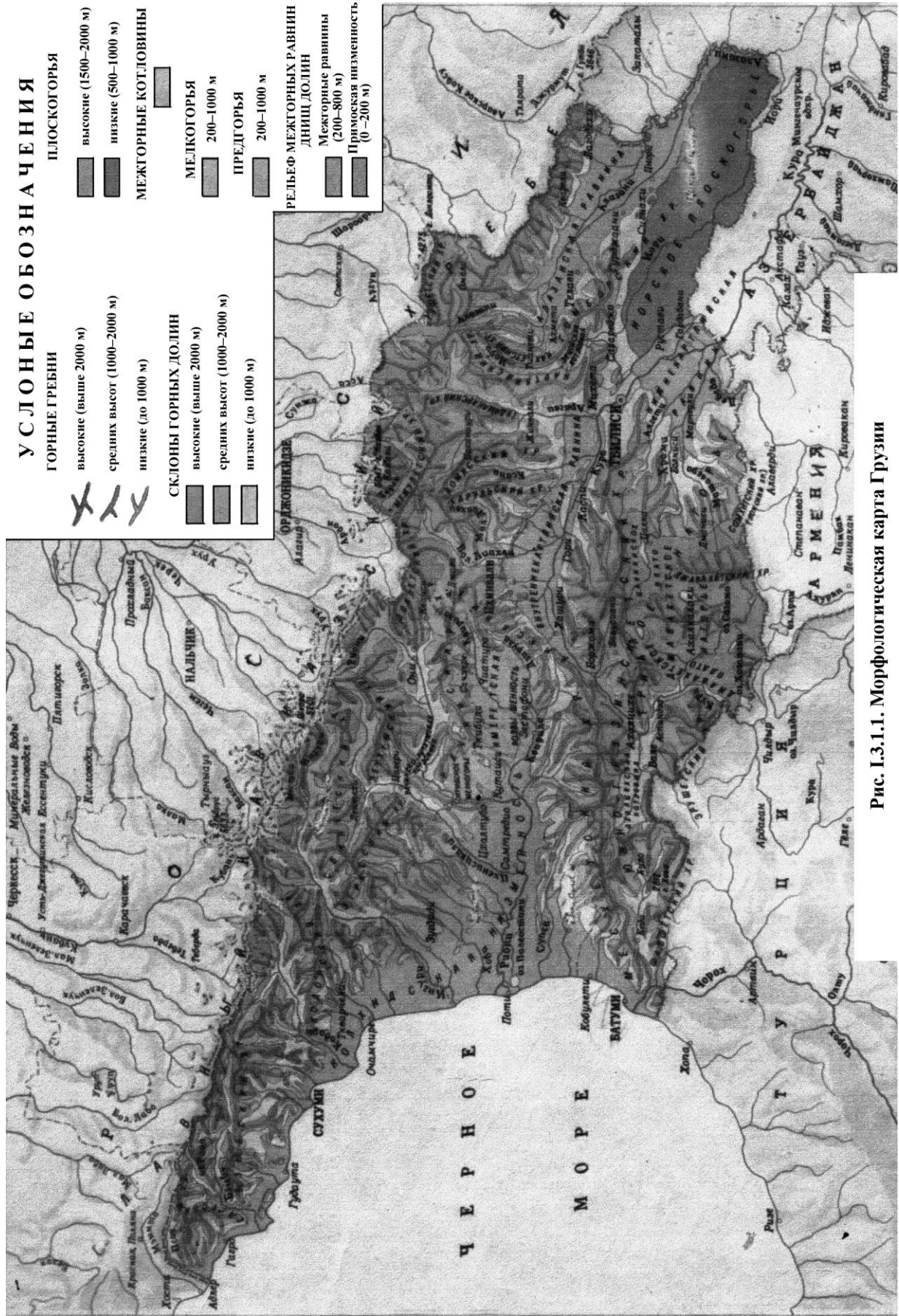


Рис. 1.3.1.1. Морфологическая карта Грузии

Таблица I.3.1.1

Основные показатели рек Грузии

Площадь территории	Количество рек (числитель), длина (знаменатель), км					Густота речной сети км/км ²
	Очень малые $L \leq 25$ км	Малые $L \geq 26 \div$ 100 км	Средние $L = 100 \div$ 500 км	Крупные $L > 500$ км	Всего	
Западная Грузия						
32 434	$\frac{18036}{30946}$	$\frac{64}{2723}$	$\frac{9}{1373}$	–	$\frac{18109}{35042}$	1,07
Восточная Грузия						
37 214	$\frac{8869}{19544}$	$\frac{77}{3\ 020}$	$\frac{4}{971}$	$\frac{1}{513}$	$\frac{7951}{23925}$	1,14
Всего					$\frac{26060}{58967}$	

Таблица 1.3.1.2

Запас воды в реках Грузии

Регион	Площадь региона тыс. км ²	Площадь водосбора тыс. км ²	Местный сток, км ³	Сток с соседних территорий, км ³	Общий сток, км ³	%
Восточная Грузия	37,28	46,66	12,64	2,07	14,71	22,3
Западная Грузия	32,42	52,60	43,60	7,44	51,13	77,7
Всего					65,84	100

Таблица I.3.1.3

Основные реки Грузии

№	Название бассейна реки	Количество рек в бассейне	№	Название бассейна реки	Количество рек в бассейне
1	2	3	4	5	6
Западная Грузия					
1.	Квирила	2906	12.	Риони	384
2.	Супса	1428	14.	Хобис-Цкали	333
3.	Хоби	1418	15.	Гализга	317
4.	Дзирула	1386	16.	Чирухис-Цкали	305
5.	Кодори	1307	17.	Амткели	274
6.	Цхенис-Цкали	897	18.	Диди Эрис-Цкали	271
7.	Натанеби	727	19.	Гумиста	244

Таблица I.3.13 (продолжение)

1	2	3	4	5	6
8.	Бзыбь	614	20.	Ингури	242
9.	Техура	503	21.	Джуми	234
10.	Ханис-Цкали	413	22.	Джручула	225
11.	Чолабури	402	23.	Остальные все	2945
13.	Чолоки	334			
Всего в Западной Грузии					18109
Восточная Грузия					
1.	Кура	4882	3.	Алазани	1803
2.	Иори	509	4.	Терек, Асса, Андоки, Аргуни, Пирикита Алазани, Тушетис Алазани	575
Всего в Восточной Грузии					7951
Всего в Грузии					26060

Таблица I.3.14

**Классификация основных рек Западной Грузии
по среднегодовым расходам и длине**

№	Наименование реки или притока	Среднегодовой расход реки, Q м ³ /сек	Длина реки, км	Наименование основной реки (водохранилища)
1	2	3	4	5
1.	Лагваши	0,21	42.0	Тумуши
2.	Бужа	0,38		Чолабури
3.	Усахело	0,54		Хевис-Цкали
4.	Гезрула	0,90		Дзирула
5.	Чешура	0,92	13.0	Шабат-геле
6.	Хелмосмула	0,95	16.0	Дзирула
7.	Сантраула	1,26	12.0	Риони
8.	Чхара	1,29	17.0	Чолабури
9.	Пискиарис-Цкали	1,37	14.0	Джручула
10.	Корулдаши	1,45	11.0	Зесхо
11.	Шугри (Ушба)	1,47		Долра
12.	Кулис-Кари	1,48	25.0	Джуми
13.	Усахело	1,51		Цхенис-Цкаро
14.	Бешта	1,61	11.5	Ахеи
15.	Гулиа-Чала	1,61		Долра
16.	Ачква	1,66	19.0	Кинтриши
17.	Рикотула	1,68	14.5	Дзирула
18.	Цхенис-Цкаро	1,70	22.0	Черное море

Таблица I.3.14 (продолжение)

1	2	3	4	5
19.	Шабат-Геле	1,76	15.0	Квирила
20.	Хари	1,86	14.0	Риони
21.	Кვირის-ცკალი	1,87	14.0	Гუბაზეული
22.	Пхистა	1,88	14.0	Псоу
23.	Дохварта	1,90	17.0	Апста (Баклановка)
24.	Усахело	1,98	7.0	Ладжанური
25.	Кинкриша	2,01	16.7	Кинтриши
26.	Нацарула (Цоцарула)	2,05	14.0	Риони
27.	Хარის-ცკალი	2,07	11.0	Лухუნის-ცკალი
28.	Садзелის-Хеვი	2,13	14.0	Квирила
29.	Ламкаცი	2,15	11.5	Виамиши
30.	Модуლის-ცკალი	2,15	11.5	Чихურის-ცკალი
31.	Лаил-Чала	2,19	11.0	Ингури
32.	Гобишури	2,24		Цхენის-ცკალი
33.	Мухრა	2,26	11.2	Цхენის-ცკალი
34.	Аскის-ცკალი	2,34	15.0	Риони
35.	Беши	2,34	10.0	Псоу
36.	Зана	2,35	32.0	Хоби (Хобის-ცკალი)
37.	Гвизга	2,40	20.0	Квирила
38.	Агепста	2,41		Черное море
39.	Дехва	2,41	18.2	Черное море
40.	Лехла	2,42		Хумфрери
41.	Башиқвари	2,46		Галидзга
42.	Тბეტი	2,48	15.3	Чихურის-ცკალი
43.	Тумуши	2,53	32.0	Черное море
44.	Цумური	2,53	11.0	Восточная Гумиста
45.	Оджоха	2,58	15.1	Чхартоლა
46.	Дзуса	2,62	29.0	Чолабури
47.	Думала	2,63	34.5	Дзирула
48.	Ураши	2,63	20.0	Тхеиши
49.	Хопური	2,63		Цхენის-ცკალი
50.	Геджири	2,68	13.7	Галидзга
51.	Гагрипши	2,70	10.0	Черное море
52.	Зима	2,70	16.0	Кодори
53.	Зопхитура	2,71	10.0	Риони
54.	Велеула (Чалит)	2,81		Риони
55.	Лахами	2,86	13.0	Ненскра
56.	Халдес-Чала	2,86	12.0	Ингури
57.	Аршира	2,87	17.0	Ингури

Таблица I.3.14 (продолжение)

1	2	3	4	5
58.	Лектарешы	2,87	19.5	Цхенис-Цкали
59.	Лаишура	2,99	21.5	Ханис-Цкали
60.	Авадхара	3,00		Лашипсе
61.	Цкалтубо	3,07	20.0	Губис-Цкали
62.	Бжолис-Хеви	3,10	27.5	Чхеримела
63.	Дзеври (Ткибулати)	3,13	26.7	Чолабури
64.	Кершавети	3,15	28.0	Ханис-Цкали
65.	Чала	3,18	19.0	Цкалцитела
66.	Решва	3,19	14.0	Бзибь
67.	Пшица	3,20	11.6	Бзибь
68.	Кабирваш-Квара	3,26	8.5	Бутихахи
69.	Джудари	3,27	12.0	Хеледула
70.	Игри	3,30	21.5	Хипста (Тетри)
71.	Анариа	3,31	24.0	Гализга
72.	Колаша	3,32	18.0	Губазеули
73.	Сацихури	3,32	16.4	Ачарис-Цкали
74.	Аскис-Цкали	3,34	15.0	Риони
75.	Гарула	3,34		Риони
76.	Беслети	3,41	14.6	Черное море
77.	Инцра	3,42	16.0	Чанис-Цкали
78.	Корулдаши	3,45	11.0	Зесхо
79.	Улиси	3,46	14.0	Мокви
80.	Мериси (Акаврети)	3,50	21.5	Ачарис-Цкали
81.	Хевис-Цкали	3,53	26.0	Риони
82.	Чихура	3,55	18.8	Квирила
83.	Гедура (Хахиетис Цкали)	3,57	15.6	Квирила
84.	Очхамури	3,60	19.0	Чолоки
85.	Барамидзе-Цкали	3,63	20.5	Супса
86.	Чхороцку	3,64	11.0	Техури
87.	Чхоуши	3,76	44.0	Джуми
88.	Ногела	3,85	57.5	Риони
89.	Ачис-Цкали	3,88	24.5	Бжужа
90.	Чога	3,89	12.0	Очхамури
91.	Арваши	3,91	23.0	Джампали
92.	Грибза	3,96	11.0	Бзипи
93.	Кумури	3,98	27.0	Риони
94.	Королис-Цкали	4,08	14.1	Черное море
95.	Мачара	4,19	20.5	Черное море
96.	Буджа	4,24	42.0	Чолабури

Таблица I.3.14 (продолжение)

1	2	3	4	5
97.	Чешура	4,27	13.5	Риони
98.	Виамиши	4,29	11.0	Кодори
99.	Джовеквара	4,36	19.0	Черное море
100.	Адишчала	4,37	16.0	Ингури
101.	Джанаула	4,38	20.5	Цхенис-Цкали
102.	Окаце	4,43	13.8	Цхенис-Цкали
103.	Аданге	4,45	13.0	Чхалта
104.	Ахипста	4,45	17.3	Западное Гумиста
105.	Чолоки	4,46	25.0	Черное море
106.	Каслети	4,47	21.8	Тхеиши
107.	Лараквава	4,47	17.5	Ингури
108.	Сакраула	4,56	49.0	Ханис-Цкали
109.	Дуаби	4,78	25.0	Мокви
110.	Локнари	4,80	1.5	Местиа-Чала
111.	Ахеи	4,83	14.0	Бавиу
112.	Цапери (Джабеши)	4,91	4.0	Мулхура
113.	Чхартола	4,99	19.0	Окуми
114.	Дгамиши	5,25	31.0	Черное море
115.	Далари	5,45	11.0	Ненскра
116.	Птиши	5,65		Чхалта
117.	Бахвис-Цкали	5,85	42.3	Супса
118.	Джручула	5,87	20.0	Квирила
119.	Ласкануна	6,02	24.0	Цхенис-Цкали
120.	Чванис-Цкали	6,04	25.6	Ачарис-Цкали
121.	Цабларас-Цкали	6,07	28.5	Ханис-Цкали
122.	Очхамури	6,28	46.0	Хобби (Хобис-Цкали)
123.	Циви	6,37	56.3	Риони
124.	Рицеула	6,40	21.6	Риони
125.	Цачхури	6,70	11.7	Техури
126.	Хумпрери (Лешкури)	6,71	23.6	Ингури
127.	Зесхо	6,73	19.5	Цхенис-Цкали
128.	Лехидари	6,93	21.5	Риони
129.	Гагида (Хумушкури)	7,06	31.7	Черное море
130.	Сакао (Сакаура)	7,15	29.3	Риони
131.	Чанчахи	7,27	20.5	Риони
132.	Сулори	7,37	31.0	Риони
133.	Схалта	7,39	28.0	Ачарис-Цкали
134.	Бутихахи	7,59	12.2	Брамба

Таблица I.3.14 (продолжение)

1	2	3	4	5
135.	Дарчи (Ормолети)	7,64	29.7	Ненскра
136.	Шараула	8,04	22.2	Риони
137.	Местиа-Чала	8,21	9.8	Мулхура
138.	Мичиши (Шави)	8,21	24.8	Черное море
139.	Долра	9,48	23.7	Ингури
140.	Хипста (Тетри)	9,89	31.0	Черное море
141.	Накра	9,94	25.4	Ингури
142.	Магана	9,98	28.3	Ингури
143.	Цкалцитела	10,20	49.7	Квирила
144.	Хашупсе	10,30	29.2	Черное море
145.	Ладжанури	10,50	40.8	Риони
146.	Пичори	10,80	66.5	Палиастомское озеро
147.	Джампали	11,10	21.4	Амткели
148.	Гобишури	11,30		Цхенис-Цкали
149.	Джуми	11,50	60.9	Ингури
150.	Диди Эрис-Цкали	11,60	32.1	Окуми
151.	Чихурис-Цкали	11,60	38.0	Ачарис-Цкали
152.	Лухунис-Цкали	11,70	38.0	Риони
153.	Брамба (Рашкварит)	12,20	25.5	Кодори
154.	Тхеиши	12,20	18.6	Ингури
155.	Чолабури	12,40		Квирила
156.	Джеджора	12,50	52.0	Риони
157.	Апста (Баклановка)	12,60	32.0	Черное море
158.	Бавиу	12,70	30.3	Бзибь
159.	Чхеримела	13,10	40.5	Дзирула
160.	Келасури	13,30	45.4	Черное море
161.	Чаквис-Цкали	13,30	25.0	Черное море
162.	Чанис-Цкали	13,40	56.0	Хоби (Хобис-Цкали)
163.	Восточная Гумиста	13,60	32.5	Западная Гумиста
164.	Бжужа	13,60	32.5	Натанеби
165.	Абаша (Абашис-Цкали)	14,06	69.0	Техури
166.	Хеледула	12,10	36.0	Цхенис-Цкали
167.	Губис-Цкали	14,30	57.6	Риони
168.	Губазеули	14,90	49.3	Супса
169.	Лашипсе и Иупшара	15,70	37.6	Гега
170.	Мокви	18,30	47.0	Черное море
171.	Кинтриши	18,50	43.7	Черное море
172.	Псоу	18,60	53.4	Черное море

Таблица 1.3.14 (продолжение)

1	2	3	4	5
173.	Гвиндра	18,85	24.8	Кодори
174.	Дзирула	20,83	94.4	Квирила
175.	Сакени	21,00	33.0	Кодори
176.	Мачахелис-Цкали	21,20	37.0	Чорохи
177.	Мулхура	21,40	27.4	Ингури
178.	Ханис-Цкали	22,00	21.0	Риони
179.	Галидзга	23,60	53.0	Черное море
180.	Окуми	24,20	56.0	Черное море
181.	Натанеби	24,50	62.2	Черное море
182.	Амткели	25,60	36.7	Кодори
183.	Гега	27,50	28.2	Бзыбь
184.	Ненскра	36,30		Ингури
185.	Гумиста	37,00	49.7	Черное море
186.	Гурземи	37,00	20.0	Техура
187.	Чхалта	39,30	49.7	Кодори
188.	Супса	45,20	118.0	Черное море
189.	Ачарис-Цкали	46,20	88.5	Чорохи
190.	Хоби (Хобис-Цкали)	51,20	125.5	Черное море
191.	Техура	51,60	98.6	Риони
192.	Цхенис-Цкали	81,90	184.5	Риони
193.	Квирила	86,60	152.7	Риони
194.	Бзыбь	93,20	101.5	Черное море
195.	Кодори	118,00	78.6	Черное море
196.	Ингури	173,00	206.3	Черное море
197.	Чорохи	283,00	31.3	Черное море
198.	Риони	415,00	333.0	Дзирула

Таблица 1.3.15

**Классификация основных рек Восточной Грузии
по среднегодовым расходам и длине**

№	Наименование реки или притока	Среднегодовой расход реки, Q м ³ /сек	Длина реки, км	Наименование основной реки (водохранилища)
1	2	3	4	5
1.	Усен-кенди	0.05		Мухиани
2.	Тори	0.12		Борджомула
3.	Цисквилис-Цкали	0.15		Пирикита Алазани
4.	Корсу-Чаи	0.16	18	Храмское водохранилище
5.	Приток Машавера	0.16		Машавера

Таблица I.3.15 (продолжение)

1	2	3	4	5
6.	Сопера (Херхемала)	0.19		Челти
7.	Сацхენиси	0.19		Лочини
8.	Глданула (Лелубнис-Хеви)	0.20	17	Кура
9.	Дигмис-Цкали	0.20		Кура
10.	Лаиант-Хеви	0.20		Иори
11.	Тинио-Хеви	0.21	15	Нареквави
12.	Аркала (Анала)	0.23	12	Арагви
13.	Квенамтис-Цкали	0.25		Шави Арагви
14.	Асурети	0.26	15	Алгети
15.	Мацанцара (Телавис-Хеви)	0.26	21	Алазани
16.	Талавер-Чаи (Кизилкела-Чаи)	0.26		Болниси
17.	Лок-Чаи	0.27	15	Болниси
18.	Чив-Чава	0.28	19	Храми
19.	Магомет-Чаи (Гиулмагомет-Чаи)	0.29	14	Болниси
20.	Балаванис-Цкали (Балаванис-Хеви)	0.30	11	Тана
21.	Борбала	0.30	13	Поцховис-Цкали
22.	Кара-Су	0.31	15	Машавера
23.	Приток Ташли-Кишла	0.36		Ташли-Кишла
24.	Приток Лопота	0.38		Лопота
25.	Паремис-Цкали	0.38		Пирикита Алазани
26.	Гавазурас-Цкали (Гудалура)	0.39		Кавтура
27.	Банис-Хеви	0.40		Кура
28.	Нориос-Цкали	0.40		Лочини
29.	Самсара	0.42		Корхи
30.	Вицхо	0.43	14	Тезами
31.	Кено	0.43		Иори
32.	Шави-Цкали	0.44	17	Гуджаретис-Цкали
33.	Кодалас-Цкали	0.45	27	Кура
34.	Тилиани	0.45		Сурамула
35.	Кор-Су	0.46		Храми
36.	Шулавери	0.49	38	Храми
37.	Орвили	0.50		Алазани
38.	Цирдалис-Хеви	0.50		Арагви
39.	Гвалиани	0.53		Дзама
40.	Хачкои	0.55		Гумбат-Хеви
41.	Дид-Хеви	0.56		Пирикита Алазани

Таблица I.3.15 (продолжение)

1	2	3	4	5
42.	Асланка	0.55	29.5	Храми
43.	Приток Цинубани-Цкали	0.66		Цинубнис-Цкали
44.	Солдис-Цкали	0.69		Лехура
45.	Бзис-Цкали	0.70	15	Алгети
46.	Идумала	0.70		Кура
47.	Магарос-Цкали	0.70		Пшавис Арагви
48.	Надзвис-Хеви	0.70	39	Кура
49.	Чешос-Цкали	0.73		Пирикита Алазани
50.	Кирх-Булах	0.74	33.5	Паравани
51.	Кавтура	0.76	26.7	Кура
52.	Курцхана	0.78		Абастумнис-Цкали
53.	Ниала	0.80		Кура
54.	Ота-Су	0.80		Кура
55.	Сатибе	0.80		Дзама
56.	Чобарети	0.81	22	Паравани
57.	Лочини	0.83	37	Кура
58.	Сагоме	0.85		Иори
59.	Хевгрдзели	0.88		Илто
60.	Тусреби	0.89	18	Храми
61.	Двири	0.90		Кура
62.	Тезами	0.90	28	Арагви
63.	Кирболула	0.92	31	Меджуда
64.	Гомбори	0.95		Иори
65.	Оле	0.98	29	Иори
66.	Гумбат-Хеви	1.0	22.5	Храми
67.	Сопранис-Цкали	1.0		Тушетская Алазани
68.	Чигмис-Цкали	1.0		Аса
69.	Мошевани (Думаниси)	1.01		Машавера
70.	Ваделури	1.02		Хевсуретская Арагви
71.	Черемис-Хеви	1.06	37.5	Алазани
72.	Джуджиани	1.07	33.5	Храми
73.	Бурса	1.10	27	Алазани
74.	Рокис-Цкали	1.12		Диди Лиахви
75.	Алеви (Алеура)	1.13	21	Ксани
76.	Циви	1.14		Кисис-Хеви
77.	Джута	1.16		Шави Арагви
78.	Чаребула	1.17	33	Меджуда
79.	Мухиани	1.18	12.7	Храми
80.	Ташли-Кишла	1.19	16	Кура
81.	Вере	1.22	38.5	Кура

Таблица I.3.15 (продолжение)

1	2	3	4	5
82.	Цинубнис-Цкали	1.23	18.8	Кура
83.	Баисубани	1.26		Чартлис-Хеви
84.	Гуро-Цкали	1.26		Аргуни
85.	Чхери	1.29		Терек
86.	Лопани-Цкали	1.3		Западная Проне
87.	Шара-Хеви	1.3		Пшавская Арагви
88.	Сарпдере	1.33	19	Машавера
89.	Болниси (Хачин-Чаи)	1.38	44.5	Машавера
90.	Нареквави	1.41	41	Арагви
91.	Шрома-Хеви	1.42	45	Алазани
92.	Цаватис-Цкали	1.42		Душетская Алазани
93.	Апени (Ареша)	1.44		Кабали
94.	Кхонис-Цкали	1.45		Андаки
95.	Хевис-Чала	1.46		Алазани
96.	Инцоба	1.50	22.5	Алазани
97.	Чигос-Хеви	1.50		Пирикита Алазани
98.	Чаросалдари	1.50		Кабали
99.	Кисис-Хеви	1.53		Алазани
100.	Шави Арагви 1	1.57		Терек
101.	Чанчахис-Цкали	1.59		Андаки
102.	Корхи	1.64		Шави Арагви
103.	Кабахи	1.67		Терек
104.	Дзамата	1.68	11	Диди Лиахви
105.	Храмские родники	1.68	14	Храми
106.	Чурта	1.75	18	Ксани
107.	Суетис-Дони	1.76		Терек
108.	Рокис-Цкали	1.77		Диди Лиахви
109.	Бидера	1.81		Терек
110.	Чобаретис-Цкали	1.81		Уравели
111.	Агри-Чаи	1.82		Паравани
112.	Бачало	1.83		Иори
113.	Адеди	1.87		Иори
114.	Ларованис-Цкали	1.88		Пирикита Алазани
115.	Лехура	1.88	47	Кура
116.	Босели	1.92		Шави Арагви
117.	Хадис-Хеви	1.95		Арагви
118.	Агрикари	2.06		Храми
119.	Гормаглис-Хеви	2.1		Хевсурская Арагви
120.	Авневи	2.14		Восточная Проне
121.	Чорат-Хеви	2.15	28	Сурамула

Таблица I.3.1.5 (продолжение)

1	2	3	4	5
122.	Тана	2.17	41.2	Кура
123.	Цкарос-Тави	2.19		Аса
124.	Гудиси	2.2	24	Диди Лиахви
125.	Ходашнис-Цкали	2.2		Алазани
126.	Турдо	2.28	32.5	Алазани
127.	Ори-Цкали	2.31		Тушетская Алазани
128.	Пичурис-Цкали	2.33		Патара Лиахви
129.	Гимара-Дони	2.41		Терек
130.	Бакур-Хеви	2.42		Арагви
131.	Мна	2.43		Терек
132.	Приток Самкурис-Цкали	2.43	19	Самкурис-Цкали
133.	Абастумнис-Цкали (Оцхе)	2.51	18	Коблиани
134.	Дид-Хеви	2.66		Лопота
135.	Цхрадзма	2.67	15	Ксани
136.	Тедзами	2.76	55.5	Кура
137.	Приток Стори	2.80	15	Стори
138.	Борджомула	2.83	23.4	Кура
139.	Корхи	2.91	28	Паравани
140.	Аванис-Хеви	2.94		Алазани
141.	Шуа-Проне	2.94	33	Западная Проне
142.	Дзама	2.94	33.7	Кура
143.	Циплованис-Хеви	3.08		Алазани
144.	Тли-Дони	3.1	10	Диди Лиахви
145.	Карабулахи	3.11	35.5	Храми
146.	Ермани	3.14	16	Лиахви
147.	Кистура	3.15		Терек
148.	Кешелта	3.26	20	Пца
149.	Уравели	3.41	32.5	Ташли-Кишла
150.	Дуруджи	3.46	26	Тушетская Алазани
151.	Чанчахис-Алазани	3.62	17	Алазани
152.	Будашени	3.72	18	Кура
153.	Мацим Чаи	3.9		Алазани
154.	Чартлис-Хеви	4.02	41	Алазани
155.	Меджуда	4.13	44.7	Диди Лиахви
156.	Алгети	4.20	112	Кура
157.	Гагва	4.38		Коблиани
158.	Пца	4.39	20.2	Диди Лиахви
159.	Гуджаретис-Цкали	4.74	43.2	Кура
160.	Восточная Проне	5.36	45	Кура
161.	Челти	5.58	29.5	Алазани

Таблица 1.3.15 (продолжение)

1	2	3	4	5
162.	Шара-Хеви	6.40	33	Алазани
163.	Лопота	6,71	32.5	Алазани
164.	Самкурис-Цкали	6.81		Алазани
165.	Илто	6.91	45	Алазани
166.	Машавера	6.98	69	Храми
167.	Западная Проне	7.16	41	Сурамула
168.	Андаки	7,28	26.8	Аргуни
169.	Аса	7.48	20.3	Терек
170.	Шави Арагви 1	7.79	30	Терек
171.	Шави Арагви	7.86	31	Арагви
172.	Патара Лиавхи	8.66	62	Диди Лиавхи
173.	Стори	9.60	41	Алазани
174.	Кодалис-Цкали	10.04	27	Кура
175.	Пирикита Алазани	10.25	49.5	Тушетская Алазани
176.	Хевсуретская Арагви	10.3	26.5	Пшавская Арагви
177.	Сурамула	11.9	45	Кура
178.	Ксани	11.9	89	Кура
179.	Тетри Арагви	12.2	41	Арагви
180.	Аргуни	12.51	22.7	Терек
181.	Коблиани (Кваблиани)	15.9	58.5	Поцховис-Цкали
182.	Паравани	17.80	66	Кура
183.	Поцховис-Цкали	19.10	35.5	Кура
184.	Иори	23.3	183	Мингечаурское водохранилище
185.	Пшавис Арагви	20.5	56	Арагви
186.	Тушетская Алазани	27.0	63.2	Анди-Корсу
187.	Диди Лиавхи	30.0	96	Кура
188.	Дебеда	31.45		Храми
189.	Терек	34.0	71.2	Терек
190.	Арагви (Диди Арагви)	56.1	66	Кура
191.	Храми	63.0	186	Кура
192.	Алазани	98.2	406.6	Мингечаурское водохранилище
193.	Кура	232.0	350.8	Мингечаурское водохранилище

Озерный фонд. На территории Грузии расположены 860 озер (табл. 1.3.1.6; 1.3.1.7; рис. 1.3.1.4; 1.3.1.5). [ო.კ. ორდანიშვილი, კ.თ. ორდანიშვილი; 2008,2009]. Общая площадь озер – 170 км². Коэффициент озерности территории Грузии 0,0024; общий запас озерной воды – 723,24 млн. м³ [ო. ყრუაშვილი, 2008].

Таблица I.3.1.6

Классификация озер Грузии по площади зеркала

№	Тип озера по площади зеркала	Площадь зеркала, км ²	Количество	Общая площадь зеркала, км ²	%	
					От общего количества	От общей площади
1	2	3	4	5	6	7
1.	Очень малые	<0,1	798	8,5	92,8	5,0
2.	Малые	0,1-1,0	47	11,64	5,5	6,8
3.	Достаточно малые	1,0-5,0	7	16,09	0,8	9,5
4.	Средние	5,0-10,0	2	13,82	0,2	8,1
5.	Крупные	10,0-20,0	4	56,23	0,5	33,1
6.	Очень крупные	>20	2	63,73	0,2	37,5
	Всего		860	170,01	100	100

Таблица I.3.1.7

Морфометрические показатели основных озер Грузии

#	Озера	Отметка над уровнем моря, м	Площадь зеркала, F, км ²	Площадь водосборного бассейна F, км ²	Глубина озера, H _{max} , м	Ср. глубина озера H _{ср.} , м	Объем озера V, млн. м ³	$C_1 = \frac{H_{ср}}{H_{max}}$	$\frac{F_1}{F}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Абули	2176	0,8	8,3	1,35	0,9	0,76	0,67	10,4
2.	Адуодаазиши	2411	0.32	2.3	64.0	29.6	9.48	0.46	7.20
3.	Авчала	2053	0.3	20.0	1.1	0.7	0.23	0.64	66.7
4.	Алатубани	1816	0.08	0.89	1.4	0.9	0.08	0.64	11.1
5.	Алигели	1534	0.05	0.23	1.0	0.56	0.03	0.56	4.60
6.	Амткели	512	0.58	153.0	65.0	29.6	18.5	0.46	268
7.	Анишхцара	0.6	0.03	1.2	4.2	2.6	0.07	0.61	40.0
8.	Средняя Арагвистави	2886	0.05	0.08	4.4	2.7	0.14	0.61	1.36
9.	Нижняя Арагвистави	2797	0.07	0.14	4.5	2.8	1.97	0.62	2.0
10.	Арбаза	2788	0.03	1.32	4.1	2.6	0.08	0.63	44.0
11.	Аркиани	1582	0.02	0.28	4.2	2.0	1.60	0.48	3.50
12.	Арчвеби	3078	0.13	4.89	7.9	4.2	0.55	0.53	37.2
13.	Базалети	878	1.22	14.4	7.0	4.5	5.55	0.64	11.8
14.	Батети	1313	0.02	5.2	12.0	7.0	0.14	0.58	26.0
15.	Баретис (Башкова)	1621	1.34	9.3	1.3	0.82	1.10	0.63	6.94
16.	Бebesири	15.9	0.14	0.82	4.6	2.5	0.36	0.54	5.85

Таблица I.3.1.7 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17.	Бугдашени	2040	0.9	69.3	0.9	0.42	0.16	0.47	17.8
18.	Гбуши	2218	0.05	0.94	13.4	5.8	0.32	0.43	18.8
19.	Змеиное (Гвелебиани)	1.8	0.01	0.09	3.8	2.3	0.02	0.53	9.0
20.	Годореби	2736	0.01	0.51	3.9	2.8	0.03	0.72	51.0
21.	Гонио	0.5	0.06	1.1	1.3	0.85	0.05	0.60	2.2
22.	Горафи (Аквараши)	2175	0.08	2.8	15.6	7.7	0.59	0.49	35.0
23.	Григоleti	-0.3	0.1	0.38	5.0	2.75	0.28	0.55	3.8
24.	Длинное (Грдзели)	1584	0.08	0.41	3.9	2.02	1.63	0.52	5.12
25.	Длинное (Харахели)	2784	0.17	0.98	11.9	6.52	1.11	0.55	5.76
26.	Гуригидза	2216	0.02	0.72	5.0	2.2	0.04	0.44	36.0
27.	Дабадзвели	1726	0.01	0.25	4.6	2.9	0.03	0.63	25.0
28.	Медвежье	3066	0.06	0.22	5.2	3.1	0.19	0.59	3.66
29.	Деви	1370	0.02	0.78	10.5	4.9	0.10	0.47	39.0
30.	Дериквардзиши	2531	0.08	0.4	22.0	8.1	0.65	0.37	5.0
31.	Большое Бебесири	15.9	0.61	17.5	4.5	2.3	1.40	0.51	28.7
32.	Большое Нарionali	13.6	0.11	1.05	1.5	0.9	0.09	0.60	9.54
33.	Большое Окроккали	2421	0.1	2.2	26.5	12.0	1.20	0.45	2.2
34.	Диди Рица	884	1.49	155	101	63.1	94.0	0.62	104
35.	Диди Химса	2402	0.02	0.42	11.5	4.9	0.09	21.0	0.42
36.	Эрцо	1711	0.31	5.85	19.0	2.1	0.65	0.21	18.9
37.	Верцхлис (Серебряное)	2425	0.03	0.48	11.1	5.5	0.18	0.49	16.0
38.	Вачиани	1737	0.12	0.67	1.1	0.75	0.09	0.83	5.6
39.	Зрески	1720	1.77	48.4	0.75	0.45	0.80	0.60	27.3
40.	Тина	2225	0.03	0.31	8.5	4.3	0.11	0.50	10.3
41.	Имнати	0.6	0.06	0.48	2.0	1.2	0.07	0.60	8.0
42.	Инкити	-0.8	0.40	19.2	3.2	1.9	0.81	0.59	48.0
43.	Карцахи (Хозапини)	1799	26.3	1.58	(1.0)	0.73	19.3	0.73	6.0
44.	Кахи	1752	0.05	2.78	9.9	6.4	0.32	0.65	55.6
45.	Лагатисари	3173	0.09	0.36	4.3	2.3	0.21	0.53	4.0
46.	Ламази	2808	0.11	1.48	16.5	11.4	1.25	0.69	13.5
47.	Левани	2815	0.06	1.38	2.8	1.8	0.12	0.64	23.0
48.	Лелиани	1554	0.07	0.18	2.7	1.43	0.10	0.53	2.57
49.	Лиси	624	0.47	16.1	4.0	2.6	1.22	0.65	34.2
50.	Лурджи	2596	0.07	2.63	1.9	1.1	0.08	0.57	37.6
51.	Мадатапа	2108	8.78	136	1.7	1.03	9.5	0.63	15.5
52.	Малтаква	0.2	0.03	0.23	6.5	3.9	0.12	0.60	7.67
53.	Мерении	2075	0.22	1.0	1.9	1.1	0.29	0.69	4.5
54.	Меджини	-0.2	0.04	0.09	2.3	1.4	0.05	0.60	2.2
55.	Мзи	2053	0.04	0.8	11.5	5.1	0.23	0.44	20.0
56.	Миндиашвили	1827	0.02	0.46	4.5	2.5	0.05	0.56	23.0
57.	Млаше	2862	0.02	0.51	6.8	4.2	0.09	0.63	25.5

Таблица I.3.1.7 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
58.	Мргвали (Богдановка)	1950	0.05	0.48	1.2	0.8	0.04	0.67	9.6
59.	Мргвали (Гомарети)	1556	0.06	0.15	1.5	0.9	0.05	0.60	2.5
60.	Мруде	2545	0.26	7.8	8.3	5.3	1.42	0.63	30.0
61.	Мцра Грдзели	2524	0.02	0.45	14.2	5.7	0.11	0.40	22.5
62.	Мцра Диди	2184	0.15	1.66	42.0	17.9	2.68	0.43	11.1
63.	Мцра Патара	2286	0.02	0.18	22.9	8.5	0.19	0.37	9.0
64.	Мцване	2058	0.05	1.3	19.4	9.8	0.49	0.45	26.0
65.	Нахевар тба (Башлехел)	2713	0.02	0.21	12.8	6.0	0.12	0.47	10.5
66.	Орлов (Ахмази)	2035	0.22	1.2	2.6	1.71	0.37	0.66	5.45
67.	Палиастоми	-0.3	18.2	5.47	3.2	2.6	5.0	0.81	30.1
68.	Патара Бебериси	14.4	0.09	1.02	1.8	1.1	0.11	0.61	11.3
69.	Патара Нарionali	13.1	0.17	1.11	1.6	0.88	1.49	0.55	6.53
70.	Патара Рица	1235	0.10	2.95	76	33.8	3.25	0.44	29.5
71.	Патара	1951	0.08	0.82	1.25	0.88	0.07	0.70	10.3
72.	Пионерули (Нурие)	-0.2	0.07	0.10	5.1	3.42	0.24	0.67	1.42
73.	Псиквис Диди	2401	0.04	0.49	15.5	5.2	0.21	0.33	12.2
74.	Сакени	1273	0.01	3.1	4.2	2.1	0.02	0.50	31.0
75.	Самсари I	2725	0.04	0.73	6.9	3.2	0.13	0.46	18.2
76.	Самсари II	2816	0.03	1.1	5.9	3.9	0.12	0.67	37.0
77.	Санги	1736	0.20	0.73	4.2	2.5	0.50	0.60	3.65
78.	Сагамо	1996	4.81	528	2.3	1.6	7.7	0.69	110
79.	Сацурблиа	1076	0.02	0.53	7.5	3.55	0.07	0.47	26.5
80.	Сулда I	1911	0.10	0.76	1.7	1.2	0.12	0.71	7.6
81.	Сулда II	1708	0.10	1.25	1.6	1.1	0.11	0.69	12.5
82.	Табакцури	1991	14.2	83.1	40.2	15.5	221	0.39	5.85
83.	Тба (Цалка)	1749	0.12	0.57	1.3	0.62	0.07	0.48	4.75
84.	Тобаварчхили	2650	0.21	1.12	35.0	15.8	3.31	0.45	5.33
85.	Паравани	2073	37.5	234	3.3	2.42	90.8	0.73	6.24
86.	Партоцкали	-0.3	0.21	1.17	3.5	2.1	4.41	0.60	5.57
87.	Кведи	1567	0.09	11.8	14.5	8.2	0.71	0.56	131.1
88.	Квемо Эгриси	1286	0.11	1.8	1.9	1.1	0.12	0.56	1.66
89.	Грма	1560	0.11	0.27	2.3	1.26	0.14	0.55	2.45
90.	Кели	2914	1.28	7.56	63.0	27.8	31.7	0.44	5.9
91.	Келисdziри	3196	0.05	0.14	9.3	5.5	0.28	0.60	2.8
92.	Келицади	3062	0.25	4.51	13.9	8.48	2.12	0.61	18.0
93.	Кочеби	775	0.32	1.3	3.1	1.84	0.59	0.59	4.06
94.	Шави (Дидаджара)	1891	0.02	0.98	7.7	4.7	0.09	0.61	49.0
95.	Шави (Хихадзири)	2125	0.01	0.73	7.1	4.4	0.06	0.61	73.0
96.	Шавморева	597	0.03	0.62	6.1	3.35	0.11	0.55	20.6

Таблица 1.3.1.7 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
97.	Шавджварис Диди	2835	0.08	0.12	8.5	5.4	0.43	0.64	1.5
98.	Шишвели	1864	0.10	0.65	1.45	1.0	0.10	0.69	6.5
99.	Чапаевское	1596	0.04	0.78	2.5	1.5	0.06	0.60	19.5
100.	Черепановское	1419	0.06	0.67	1.4	1.0	0.06	0.71	11.2
101.	Цунда	1339	0.034	1.8	10.8	6.6	0.20	0.61	52.9
102.	Церо	1808	0.02	0.62	6.6	4.2	0.09	0.64	31.0
103.	Цители Цкаро	610	0.08	0.75	5.2	3.1	0.25	0.60	9.38
104.	Цителхатис Диди	2779	0.23	2.42	53.0	19.3	4.56	0.36	10.5
105.	Цителхатис Патара	2785	0.09	0.81	17.7	8.0	0.69	0.45	9.0
106.	Цурблиани	1568	0.12	0.32	3.3	1.82	2.18	0.55	2.67
107.	Хадик	1534	0.14	0.81	1.6	0.86	0.12	0.54	5.78
108.	Ханчали	1928	13.3	176.0	0.8	0.48	6.4	0.60	13.2
109.	Джаджи	2648	0.01	0.89	5.0	3.1	0.103	0.62	89.0
110.	Джандари	291	10.6	102.4	7.2	4.8	51.0	0.66	–
Всего							583.5		

Ледниковый фонд Грузии. 31% водных запасов Грузии составляют ледники, а их талые воды в виде стока рек составляют 15%. В теплый период года (июль-август), когда потребность в воде – максимальная, ледниковый сток воды в общем стоке рек составляет 13,3% (табл. 1.3.1.8; 1.3.1.9).

Таблица 1.3.1.8.

Запас воды в основных ледниках и сток ледниковой воды в Грузии^{*)}

№	Бассейн реки	Запас воды в ледниках, млн. м ³	Ледниковый сток, млн. м ³
Западная Грузия			
1.	Бзыбь	0,11	32,0
2.	Келасури	0,02	4,0
3.	Кодори	1,35	171,0
4.	Ингури	15,60	550,0
5.	Хоби	0,02	6,0
6.	Цхенис Цкали	0,29	15,1
7.	Риони	1,35	78,5
	Всего	18,74	856,6
Восточная Грузия			
1.	Диди Лиахви и Арагви	120.0	18.0
2.	Терек	4960.0	122.0
	Всего	5080.0	140.0
	Всего Грузия	5098.4	

^{*)} Общий запас ледниковой воды Грузии составляет 30130 млн. м³ [ო. ყრუაშვილი 2008]

Озера Восточной Грузии



Озера Западной Грузии

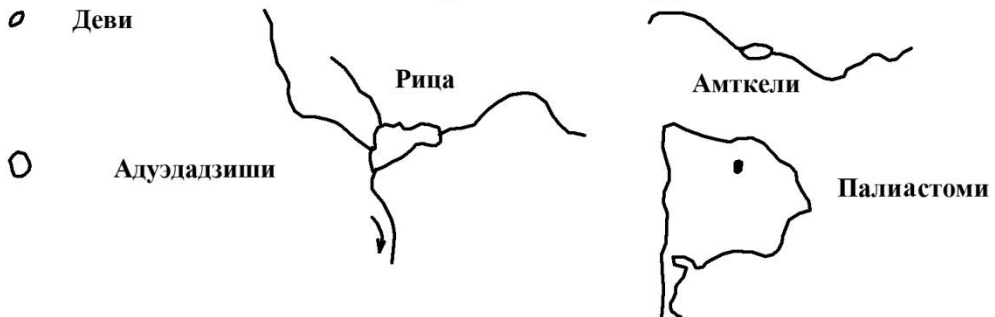


Рис 1.3.1.4. Форма основных озер Грузии (соотносительный масштаб)

Таблица I.3.1.9

Список основных ледников Грузии

№	Название ледников	Район	№	Название ледников	Район
Западная Грузия					
1.	Агепста	Абхазия	16.	Лаила	Сванетия
2.	Псиши	Абхазия	17.	Ласили	Сванетия
3.	Пшиши	Абхазия	18.	Тетнулди	Сванетия
4.	Эрцахи	Абхазия	19.	Кареци	Сванетия
5.	Атбара	Абхазия	20.	Шхара	Сванетия
6.	Мцире Хути	Абхазия	21.	Гистола	Сванетия
7.	Хути	Абхазия	22.	Шота Руставельский	Сванетия
8.	Магвандра	Абхазия	23.	Пушкинский	Сванетия
9.	Гвандра	Абхазия	24.	Газевцеки	Рача
10.	Цалгмили	Сванетия	25.	Гебевцеки	Рача
11.	Донгузоруни	Сванетия	26.	Караугоми	Рача
12.	Шхелда	Сванетия	27.	Чанчахи	Рача
13.	Ратини	Сванетия	28.	Саухохи	Рача
14.	Ушба	Сванетия	29.	Зекари	Рача
15.	Башилтау	Сванетия			
Восточная Грузия					
1.	Кози-Хохи	Шида Картли	15.	Бачахи	Хевская Мтиулетия
2.	Кохи	Шида Картли			
3.	Смухохи	Шида Картли	16.	Сахарис Геле	Хевская Мтиулетия
4.	Халана	Шида Картли			
5.	Гормагала	Шида Картли	17.	Ангелозис Мтис (Гора Ангелов)	Хевская Мтиулетия
6.	Зекари	Шида Картли			
7.	Бурсабдзели	Шида Картли	18.	Мухисмагали	Хевсуретия Тушетия
8.	Цилгахохи	Шида Картли			
9.	Малазгцити	Шида Картли	19.	Тубуло	Хевсуретия Тушетия
10.	Сивераути	Хевская Мтиулетия	20.	Ацунта	Хевсуретия Тушетия
11.	Охис (Мкинварцвери, Чачхоби)	Хевская Мтиулетия	21.	Шаохкорти	Хевсуретия Тушетия
12.	Арзи	Хевская Мтиулетия	22.	Комити	Хевсуретия Тушетия
13.	Куро	Хевская Мтиулетия	23.	Дони	Хевсуретия Тушетия
14.	Мани	Хевская Мтиулетия	24.	Декло	Хевсуретия Тушетия

Болота Грузии по генезису относятся к низинным. Основной массив болот и избыточно увлажненных земель располагается в Западной Грузии. Площадь болот Колхидской низменности составляет 225 тыс. га. Объем водных ресурсов болот составляет 1 862 млн. м³. Наибольшим объемом отличаются болотные массивы Пичора-Палеостомский (1 328 млн. м³), Чаладиди-Потийский (144 млн. м³), Эрисцкальский (96,3 млн. м³) (табл. I.3.1.10)

Таблица I.3.1.10

Основные показатели Колхидских болот

№	Название болот	Район	Объем воды в болотах, млн. м ³	Средняя глубина, м	Площадь зеркала, км ²
1	2	3	4	5	6
1.	Пичора-Палиастоми	Ланчхути, Поты, Хоби	1328,0	8,0	191,0
2.	Чаладиди-Поты	Хоби	194,0	2,0	144,0
3.	I и II Испанские болота	Кобулеты	100,0	6,0	19,0
4.	Эрисцкальское	Гали	93,6	1,0	117,0
5.	Тихори-Чурины	Зугдиди, Хоби	64,8	0,8	90,0
6.	Накереги	Гали	25,2	1,5	21,0
7.	Пичора-Квишони	Гали	21,1	2,0-2,5	13,2
8.	Натанеби-Супса	Озургети	20,2	1,5	15,0
9.	Торси	Зугдиди	8,1	0,15	9,0
10.	Лаитури	Кобулеты	1,6	2,0	1,0
11.	Эрисцкали I	Гали	1,2	1,0	1,5
12.	Чвиртисгеле	Ланчхути	1,12	1,1	1,1
13.	Квешената	Ланчхути	0,8	1,0	1,0
14.	Морчхели	Ланчхути	0,8	1,0	1,0
15.	Джини	Ланчхути	0,79	0,9	1,1
16.	Брос-Чачауди	Гали	0,72	1,0	0,9
	Всего:		1861,7		626,8

Подземные воды Грузии – образованы просачиванием поверхностных вод, они представляют один из основных источников питания рек в маловодный период года. Запас подземных вод Грузии – 10,6 км³, из которого используется всего 15%. 60,5% (6,4 км³) запаса подземных вод расположено в Восточной Грузии, а 39,5% (4,2 км³) – в Западной Грузии (рис. I.3.1.6; табл. I.3.1.11).*)

Таблица I.3.1.11

Основные параметры подземных вод Грузии

Артезианский бассейн	Горизонт подземных вод	Пьезометрический уклон водоносного горизонта	Ширина подземного потока, м
Колхидский	Четвертичные осадки (грунтовые, напорные)	0,010	300 270
Алазанский	Кварельский, Телавский, Гурджаанский	0,010 0,046 0,041	170,0 138,0 40,0
Иори-Ширакский (Лакбе)	Апшерон-Акчагилисский	0,043	15,0
Тбилисский	Акчагилисский	0,020	10,0
Картлийский	Четвертичные осадки	0,030	8,0

*) Общий запас подземных вод Грузии составляет 21,7 км³ [ო. ყრუაშვილი, 2008]

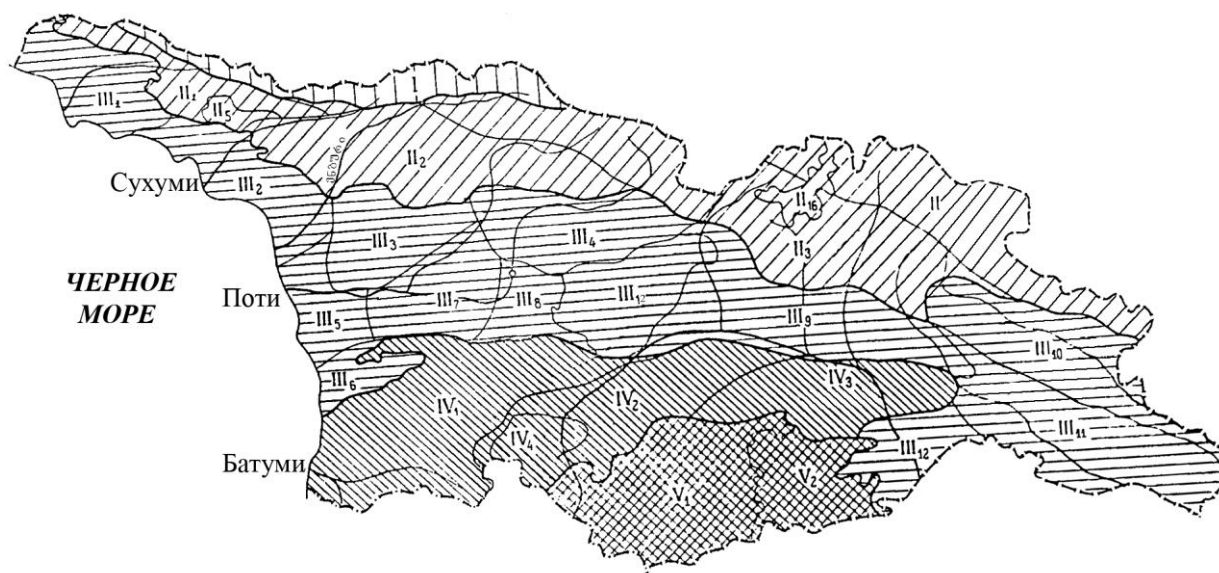






Рис. I.3.1.6 Районирование подземных вод Грузии

Гидрологические области:  – II – водонапорная система Главного Кавказа;  – III – глыбовый артезианский бассейн Грузии;  – IV – водонапорная система Триалетской складчатой зоны;  – V – грунтовые воды Артвинской глыбы.

Общий ресурс подземных вод – 500 м³/сек, который составляет от атмосферных осадков 20%. Распределение подземных вод по гипсометрии Грузии неравномерно – с увеличением отметки территории объем подземных вод увеличивается от 2 до 35,0 л/сек/км².

Показатели фонда термических вод Грузии в виде источников приведены в таблице I.3.1.12.

Таблица 1.3.1.12

Показатели термических вод Грузии

№	Название термических вод	Местоположение	Дебит, л/сек	t ⁰ C
1	2	3	4	5
Западная Грузия				
1	Ткварчели и Ходжалиси	Сванетия	57,0	29-35
2	Гагра, Бичвинта, Бзыбь	Бзыбь	10,5	34-95
3	Сухуми	Кодори	111,1	24-100
4	Зугдиди, Цаиши, Менджи, Накалакеви	Мегрелия	231,4	25-91
5	Кугви, Поты, Чаладиди, Хорга	Колхети	30,1	46-95
6	Цхалтубо, Меквена	Цхалтубо	270,9	29-39
7	Симонети, Зестафони, Свири, Аджамети	Аргвета	1,7	44-62
8	Махинджаури, Томашети, Шеубани, Зекари, Чокиани	Аджария–Триалети	16,0	22-25

Таблица 1.3.1.12 (продолжение)

1	2	3	4	5
Восточная Грузия				
1	Торгва	Мтиулети	65,0	27-37
2	Кавтисхеви, Хеити, Горийская Джвари, Марткопи, Уджарма	Картли Кахетия	15,1	24-53
3	Кила-Купри	Иори-Шираки	681,0	65
4	Цкалтбила, Ацкури, Ахалцихе, Абастумани, Аспиндза	Ахалцихе	60,0	22-48
5	Двири, Ликани, Садгери, Ахалдаба, Ташискари, Банисхеви, Квишхети, Рвели, Квибиси, Занави, Вашловани, Папа, Митарби, Нуниси, Никабети	Триалети	134,0	26-41
6	Тбилисская	Тбилиси	260,0	27-52
7	Артвини-Сомхити	Болниси	40,0	41

Всего 1983,0

На территории Грузии расположено до 1000 родников *минеральной воды*, которые отличаются своими лечебными свойствами (табл. I.3.1.13, рис I.3.1.7).

Таблица I.3.1.13

Гидрологические показатели минеральных вод Грузии

№	Название минеральных вод	Расположение	Дебит вод
Западная Грузия			
1	Авадхара	Абхазия	8,0 л/сек
2	Уцера	р. Риони	0,005 л/сек
3	Ткварчели		3,5-6,7 л/сек
4	Лугела и Скуре	р. Хобис-Цкали и р. Чанис-Цкали	1,25 л/сек
5	Сухуми	р. Беслети	11,8 л/сек
6	Менджи	Сенаки	0,3 л/сек
7	Цхалтубо	р. Цхалтубо	250,0 л/сек
8	Саирме	р. Цабли	1,05 л/сек
9	Набеглави	р. Губазоули	1,0 л/сек
10	Махинджаури	Батуми	4,5 л/сек
Восточная Грузия			
1	Багиани	р. Диди Лиавхи	14500,0 л/сутки
2	Пасанаури	р. Тетри Арагви	700,0 л/сутки
3	Важас-Цкаро	р. Пшавская Арагви	0,8 л/сек
4	Джава	р. Диди Лиавхи	6,0 л/сек
5	Боржоми	р. Кура	1800 м ³ /сутки
6	Зваре	р. Чхеримела	15000 л/сутки
7	Тбилиси	р. Кура	74,0 л/сутки
8	Вардзия	р. Кура	22,0 л/сек

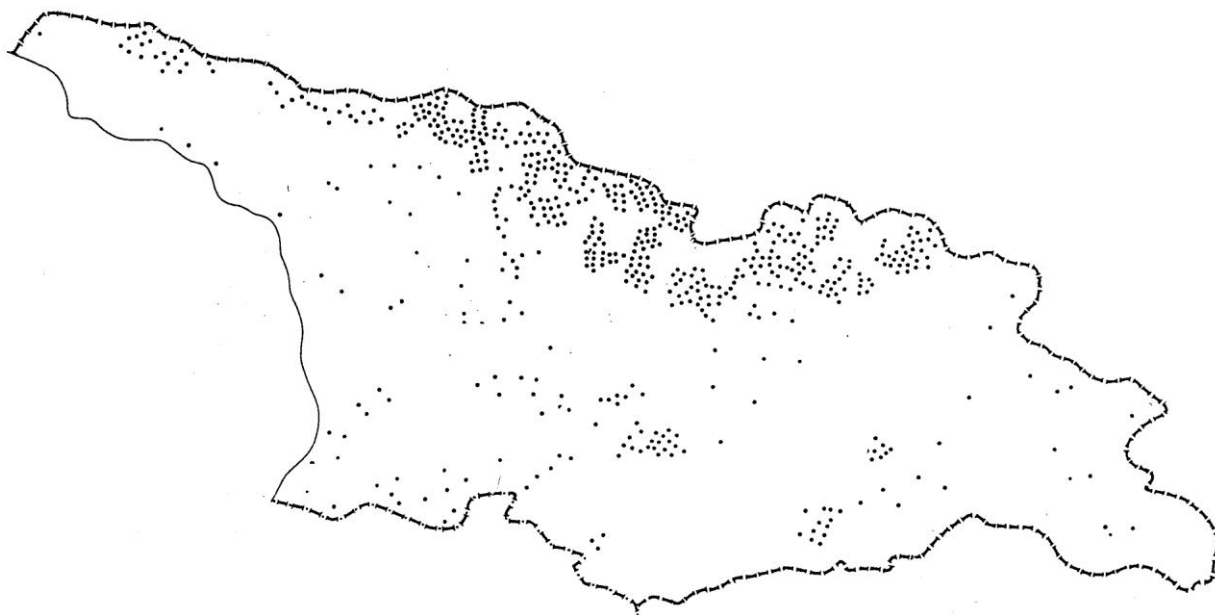


Рис. I.3.1.7. Расположение минеральных водников на территории Грузии

Фонд каналов Грузии. Основные данные действующих каналов приведены в таблицах I.3.1.14, I.3.1.15 и на рис. I.3.1.8, I.3.1.9.

Таблица I.3.1.14

Показатели мелиоративного фонда Грузии

№	Характеристики	Ед. изм.	Показатели
Западная Грузия			
1	Площадь, которая подлежит орошению	тыс. га	331
2	Площадь, которая уже орошалась в 1991 г.	тыс. га	57,92
3	Количество систем орошения в 1991 г.	шт.	171
4	Площадь, которая уже орошалась в 2005 г.	тыс. га	39,71
5	Количество систем орошения в 2005 г.	шт.	10
6	Длина ирригационных каналов в 1991 г.	тыс. км	1,72
7	Длина ирригационных каналов в 2005 г.	тыс. км	0,12
Восточная Грузия			
1	Площадь, которая подлежит к орошению	тыс. га	1346
2	Площадь, которая уже орошалась в 1991 г.	тыс. га	448,74
3	Количество систем орошения в 1991 г.	шт.	330
4	Площадь, которая уже орошалась в 2005 г.	тыс. га	280,92
5	Количество систем орошения в 2005 г.	шт.	23
6	Длина ирригационных каналов в 1991 г.	тыс. км	23,06
7	Длина ирригационных каналов в 2005 г.	тыс. км	0,96



Рис. I.3.1.8. Схема оросительных каналов Грузии (нумерация каналов по табл. I.3.1.15)

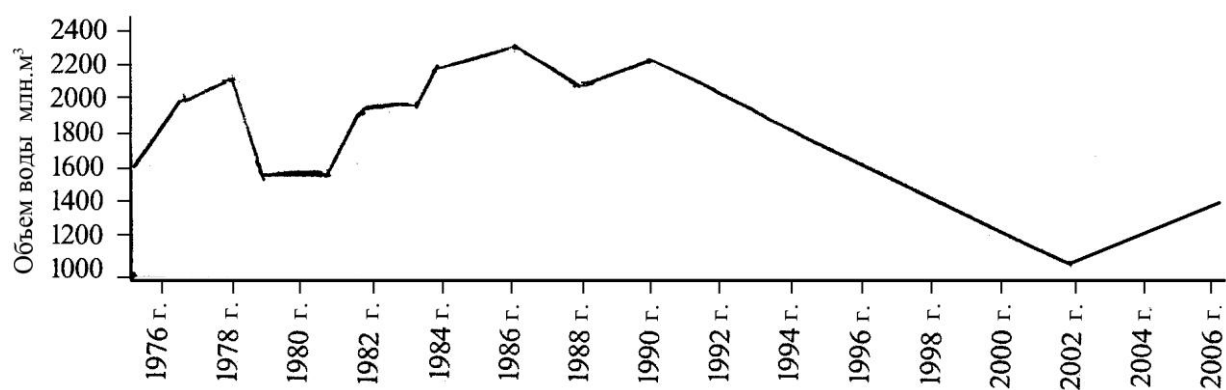


Рис. 1.3.1.9 График обеспечения водой орошаемых земель Грузии

Таблица 1.3.1.15

Действующие основные оросительные каналы Грузии

№	По рисунку I.3.1.15	Название канала	Орошаемая площадь, га	Длина магистрального канала, км	Расход воды, м³/с	Источник питания	Год ввода в эксплуатацию
1	2	3	4	5	6	7	8
Каналы Восточной Грузии $Q > 20 \text{ м}^3/\text{с}$							
1	1	Нижне-Алазанский	32615.0	91.03	24.0	р. Алазани	1928
2	2	Верхне-Алазанский	29904.0	89.2	24.0	р. Алазани	1989
3	4	Нижне-Самгорский Левый	31180.0	76.39	21.7	р. Иори	1967
4	5	Нижне-Самгорский Правый	31180.0	76.39	21.7	р. Иори	1967

Таблица 1.3.1.15 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
$Q = 20 \div 10 \text{ м}^3/\text{с}$							
5	8	Гардабанский	12635.0	12.1	16.0	р. Кура	1867
6	6	Верхне-Самгорский	30283.0	82.77	13.0	р. Иори	1952
7	14	Тирифонский	28390.0	50.0	12.5	р. Д. Лиахви р. П. Лиахви	1928
8	18	Ташикарский	15031.0	63.8	12.0	р. Кура дер. Ахалдаба	1958
9	3	Зилича	15031.0	63.8	12.0	р. Алазани	1958
10	7	Нижне-Самгорский	30293.0	82.77	12.0	р. Иори Тбилисское водохранилище	1952
$Q = 10 \div 5 \text{ м}^3/\text{с}$							
11	10	Тбиси-Кумисский	12466.0	11.1	9.0	Алгетское в-ще	1988
12	9	Храм-Архский	10014.0	65.6	9.0	р. Храми	
13	16	Ванатский	4456.0	11.1	7.0	р. П. Лиахви Дер. Ванати	1953
14	15	Салтвисский	9762.0	19.0	6.5	р. Д. Лиахви г. Цхинвал	1950
15	11	Мухранский	14718.0	24.5	6.0	р. Арагви	1958
16	13	Тези-Окамский	4441.0	33.79	5.0	р. Ксани дер. Ахмаджта	1956
$Q < 5 \text{ м}^3/\text{с}$							
17	17	Кехвский	4079.0	25.1	3.5	р. Д. Лиахви дер. Кехви	1967
18	19	Скра-Карельский	3210.0	28.8	2.8	р. Кура	
19	12	Сагурамойский	2665.0	37.75	2.0	р. Арагви р. Тедзами	1966
Всего			325 343.0				
Каналы Западной Грузии							
$Q = 10 \div 20 \text{ м}^3/\text{с}$							
1	23	Хони-Самтрედский	14 134,0	13,0	13,0	р. Цхенис-Цкали	
$Q < 5 \text{ м}^3/\text{с}$							
2	27	Аджаметский	2 799,0	30,16	3,0	р. Квирила	
3	26	Дими-Рикотский	1 000,0	3,37	1,5	р. Хонис Цкали	
4	21	Ецерский	471,0	6,4	1,2	р. Дзеврула	
5	28	Варцихский	695,0	8,15	1,0	р. Хонис Цкали	
6	24	Цихе-Сулорский	323,0	4,51	0,51	р. Сулори	
7	20	Ходабунский	429,0	9,4	0,5	р. Квирила	
8	22	Сиктарвиский	79,0	2,0	0,3	р. Дзеврула	
9	29	Апхантуриский	250,0	4,7	0,3	р. Хонис Цкали	
Всего			20 180,0				

Основные компоненты водных запасов Грузии представлены в табл. I.3.1.16

Таблица I.3.1.16

Компоненты водных запасов Грузии

Показатели водных запасов	Реки	Озера	Водохранилища ^{*)}	Ледники	Подземные воды	Болота	Каналы	Термические воды	Минеральные воды	Всего
Объем воды, км ³	65,84	0,58	3,482	5,099	10,6	1,86	1,2	0,062	0,021	88,744
%	74,19	0,65	3,95	5,74	11,94	2,09	1,35	0,07	0,02	100

Т.о., основной компонент пресных водных запасов Грузии – речной сток.

I.3.2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ТИПИЗАЦИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ ГРУЗИИ И ИХ ВОДОПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Комплексное гидросооружение – водохранилище с плотиной, имеющее цель – создание искусственного водоема для накопления воды, регулирования стока и достижение "командной" высоты орошаемых земель имеют в Грузии доисторические корни.

Густота гидрографической сети и горные условия местности Грузии исторически обусловили создание каналов с малыми расходами.

Начало ирригации в Грузии приурочено к третьему тысячелетию до н.э. Естественный сток рек обеспечивал практически требования мелких хозяйств. В дальнейшем повышение уровня использования земель, объединение хозяйств и др. факторы обусловили необходимость регулирования стока.

Оросительная сеть в Грузии развилась особенно интенсивно после походов Александра Македонского (IV в. до н. э.). Страбон указывает, что здесь земли орошаются больше, чем в Египте и Вавилоне (I век до н.э.). Царевич Вахушти отмечает создание самотечных каналов. Каналы, созданные при царице Тамар (XII в.н.э.) просуществовали до нынешних времен. Нашествие монгольских орд (XIII в.) и Шаха Аббаса I (XVII в.) полностью уничтожили гидротехнические сооружения в Грузии.

Царь Вахтанг VI (XVII в.) частично восстановил разрушенные каналы – Руставский, Урбнисский и Хан-архи. Ослабление централизованной власти в Грузии привело к спаду создания гидротехнических сооружений. После присоединения к России ирригационное строительство пришло в упадок. Со второй половины XIX века началось интенсивное строительство гидросооружений. По последним достижениям инженерии, на основе проекта английских инженеров Белли и Габба в 1864-1867 гг. была сооружена Мариинская (ныне Гардабанская) оросительная сеть.

^{*)} Подробная характеристика водохранилищного фонда Грузии рассматривается в следующей главе.

В 1862 г. было создано Джандарское намывное водохранилище (Караязская оросительная система), которое скоро заилилось. В 1957 г. была проведена его очистка и подключение к новой оросительной ирригационной сети. В 1921-1941 гг. были восстановлены и построены крупные оросительные системы: Машвельская (1924 г.), Тирипонская (1928 г.), Алазанская (1931 г.), Дигоми-I (1928 г.), Соганлугская (1936 г.).

Современный этап создания водохранилищ начался после второй мировой войны.

Регулирование стока наряду с традиционными задачами стало решать комплексные задачи водообеспечения новых ирригационных систем, а также улучшения экологического состояния природных объектов.

Данные о динамике создания водохранилищ показывают, что их параметры (объем, площадь зеркала, глубина, длина) в целом до начала 90-х годов возрастали. Это происходило вследствие освоения рек республики для удовлетворения растущих потребностей хозяйства и населения в воде.

После окончания 2-ой мировой войны были построены Аджаметская (1948 г.), Верхне-Самгорская (1952 г.), Салтвисская (1950 г.), Мухранская (1958 г.), Ванатская (1953 г.), Тези-Окамская (1954 г.), Ташикарская (1958 г.), Телетская (1962 г.), Цулукидзе-Самтредская (1960 г.) оросительные сети. Начало интенсивного строительства комплексных гидросистем с крупными водохранилищами отмечается с вводом в строй Тбилисского (1952 г.), Шаорского (1954 г.), Ткибульского (1956 г.), Гуматского (1958 г.) и ряда других водохранилищ, среди которых следует отметить уникальность таких крупных водохранилищ, как Сионское (1964 г.), Храмское (1947 г.), Джварское (1976 г.), Жинвальское (1985 г.) и др. (табл. I.3.2.1).

После 1990 г. в Грузии наблюдается резкое снижение темпов создания водохранилищ. К настоящему времени на территории Грузии расположено 51 водохранилище (табл. 1.3.2.1; 1.3.2.2; рис.1.3.2.1; 1.3.2.2), [Иорданишвили И.К. 1994, 2004].

Таблица I.3.2.1

Морфометрические общие сведения водохранилищ Грузии

№ по рис. I.3.2.1	№ п.п.	Название водохранилищ	Основные показатели		
			$V_{\text{полн.}}$, км ³	F , км ²	$V_{\text{полезн.}}/F$, м
1	2	3	4	5	6
Крупное > 1 км ³					
1	1	Джварское (Ингури)	1,092	13,48	81,00
Средние 0,1÷1,0 км ³					
15	2	Жинвальское	0,520	11,52	45,20
24	3	Сионское	0,325	11,40	28,50
19	4	Храмское (Цалка)	0,312	34,00	9,17
25	5	Тбилисское (Проектные данные)	0,308	11,80	26,10
2	6	Гальское	0,145	8,00	18,14
33	7	Лакбе	0,140	пустое	
34	8	Далис-Мта	0,111	—	—
Небольшие < 0,1 км ³					
7	9	Ткибульское	0,084	11,50	7,30
3	10	Шаорское	0,071	13,20	5,37
17	11	Алгетское (Тбиси)	0,065	2,30	28,0

Таблица I.3.2.1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6
10	12	Джандарское	0,052	12,50	4,16
14	13	Зонкарское (Патара Лиави)	0,040	1,40	28,60
5	14	Гуматское	0,039	2,40	16,30
4	15	Ладжанурское	0,024	1,40	17,10
6	16	Варцихское	0,0146	5,07	2,88
9	17	ЗаГЭС	0,012	2,00	6,00
22	18	Иакублгойское (Дманиси)	0,011	2,00	5,00
23	19	Кумисское	0,011	5,40	16,90
Малые < 0,01 км ³					
13	20	Надарбазевское	0,0082	2,00	4,10
16	21	Нареквавское	0,0068	0,56	12,10
21	22	Пантианское	0,0053	0,62	9,04
31	23	Кушисхевское	0,0040	0,65	6,15
27	24	Кудигорское (Лапианис-Куре)	0,0035	3,00	1,16
20	25	Мтис-Дзирское (Ленино)	0,0033	0,82	4,06
11	26	Зресское	0,00208	1,77	1,17
8	27	Кухское (Ахалбедисеули)	0,0019	0,30	2,71
28	28	Октябрьское	0,0017	0,23	7,60
26	29	Чальское	0,0017	0,35	4,85
29	30	Телет-Цкали (Мцаре Цкали)	0,0016	0,14	11,44
12	31	Цкенисис-Ча (Уде)	0,0015	0,30	5,00
35	32	Ахашенис-Хеви	0,0015	–	–
32	33	Тавцкаро	0,0013	0,255	0,57
30	34	Кранчис-Хевское	0,0012	0,27	4,67
18	35	Марабдинское	0,0012	0,23	5,22
36	36	Вакийское	0,0012	–	–
37	37	Асуретское (Асуретис-Хеви)	0,0010	1,13	0,88
38	38	Черемское (Тхилиани)	0,0010	0,13	7,20
39	39	Девис-Цкальское	0,00098	–	–
40	40	Ахалбедисеули (Комсомольское)	0,0007	0,01	7,0
41	41	Борбалойское	0,0006	–	–
42	42	Кусцкаройское	0,0005	0,012	41,7
43	43	Хетагурское	0,0005	0,003	16,63
44	44	Красногорское	0,00032	–	–
45	45	Удабнойское	0,0003	–	–
46	46	Триалетское	0,0003	0,13	2,30
47	47	Натбеурское	0,00025	0,01	25,0
48	48	Млашебское	0,0002	–	–
49	49	Липское	0,000176	–	–
50	50	Бедетское	0,00016	0,05	3,20
51	51	Шавсакдарское	0,00014	0,006	2,33
Всего			3,482	162,526	

Таблица I.3.2.2

Проектные данные водохранилищ Грузии,
объем которых больше 1 млн. м³

№ по схеме	Бассейн моря	Название водохранилища	Местоположение	$V_{\text{полный}}$, млн. м ³	$V_{\text{полез.}}$, млн. м ³	Площадь водосбора, км ²	Расстояние от устья до плотины, км	Год ввода в эксплуатацию	Тип в-ща	Тип регулирования	Работа в-ща в каскаде или изолированно	Проектное назначение	Пректировщик	Вид использования	$\frac{\text{Длина, км}}{\text{Ширина, км}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Черное Море	Джварское	Цаленджихский р-н (р. Ингури)	$\frac{1090,0}{670,0}$	$\frac{3170}{80}$	1978 Г.Н	Русловое	В каскаде Изолированно	Э, м Э	Гидропроект Обособленно				$\frac{3,0}{1,6}$	
2	Черное Море	Гальское	Гальский р-н (р.р. Ерисцали, Ингури)	$\frac{145,0}{26,0}$	169	1972	–	В каскаде	Э. в.	Гидропроект Обособленно				$\frac{9,0}{1,8}$	
3	Черное Море	Шаорское	Амбролаурский р-н (р. Диди Чала)	$\frac{90,0}{87,0}$	$\frac{126}{21}$	1955 Г.Н	Котловинное Сезонное	В каскаде	Э, Т	Гидропроект Совместное				$\frac{7,5}{3,0}$	
4	Черное Море	Ладжанур- ское	Цагерский р-н (р. Цхенис Цкали)	$\frac{24,6}{17,6}$	$\frac{1691}{12}$	1960 Г.Н	Русловое Недельное	В каскаде	Э	Гидропроект Обособленно				$\frac{3,2}{0,45}$	
5	Черное Море	Гуматское	Цхалгубский р-н (р. Риони)	$\frac{39,0}{13,0}$	$\frac{3510}{165}$	1958 Г.Н	Русловое Суточное	В каскаде	Э	Гидропроект Обособленно				$\frac{8,0}{0,6}$	
6	Черное Море	Варцхское	Цхалгубский р-н (р.р. Риони, Квири- ла, Ханис-Цкали)	$\frac{14,6}{2,4}$	$\frac{8100}{60}$	1976 Г.Н	Русловое Суточное	В каскаде	Э	Гидропроект Обособленно				$\frac{4,0}{3,0}$	

Таблица I.3.2.2 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	Черное Море	Ткибуль- ское	Ткибульский р-н (р. Ткибула и обрабо- танная вода из Шаори ГЭС)	84,0 62,0	86 12	1956 Г.Н	Русловое Сезонное	В каскаде	Э Э,Р	Гидропроект Совместное	6,0 3,7
8	Черное Море	Кухское	Хонский р-н (р. Кухис-Цкали)	1,9 -	7,8 12	1978 Г.Н	Русловое Сезонное	Изолированно	И	Гидропроект Обособленно	1,0 0,5
9	Каспийское море	ЗаГЭС	Мцхетский р-н (р. Кура)	12,0 3,0	20800 921	1927	Русловое Суточное	В каскаде	Э	Гидропроект Обособленно	8,0 0,2
10	Каспийское море	Джандар- ское	Гардабанский р-н	52,0 23,0	20800 21	1967 Г.Н	Наливное Сезонное	Изолированно	И,Р	Гидропроект Обособленно	5,5 2,8
11	Каспийское море	Зресское	Ахалкалакский р-н (р. Кирх-булах, р. Паравани)	2,08 1,28	20800 24	1976 Г.Н	Наливное Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	2,0 1,7
12	Каспийское море	Цхенис Ча	Адигенский р-н (р. Зазалос-Хеви)	1,5 1,46	18 5	1969 Г.Н	Наливное Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	0,9 0,4
13	Каспийское море	Надарба- зевское	Горский р-н (р. Лиахви, Тирифонис)	8,2 7,2	18 15	1966 Г.Н	Наливное Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	2,0 1,25
14	Каспийское море	Патара Лиахвское (Зонкарское)	Цхинвальский р-н (р. Патара Лиахви)	40,0 39,0	268 45	1985 Г.С	Русловое Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	3,65 0,64
15	Каспийское море	Жинваль- ское	Душетский р-н (р. Арагви)	520,0 370,0	1900 38	1985 Г.С	Русловое Сезонное	В каскаде	Э,Р Х.П	Гидропроект Совместное	12,0 1,0

Таблица I.3.2.2 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16	Каспийское море	Нареквае кое	Душетский р-н (р. Нареквави)	6,8 5,6	64 26	1978 Г.Н	Русловое Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	1,5 0,7
17	Каспийское море	Алгетское	Тетри-Цкаройский р-н (р. Кура, Алгети)	65,0 60,0	322 -	1983 -	Русловое Многолетнее	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	4,2 1,2
18	Каспийское море	Марабдинское	Тетри-Цкаройский р-н	1,2 0,2	474 42	1964 Г.Н	Наливное Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	0,5 0,3
19	Каспийское море	Храмское	Цалкский р-н (р. Храми)	312,0 292,0	1050 20	1947 Г.Н	Наливное Сезонное	В системе	Э Э, И	Гидропроект Совместное	14,5 3,5
20	Каспийское море	Мтисдзири	Дманисский р-н (р. Мамугли-Дере)	3,3 3,1	1050 -	1981	Наливное Сезонное	Изолированно	И	Гидропроект Обособленно	1,1 1,1
21	Каспийское море	Пантианское	Дманисский р-н (р. Машавера)	5,36 5,26	64 26	1978 Г.Н	Наливное Сезонное	Изолированно	И	Гидропроект Обособленно	1,3 0,55
22	Каспийское море	Дманисское	Дманисский р-н	11,0 11,0	64 66	1981 Г.С	Наливное Сезонное	Изолированно	И	Гидропроект Обособленно	1,7 1,6
23	Каспийское море	Кумиси	Гардабанский р-н (Телетский магистральный канал)	11,0 4,0	64 885	1964 -	Наливное Сезонное	Изолированно	И, Д	Гидропроект Обособленно	3,1 2,0
24	Каспийское море	Сионское	Тианетский р-н (р. Иори)	325,0 300,0	498 330	1963 Г.Н	Русловое Сезонное	В каскаде	И, Э	Гипроводхоз Совместное	11,5 2,0
25	Каспийское море	Тбилиское	г. Тбилиси подпитка из р. Иори и р. Арагви	308,0 155,0	498 56	1956 Г.Н	Наливное Сезонное	В каскаде	И, В, Р	Гипроводхоз Совместное	9,0 2,0
26	Каспийское море	Чальское	Кварельский р-н	1,7 1,4	498 0,6	1968 Г.Н	Наливное Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	1,6 0,6

Таблица I.3.2.2 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
27	Каспийское море	Лапианское	Кварельский р-н (р. Дуруджи)	$\frac{3,5}{3,5}$		1971	Наливное Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	$\frac{3,25}{3,25}$
28	Каспийское море	Октябрьское	Кварельский р-н (р. Пшавис-Хеви)	$\frac{1,75}{1,5}$	$\frac{-}{10}$	1976	Русловое Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	$\frac{0,4}{0,5}$
29	Каспийское море	Телег-Цкали	Дедоплис-Цкарыйский р-н (р. Иори)	$\frac{1,6}{1,2}$	1200	1980	Русловое Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	$\frac{0,5}{0,4}$
30	Каспийское море	Кранчис Хеви	Дедоплис-Цкарыйский р-н	$\frac{1,26}{0,92}$	$\frac{-}{7}$	$\frac{1982}{Г.Н}$	Наливное Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	$\frac{0,5}{0,46}$
31	Каспийское море	Кушис Хеви совместно с Кранчис-хевским вод.	Дедоплис-Цкарыйский р-н (р. Кушис Хеви)	$\frac{4,0}{2,17}$	$\frac{90}{30}$	$\frac{1976}{Г.Н}$	Русловое Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	$\frac{0,9}{0,4}$
32	Каспийское море	Тавцкаро	Дедоплис-Цкарыйский р-н (р. Иори и Хевис Цкали)	$\frac{3,36}{3,0}$		$\frac{1986}{Г.С}$	Наливное Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	$\frac{1,6}{0,5}$
33	Каспийское море	Лакбе	Гурджанский р-н	$\frac{140,0}{120,0}$			Русловое Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	
34	Каспийское море	Далис-мта	Дедоплис-Цкарыйский р-н	$\frac{111,0}{100,0}$		$\frac{1992}{-}$	Сезонное	Изолированно	И	Гипроводхоз Обособленно	

Условные обозначения: Э – Энергетика, О – Орошение В – Водоснабжение, И – Ирригация Р – Рыболовство, Т – Техническое водоснабжение, Х.П – Хозяйственное и питьевое водоснабжение, Г.Н – Геодинамически нестабильное, Г.С – Геодинамически стабильное.

Водоохранилища Грузии расположены, в основном, в бассейнах рек: Куры, Ингури, Риони (рис. I.3.2.1; I.3.2.2a; I.3.2.2б).

Бассейн р. Куры в пределах Грузии занимает территорию до 44,12 тыс. км². Бассейн включает 7194 реки, общей протяженностью 23511 км. Из них самая крупная р. Кура, пять притоков которой относятся к категории средних рек – Алазани, Иори, Храми, Алгети и Диди Лиахви, а остальные – малые. Общий сток этих рек составляет 15,74 км³ или 24,7% стока рек республики. В бассейне р. Куры, на территории Восточной Грузии, насчитывается 43 водоохранилища, общим объёмом 1,47 км³, из них 42 – ирригационного назначения.

Бассейн р. Иори (левобережный приток р. Куры) занимает часть склона Главного Кавказского хребта и Иорское плоскогорье. Бассейн дефицитный по водным ресурсам в годовом разрезе. Основной потребитель водных ресурсов – орошаемое земледелие и энергетика. Бассейн полностью зарегулирован водоохранилищами. Но и в этих условиях не все земли, требующие орошения, обеспечиваются водой. Ниже Сагареджо водопотребление покрывается за счет природоохранного минимума в реке и возвратных вод. Улучшение ситуации произошло за счет Сионского и Жинвальского водоохранилищ.

Бассейн р. Храми, площадью 8340 км², занимает восточную часть Южно-Грузинского нагорья и примыкающую к нему юго-западную часть Нижне-Карталинской равнины. Бассейн расположен в районе с напряженным водным балансом в сезонном разрезе. Основной потребитель – сельское хозяйство. Наибольший по водопотреблению (53% от общего) Марнеульский район обеспечивается, в основном, передаваемым стоком. Основной потребитель водных ресурсов – энергетика и орошаемое земледелие (рис. I.3.2.3).

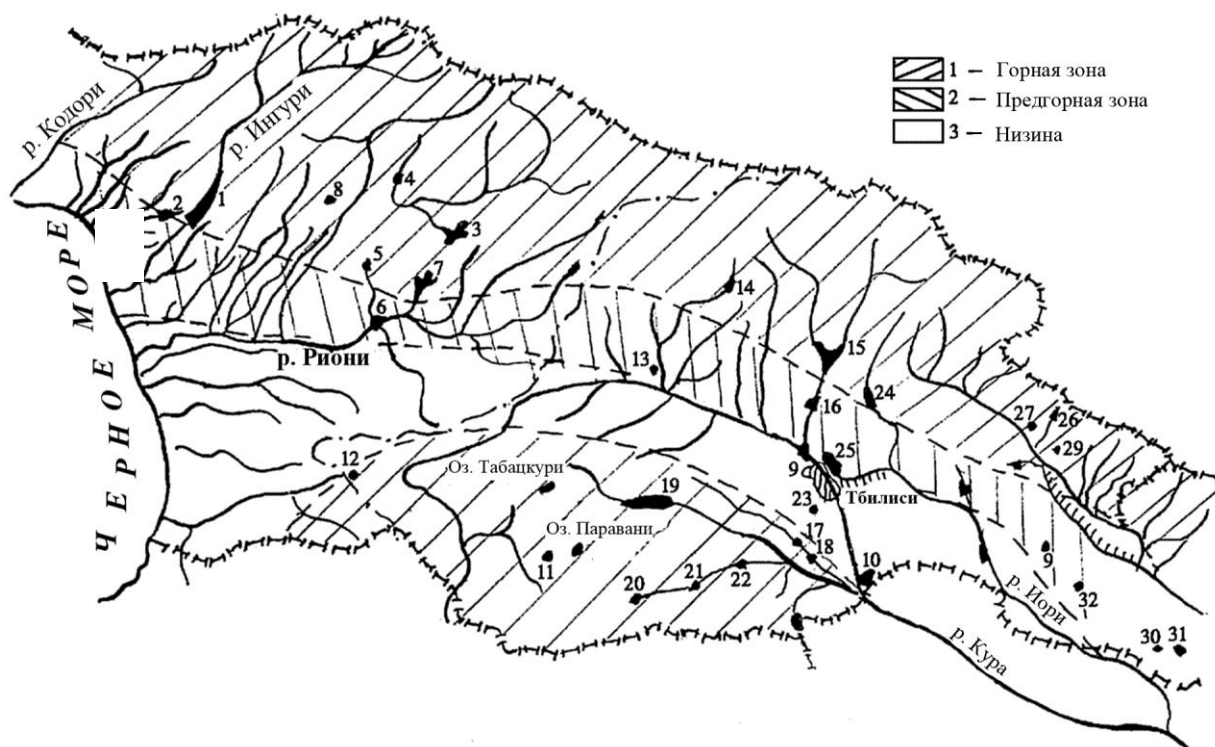


Рис. I.3.2.1. Расположение водоохранилищ Грузии (объёмом >1млн. м³)
(Название водоохранилищ с соответствующей нумерацией приведены в табл. I.3.2.1).

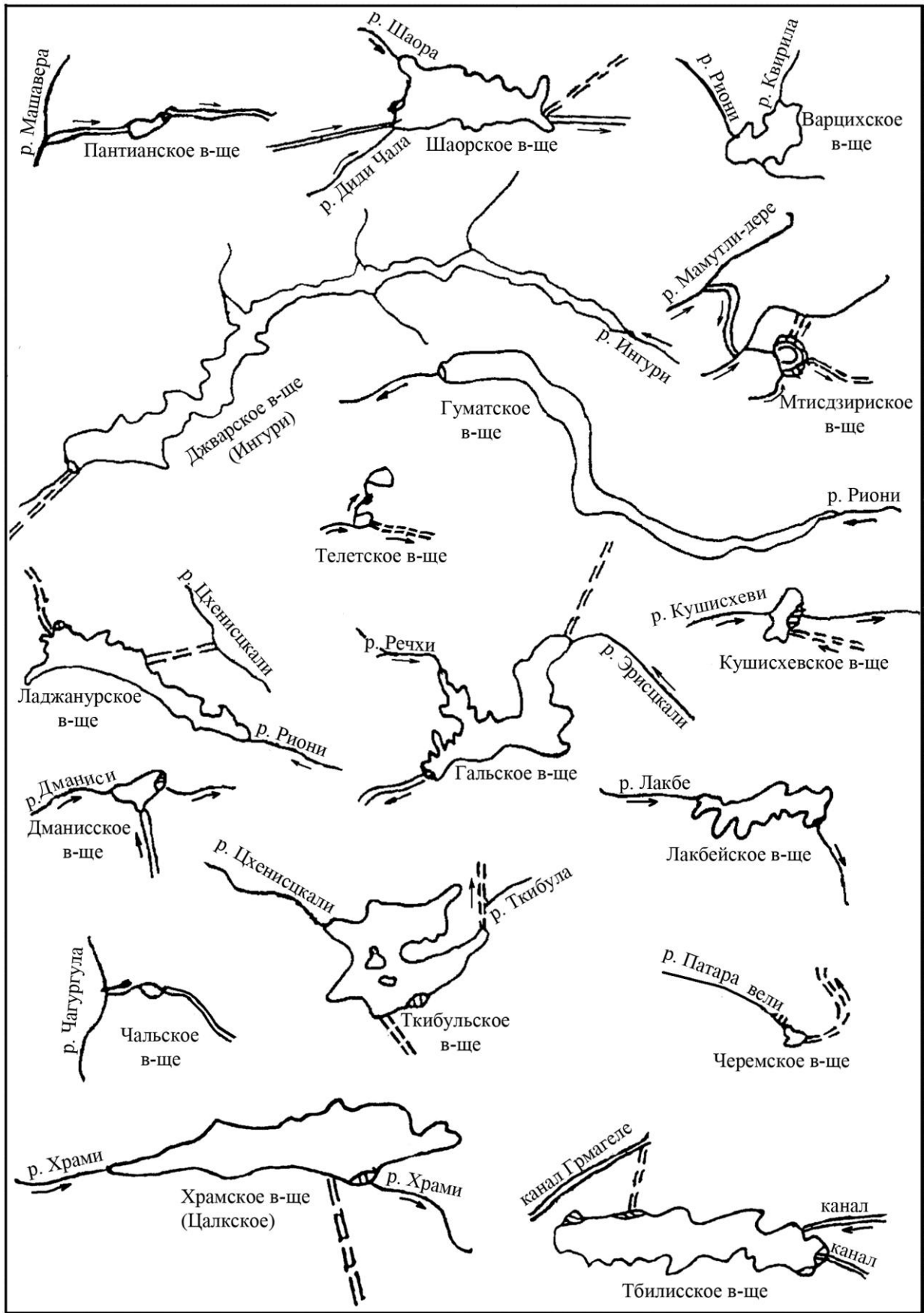


Рис. 1.3.2.а. Форма площади зеркала основных водохранилищ Грузии (в относительном масштабе)

---- река; = канал; === отводной (подводной) водоток.

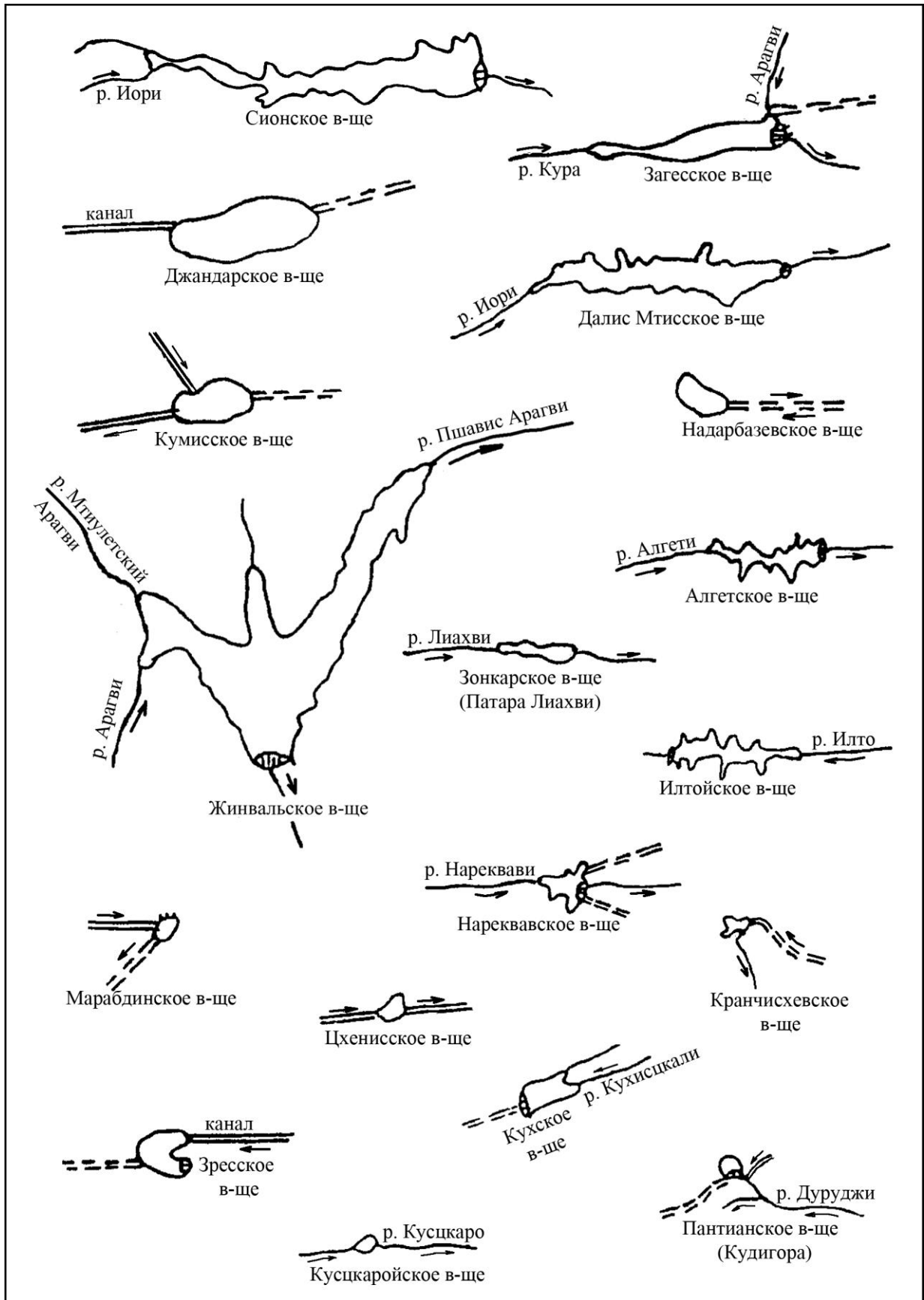


Рис. 1.3.2.2б. Форма площади зеркала основных водохранилищ Грузии
(в относительном масштабе)

---- река; = канал; === отводной (подводной) водоток.

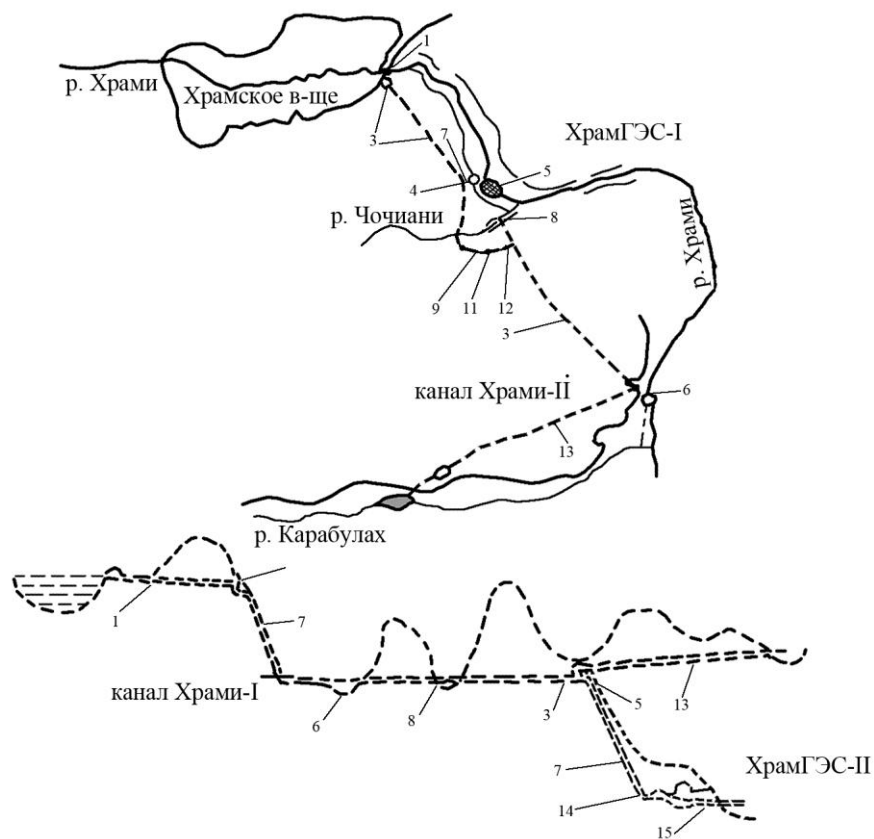


Рис. 1.3.2.3. Схема каскадов Храм ГЭС

1 – плотина; 2 – водохранилище; 3 – напорный тоннель; 4 – уравнивательная шахта; 5 – здание дисковых затворов; 6 – бассейн суточного регулирования; 7 – напорный трубопровод; 8 – водоводный мост через р. Чочиани; 9 – двух камерный открытый отстойник; 10 – металлический водовод; 11 – строительная шахта; 12 – напорная деривация; 13 – безнапорный Карабулахский тоннель; 14 – здание донных затворов; 15 – отводной тоннель.

Бассейн р. Алгети – площадью 763 км², дефицитный в годовом разрезе, расположен между бассейнами рек – Куры, Храми и Тедзами.

Бассейн р. Алазани – площадью 10800 км², дефицитный в годовом разрезе, занимает часть склонов Главного Кавказского, Кахетинского и Цивгомборского хребтов, а также часть Иорского плоскогорья и Кахетинской равнины.

Бассейн р. Лиави – площадью 1440 км², расположен между бассейном р. Арагви и Лихским хребтом. Он занимает нижние отроги Главного Кавказского хребта и западную часть Внутренне-Картлийской межгорной низины. Реки Лиави, Ксани, Арагви и Тедзами являются основными источниками питания оросительных систем Внутренне-Картлийской низины, в пределах которой р. Кура используется весьма слабо. Бассейн реки не является дефицитным по водным ресурсам.

Бассейн р. Арагви – площадью 2740 км², относится к району с напряженным водным балансом. Он расположен на южном склоне Главного Кавказского хребта и граничит с бассейнами рек Ксани, Лиави, Алазани и Иори.

Бассейн р. Ингури – площадью 4060 км² простирается с южных склонов Главного Кавказского хребта до Колхидской низменности. Общее падение реки 2614 м, длина 213 км, средний

уклон 11,8%. Удельная мощность реки в верхнем течении составляет до 2000 кВт, в среднем от 2000 до 1400 кВт и в нижнем до 1000 кВт на 1 п.км. Энергетическое освоение реки было начато в 1961 г. строительством Ингуурской ГЭС с Джварским водохранилищем, рис. I.3.2.4.

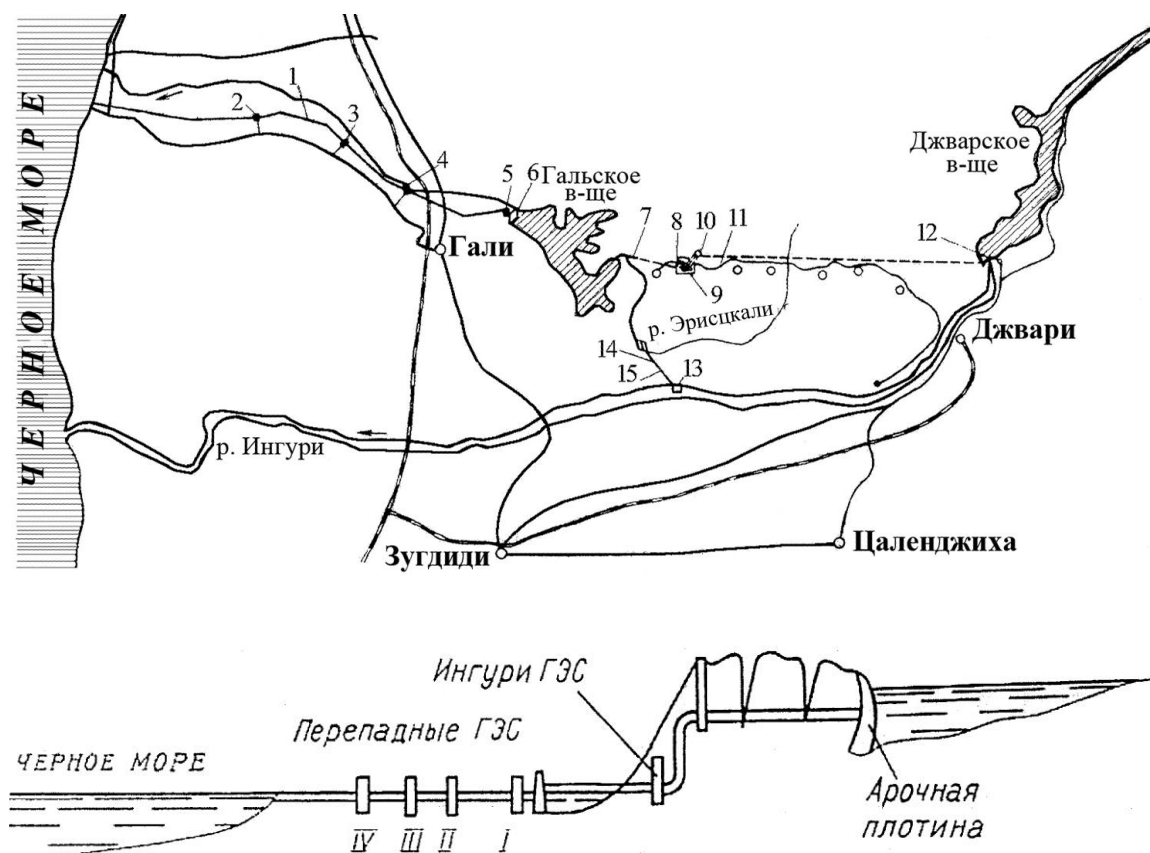


Рис. I.3.2.4. Схема использования Ингуурского и Гальского водохранилищ.

1 – отводной канал; 2 – перепадная ГЭС IV; 3 – перепадная ГЭС III; 4 – перепадная ГЭС II; 5 – перепадная ГЭС I; 6 – плотина перепадной ГЭС I; 7 – отводной канал; 8 – открытое распределительное устройство – 500 кВт; 9 – подземное здание ГЭС; 10 – уравнительный резервуар; 11 – деривационный тоннель; 12 – арочная плотина; 13 – водосбросные сооружения стока вод из р. Ингури в р. Эрис-Цкали (водосливная плотина, водоприемник, промывной шлюз); 14 – то же, каналы №1 и №2; 15 – то же, безнапорный тоннель.

Бассейн р. Риони – площадью 13400 км², вмещает 3320 рек общей протяженностью 6112 км при густоте речной сети 1,68 км/км². Река Риони длиной 327 км имеет падение 2620 м и средний уклон 7,2%. В энергетическом отношении наибольший интерес представляет среднее течение реки, где сосредоточено 80% её потенциальной энергии и где располагаются три гидроэлектростанции с водохранилищами (Гумати ГЭС, Ладжанури ГЭС и Варцихе ГЭС). Несколько выше расположены Шаори ГЭС и Ткибули ГЭС (рис. I.3.2.5; I.3.2.6). Шаорское и Ткибульское водохранилища подверглись небольшим изменениям. Гуматское, Ладжанурское и Варцихское водохранилища почти полностью заполнены наносами. Из-за потери емкости водоемов снизилась выработка станций и нарушилась гибкость системы. Эти станции (особенно Гуматские) работают в базисе по водотоку.

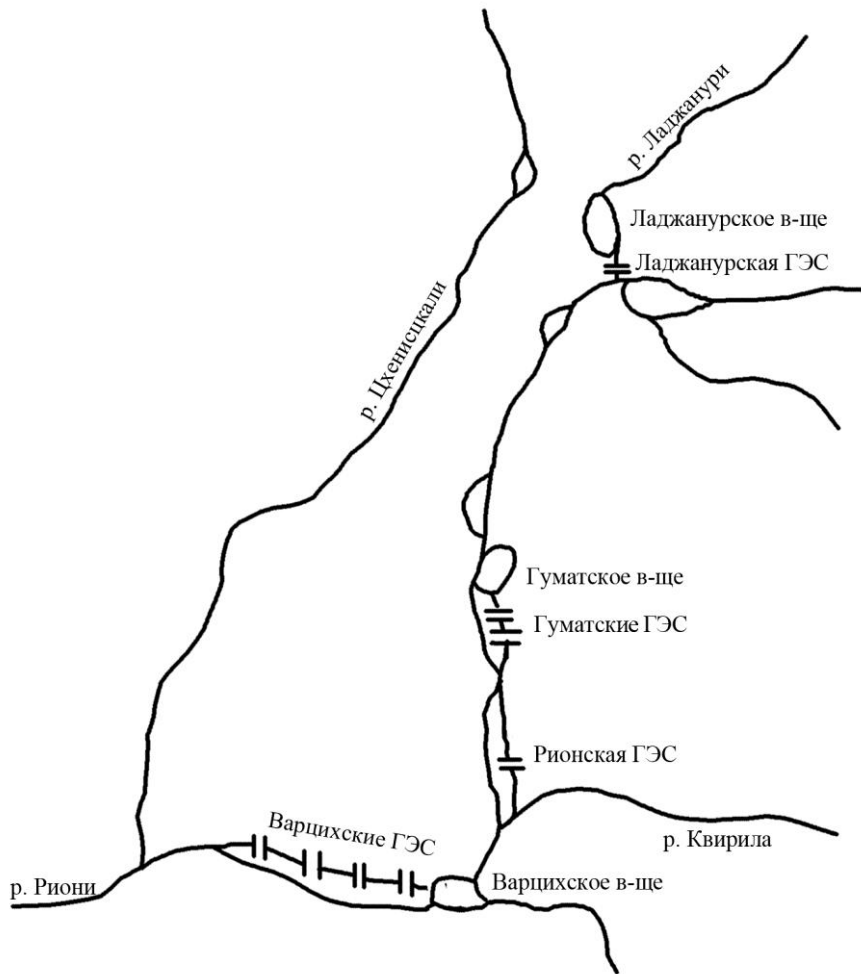


Рис. I.3.2.5. Схема использования р. Риони

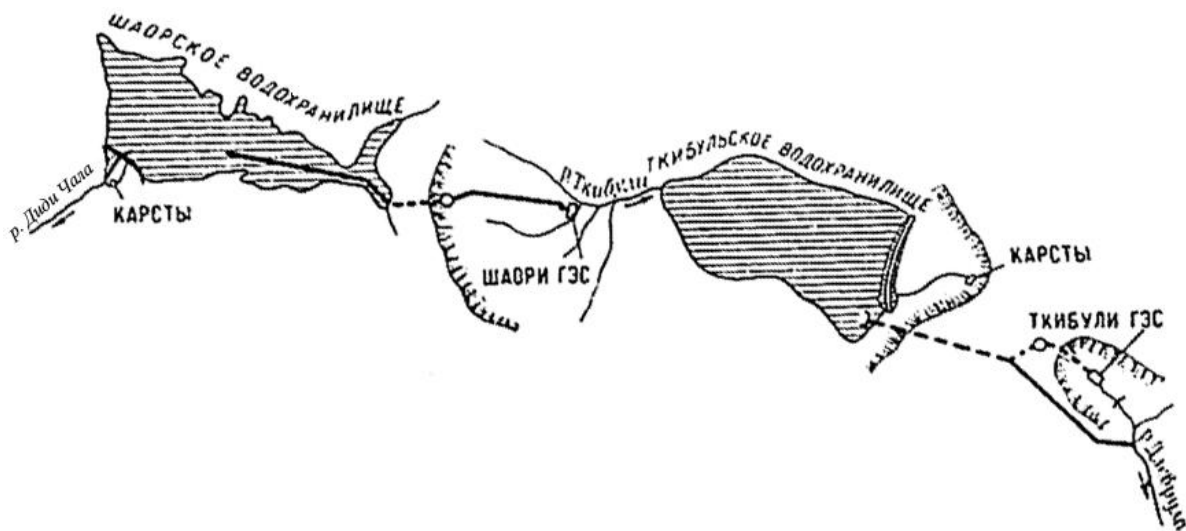


Рис. I.3.2.6. Схема Шаори-Ткибульского каскада водохранилища

Горные водохранилища Грузии отличаются малой площадью зеркала и значительными глубинами. Площадь зеркала при изменении уровня воды значительно изменяется. На основе анализа морфометрических и гипсометрических показателей водохранилищ Грузии создана классификация водохранилищ по "степени горности (a)", табл. I.3.2.3.

Таблица I.3.2.3

Классификация водохранилищ Грузии по гипсометрической зональности

№	Водохранилище	Отметки уровня, м		Климатическая зона	Коэффициент рельефа "а"
		НПУ	УМО		
1	2	3	4	5	6
Равнинная зона – < 400 м					
1	Варцихское	87,00	86,50	Cfa	0,558
2	Гальское	100,55	97,00	Cfa	0,685
3	Цхенисис-Ча	103,50	95,00	Dfb-Dxb	0,641
4	Кухийское	170,00	158,00	Cfb	0,650
5	Гуматское	200,00	96,00	Cfa	0,554
6	Джандарское	291,50	289,50	Bs-ха	0,601
7	Октябрьское	341,50	334,50	Cxa	0,541
Предгорная зона – 400-800 м					
8	Лапианское	429,00	417,00	Cxa	0,404
9	ЗАГЭС	448,00	446,50	Cxa	0,358
10	Кумисское	471,35	469,92	Cxb	0,320
11	Кранчисхевское	480,00	477,60	Cxb	0,441
12	Кушисхевское	490,00	475,00	Cxb	0,459
13	Ладжанурское	494,00	478,00	Cfxa	0,352
14	Чальское	495,00	487,80	Cxa	0,455
15	Джварское	510,00	440,00	Cxa	0,404
16	Ткибульское	522,50	515,00	Cfca	0,322
17	Тбилиское	548,00	535,00	Bscxa	0,598
18	Марабдинское	555,00	547,00	Bscxa	0,368
19	Тавцкаройское	616,60	610,00	Cxb	0,371
20	Телет-Цкальское	720,00	705,00	Cxb	0,402
21	Алгетское	792,50	745,00	Cxb	0,349
Горная зона – 800-1200 м					
22	Жинвальское	810,00	770,00	Cxb	0,384
23	Надарбазевское	862,00	855,40	Bs-сха	0,344
24	Нареквавское	893,8	875,30	Bs-сха	0,320
25	Сионское	1068,0	1014,00	Dxbk	0,259
26	Шаорское	1132,0	1124,00	Dfbk	0,249
Высокогорная зона – > 1200 м					
27	Патара-Лиахвское	1217,0	1167,00	Dxbk	0,262
28	Дманисское	1360,0	1350,00	Dxb-BSG	0,361
29	Пантианское	1368,8	1358,00	Dxb-BSa	0,271
30	Храмское	1512,0	1497,50	Dxb-BSG	0,203
31	Мтис-Дзирское	1650,0	1644,00	Dxb-BSG	0,251
32	Зресское	1721,82	1721,07	BSG-Wbk	0,283

Условные обозначения в таблице: Cfa – морской влажный климат с мягкой зимой и жарким летом; Cfsa – влажный климат с умеренно холодной зимой, жарким летом; Cfb – влажный климат с умеренно холодной зимой и тёплым летом; Cxa – умеренно влажный климат с двумя минимумами осадков в году; Cxb – умеренно влажный климат с умеренно холодной зимой и продолжительным летом; Bscxa – климат умеренно тёплый степной; Dfb –

zxb – переходной климат от морского влажного к умеренно континентальному; Bs-sxa – переходный от умеренно теплого степного к умеренно влажному; Dfbk – влажный с холодной зимой и прохладным летом; Dxbk – умеренно влажный климат с холодной зимой и прохладным летом; Dxb-BSG – переходный от умеренно влажного к климату нагорных степей; BSG-wbk – климат нагорных степей с холодной малоснежной зимой и продолжительным прохладным летом.

Значения "a" - коэффициента рельефа, полученные на основе статистических расчетов, приведены в табл. I.3.2.4.

Таблица I.3.2.4

Классификация водохранилищ по типу рельефа

№ п/п	Тип рельефа	Среднее значение "a"	Предел изменения "a"	Коэффициент корреляции
1	Равнинный	0,78	1,0-0,6	0,698
2	Озерный*	0,51	0,6-0,43	0,72
3	Предгорный	0,37	0,45-0,29	0,485
4	Горный	0,27	0,29-0,23	0,636
5	Высокогорный	0,16	< 0,23	0,98

*Озерный тип не связан с абсолютной отметкой местности

По основным *морфометрическим* показателям – объему (млн. м³) и площади зеркала (*F* км²) – водохранилища Грузии делятся на четыре группы: крупные, средние, небольшие и малые (табл. I.3.2.1). Эта типизация условна, но она отражает характер внутриводоемных процессов и их роль в формировании водоема.

Среди *морфологических* особенностей котловин, влияющих на режим водохранилищ, большое значение имеют глубина водоема (*H*), соотношение глубины к площади водной поверхности ($\frac{H}{F} 10^{-3}$) и удлиненность водоема, представляющая отношение длины (*L*) к средней ширине водохранилища (*B_{ср}*), табл. I.3.2.5. По данным материалов наблюдений специфика морфологических условий водохранилищ Грузии определяется малыми длинами разгонов волн, изрезанностью береговой линии, создающих местные ограничения и различиями в конфигурации водоемов (табл. I.3.2.6; I.3.2.7; I.3.2.8).

Таблица I.3.2.5

Классификация водохранилищ Грузии по геоморфологическим показателям

№	Водохранилище	Конфигурация водоема	Удлиненность, $\frac{L}{B}$	Коэффициент изрезанности, $K_{изр} = \frac{L_{изр}}{L_{очерт}}$	Затопление земель, S	
					На ед. объема $\frac{S_{км^2}}{V_{км^3}}$	На ед. напора $\frac{S_{км^2}}{d_{м}}$
1	2	3	4	5	6	7
Долинные глубоководные						
1	Джварское	Сильно удлиненное, с расчлененными берегами	38,5	1,25-1,60	13,6	0,064

Таблица I.3.2.5 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
2	Жинвальское	Трехлопастное, сложного очертания	17,40	1,20-1,50	42,3	0,224
3	Сионское	Вытянутое, удлиненное с расширением на приплотинном участке	14,40	1,35	39,5	0,187
4	Ладжанурское	Удлиненное, двухлопастное на приплотинном участке	11,40	1,12	58,3	0,021
5	Патара - Лиахвское	Удлиненное	9,60	1,08	35,1	0,023
6	Алгетское	Удлиненное, расчлененные склоны	7,64	1,28	38,4	0,034
Котловинные и смешанные глубоководные						
7	Тбилисское	Продолговатое, средней ширины	9,10	1,32	44,0	0,301
8	Гальское	Вилообразное, сложного очертания	6,00	1,30	76,1	0,212
9	Нареквавское	Долинно-котловинное с расчлененными берегами	3,35	1,15	133,0	0,048
Долинные средне-глубокие						
10	ЗАГЭС	Узкое удлиненное	8,00	1,06	200,0	0,104
11	Гуматское	То же	25,00	1,08	61,5	0,080
12	Кухийское	Вилообразное	2,50	1,04	181,0	0,18
Котловинные средне-глубокие						
13	Храмское	Продолговатое, изрезанное	6,04	1,22	109,0	1,360
14	Пантианское	Грушевидное	3,73	1,03	183,0	0,033
15	Ткибульское	Сложного очертания, трехлопастное, сильно изрезанное	3,16	1,72	198,8	0,498
16	Лацианское	Каплевидное	3,00	1,08	985,0	0,173
17	Тавцкаройское	Овальное	2,50	1,03	151,0	0,027
18	Телетцкали	Трехлопастное	1,53	1,15	100,0	0,064
19	Кушисхевское	Овальное, вытянутое поперек русла	0,26	1,02	186,0	0,042
Смешанные (долинно-котловинные мелководные)						
20	Шаорское	Треугольного очертания вилообразное в верховьях	4,26	1,28	204,2	1,179

Таблица I.3.2.5 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
21	Марабдинское	Овальное, котловинное	3,73	1,02	183,0	0,033
22	Кранчисхевское	Сложного очертания с сильно расчлененными склонами	3,60	1,52	246,0	0,022
23	Чалское	Грушевидное, озеровидное	3,33	1,03	236,0	0,040
24	Цхенисис-Ча	Круглое, озеровидное	3,10	1,02	230,0	0,033
25	Кумисское	Неправильный овал, озеровидное	3,12	1,02	545,3	0,127
26	Варцихское	Сложного очертания, с сильно расчлененными берегами	3,07	1,48	204,1	0,372
27	Джандарское	Озеровидное, овальное	2,39	1,02	240,3	1,785
28	Надарбазевское	То же	2,00	1,01	280,0	0,200
29	Зресское	Подковообразное	1,66	1,03	978,0	0,532
30	Мтисдзирское	Озеровидное, круглое	1,46	1,05	238,0	0,131
31	Октябрьское	Овальное	1,53	1,13	100,0	0,064
32	Дманисское	Треугольное	1,06	1,05	181,8	0,173

Таблица I.3.2.6

Классификация водохранилищ Грузии по характеру сработки

№	Водохранилище	Характер регулирования	Глубина сработки A , м	Скорость перемещения *, м/сут		Продолжительность стабилизации уровня*, сут	
				$v_{под}$	$v_{спад}$	НПУ	УМО
1	2	3	4	5	6	7	8
Интенсивно срабатываемые ($A = 100-50$ м)							
1	Джварское	Сезонное	70,0	1,16	0,52	92	30
2	Сионское	То же	54,0	0,19	0,16	60	–
3	Патаралиахвское	Сезонное	50,0	0,58	1,09	–	–
Быстро срабатываемые ($A = 45-15$ м)							
4	Алгетское	Многолетнее	47,5	–	–	–	–
5	Жинвальское	Сезонное	40,0	0,40	0,06	61	30
6	Нареквавское	То же	18,0	–	–	–	–
7	Ладжанурское	Недельное	16,0	–	–	–	–
8	Тбилисское	Сезонное	15,0	0,08	0,07	31	31
9	Кушисхевское	То же	15,0	–	–	–	–
10	Телет-Цкальское	То же	15,0	–	–	–	–

Таблица I.3.2.6 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
Среднесрабатываемые ($A = 15-6,0$ м)							
11	Храмское	Сезонное	14,5	0,06	0,05	–	–
12	Пантианское	Сезонное	13,8	–	–	–	–
13	Лапианское	Сезонное	12,0	–	–	–	–
14	Кухийское	Сезонное	12,0	–	–	–	–
15	Дманисское	Сезонное	9,5	–	–	–	–
16	Цхенисис-Ча	Сезонное	8,5	–	–	–	–
17	Шаорское	Сезонное	8,0	0,02	0,05	31	–
18	Марабдинское	Сезонное	8,0	0,03	0,06	–	20
19	Ткибульское	Сезонное	7,5	0,02	0,04	30	–
20	Чальское	Сезонное	7,2	–	–	–	–
21	Октябрьское	Сезонное	7,0	–	–	–	–
22	Надарбазевское	Сезонное	6,6	–	–	–	–
23	Тавцкаро	Сезонное	6,6	–	–	–	–
Квазистабильные ($A < 6,0$ м)							
24	Мтис-Дзири	Сезонное	5,8	–	–	–	–
25	Гуматское	Сезонное	4,0	–	–	–	–
26	Гальское	Сезонное	3,55	–	–	–	–
27	Кранчисхевское	Сезонное	2,40	–	–	–	–
28	Джандарское	Сезонное	2,00	–	–	–	–
29	ЗАГЭС	Суточное	1,50	–	–	–	–
30	Кумисское	Сезонное	1,45	–	–	–	–
31	Зресское	Сезонное	0,67	–	–	–	–
32	Варцихское	Суточное	0,50	–	–	–	–

*В связи с нестационарностью уровня режима водохранилища данные в некоторых графах не приводятся.

Таблица I.3.2.7

Классификация водохранилищ Грузии по глубине

№	Водохранилище	Глубина H , м		Морфологический показатель $\frac{H}{F} \cdot 10^{-3}, \text{ м}^{-1}$	Приращение объема на 1 м глубины $\frac{V_{полн}}{H}, \text{ млн м}^3/\text{м}$
		Наибольшая	Средняя		
1	2	3	4	5	6
Очень глубокие ($H > 100$ м)					
1	Джварское	230,0	115,0	0,98	4,74
Глубокие ($d = 100-40$ м)					
2	Жинвальское	98,0	50,0	0,22	5,30
3	Алгетское	72,5	28,2	0,35	0,89
4	Сионское	68,6	31,4	0,086	4,73
5	Ладжанурское	67,8	36,0	0,93	0,35

Таблица I.3.2.7 (продолжение)

1	2	3	4	5	6
6	Патара-Лиахвское	62,0	29,0	0,6	0,64
7	Гальское	52,0	26,0	0,086	2,78
8	Тбилисское	45,0	26,2	0,12	6,84
9	Нареквавское	40,3	18,8	0,6	0,16
Средней глубины ($H = 40-20$ м)					
10	Ткибульское	32,0	16,0	0,0042	5,25
11	Гуматское	30,0	17,0	0,12	1,30
12	Храмское	25,0	9,3	0,0057	12,48
13	Телет-Цкальское	25,0	12,0	1,03	0,06
14	ЗАГЭС	23,0	14,0	0,007	0,52
15	Гавцкаройское	22,4	6,5	0,165	0,04
16	Лапианское	20,0	12,0	0,048	0,17
Незначительной глубины ($H = 20-10$ м)					
17	Кухийское	19,4	6,3	0,13	0,10
18	Кушисхевское	18,0	7,0	0,075	0,22
19	Пантианское	15,0	10,0	0,16	0,36
20	Кранчисхевское	14,0	8,0	0,24	0,09
21	Шаорское	12,3	6,8	0,035	5,77
22	Дманисское	11,5	5,6	0,016	0,95
23	Надарбазевское	11,0	7,0	0,025	0,74
24	Цхнисес-Ча	10,5	5,9	0,12	0,14
25	Чальское	10,0	6,0	0,1	0,17
Мелкие ($H < 10$ м)					
26	Варцихское	8,0	4,0	0,003	1,83
27	Марабдинское	8,0	4,0	0,07	0,15
28	Мтисдзирское	7,2	3,7	0,017	0,46
29	Джандарское	7,0	4,6	0,0017	7,42
30	Октябрьское	8,5	4,2	0,077	0,21
31	Кумисское	4,7	2,0	0,0007	2,34
32	Зресское	3,8	1,8	0,0006	0,54

Классификационные основные сведения водоподпорных сооружений на водохранилищах Грузии приведены в табл. I.3.2.8, I.3.2.9.

В настоящее время в Грузии функционирует 22 крупные гидроэлектростанции с суммарной установленной мощностью около 2500 мВт.

Широко развернулось строительство новых гидроэлектростанций (15), число проектируемых электростанций 40, с общей установленной мощностью 1872 мВт.

Таблица I.3.2.8

Краткая характеристика гидротехнических сооружений на водохранилищах Грузии

№	Название водохранилища	Водоподпорные сооружения	Гидроэлектрическая станция	Водосбросы и водозаборные сооружения
1	2	3	4	5
Бетонные плотины				
1	Ингурское (Джварское)	Бетонная арочная плотина – $H = 271,5$ м, $L = 758$ м, $B = 10$ м. Напор – 230 м	ГЭС – деривационного типа, деривационный напорный тоннель – $l = 15,05$ км, $d = 9,5$ м; подземный однокамерный резервуар – $d = 20$ м и $H = 156$ м; пять ниток подземных тоннельных турбинных водоводов $l = 680$ м, $d = 5$ м, подземное здание ГЭС – $l = 127$ м, $b = 22,35$ м, $H = 51,32$ м; установлены 5 агрегатов по 260 тыс. кВт; отводящая деривация, безнапорный тоннель и канал длиной 3160 м. Расчётный расход ГЭС 450 м ³ /сек, напор – 325 м.	Водосбросы – поверхностный эксплуатационный водослив $L = 150$ м на гребне плотины 6 пролетный, $Q = 1900$ м ³ /сек; семь донных отверстий в теле плотины $d = 2,2$ м, $Q = 2400$ м ³ /сек. Водозабор – глубинный, водоприёмник с двумя водоприёмными отверстиями, $Q = 450$ м ³ /сек.
2	Ладжанурское	Бетонная водосливная арочная плотина, $H = 70$ м, $L = 127$ м, $B = 2,5$ м.	ГЭС деривационного типа, напорный деривационный тоннель $l = 2549$ м, $d = 5,5$ м; цилиндрический уравнивательный резервуар $H = 55,75$ м; $d = 12,5$ м; вертикальный напорный турбинный водовод $l = 99,4$ м, $d = 4,5$ м, осуществляет подвод к трём гидротурбинам, мощность каждого агрегата 38,6 тыс.кВт, $l = 57$ м, $B = 18$ м. Здание ГЭС подземное. Отводящий тоннель $l = 240,7$ м, заканчивается каналом длиной 55 м.	1) Поверхностный водослив 3-х пролетный, на гребне плотины, шириной по 7 м, $Q = 190$ м ³ /сек. 2) Донные промывные галереи с двумя отверстиями под водоприёмником, $Q = 100$ м ³ /сек. 3) Водоприёмник с двумя отверстиями, $Q = 100$ м ³ /сек.
3	Гуматское	Бетонная плотина гравитационная. Состоит из водосливной части 4-х пролетов по 11 м и двух береговых глухих частей $L = 211$ м, $H = 32$ м.	ГЭС-I русловое, здание ГЭС – $l = 71$ м, $B = 35,35$ м. Передняя стенка ГЭС имеет водоприёмные камеры, от которых отходят турбинные водоводы. В машинном зале четыре агрегата по 11 тыс. кВт, расход $Q = 214$ м ³ /сек, напор – 24,5 м.	Водосбросы: 1) водосливная часть плотины $L = 71$ м, $Q = 2560$ м ³ /сек; 2) четыре промывные галереи общей пропускной способностью $Q = 256$ м ³ /сек. Водоприёмник – четыре камеры шириной по 5 м, $Q = 214$ м ³ /сек и одна камера для подачи воды на Гумати ГЭС-II в случае остановки агрегатов Гумати ГЭС-I, $Q = 105$ м ³ /сек.

Таблица I.3.2.8 (продолжение)

1	2	3	4	5
4	ЗАГЭС	Бетонная разборчатая плотина $L = 68$ м, $H = 24$ м с высоким порогом, три пролета по 13 м.	ГЭС – деривационного типа. Канал – $L = 3,0$ км, $Q = 324$ м ³ /сек – заканчивается напорным бассейном с промывными шлюзами $1,68 \times 1,40$ м, $Q = 44$ м ³ /с, турбинный водовод 4-х ниточный $L = 40,4$ м, $d = 3,7-4,25$ м. В здании ГЭС ($74 \times 11,98$ м) установлено 4 агрегата мощностью по 3,2 тыс. кВт и 2 агрегата по 12 тыс. кВт. Расчетный расход ГЭС – 235 м ³ /сек, напор – 20 м.	Водосбросы: 1) разборчатая бетонная плотина трехпролетная по 13 м, $Q = 1500$ м ³ /сек; 2) сифонный водосброс $Q = 90$ м ³ /сек; 3) прокол с двумя донными отверстиями $Q = 900$ м ³ /сек. Водоприемник открытого типа 110 м, $Q = 324$ м ³ /сек.
5	Тбилиское	Две бетонные плотины с противофильтровой завесой №1 – $L = 317$ м, $H = 9$ м; №2 – $L = 377$ м и $H = 15$ м и две земляные №3 – $L = 480$ м, $H = 10$ м и №4 – $L = 290$ м, $H = 12$ м.	–	Водосброшенные сооружения отсутствуют. 1. Ирригационный водозабор башенного типа $Q = 12$ м ³ /сек. 2. Насосная станция для питьевого водоснабжения. 2 насоса производительностью по 1 м ³ /сек; 2 насоса – по 4 м ³ /сек.
6	Варцихское	Плотина из 2-х частей – разборчатая ж/б с низким порогом $L = 98$ м, $H = 21,2$ м и глухая земляная с асфальтобетонным экраном $L = 447$ м, $B = 10$ м, $H = 11$ м.	На деривационном канале $l = 27,2$ км сооружены три однотипные ГЭС I-II-III с русловым зданием ГЭС с двумя агрегатами мощностью по 23 тыс.кВт. Расчетный расход ГЭС – 350 м ³ /с, напор – 15 м; Здание ГЭС – $L = 48,4$ м, $B = 38,0$ м, $H = 33,8$ м.	Водосбросы: разборчатая часть плотины с 4-мя пролетами – $B = 20,0$ м, $Q = 3000$ м ³ /сек. Водоприемник трехпролетный, шириной по 16 м, $Q = 350$ м ³ /сек. В пороге – 5 отверстий промывных галерей $B = 4,5$ м, $H = 1,7$ м, $Q = 4$ м ³ /сек.
Каменно-набросные плотины				
7	Алгетское	Плотина каменно-набросная, $L = 490$ м, $H = 86$ м.	ГЭС – деривационного типа, $Q = 2,65$ м ³ /сек.	Водосброс – шахтного типа, из наклонного тоннеля $d = 4,9$ м, $L = 240$ м, $Q = 455$ м ³ /сек. Водозабор – водовыпуск глубокий, из стальной трубы в железобетонной оболочке, $d = 2$ м, $L = 340$ м, $Q = 10$ м ³ /сек.

Таблица I.3.2.8 (продолжение)

1	2	3	4	5
8	Храмское	Плотина каменно-набросная, $L = 113$ м, $B = 5$ м, $H = 32$ м с железобетонным экраном, покрытым металлической облицовкой. Напор – 28,9 м.	ХрамГЭС-I деривационного типа. Напорный деривационный тоннель $L = 7542$ м, $d = 3,2$ м, уравнительный двухкамерный резервуар, трехниточный напорный турбинный трубопровод $l = 585$ м, $d = 1,69-1,39$ м, здание ГЭС – $l = 64,3$ м, $b = 14,8$ м, три агрегата мощностью по 37,6 тыс. кВт. Отработанная вода ХрамГЭС-I сбрасывается в бассейн суточного регулирования ХрамГЭС-II. Расчетный расход ГЭС-II – 36 м ³ /сек, напор – 370 м.	Поверхностный водосброс из 6-ти пролетов длиной по 44 м, $Q = 500$ м ³ /сек. Донный водоспуск – тоннель $l = 227,6$ м сечением 23,7 м ² , $Q = 80$ м ³ /сек. Водоприемник – глубоинный, водозабор с двухточечной входной частью сечением 5,4×4,5 м, $Q = 36$ м ³ /сек.
9	Шаорское	Плотина каменно-набросная с глиняным экраном, $L = 1241$ м, $B = 8,8$ м, $H = 14,2$ м.	ГЭС деривационного типа, подводящий канал по дну водохранилища, напорный деривационный тоннель, $l = 1326$ м, уравнительный резервуар $h = 44,1$ м, $d = 2,1$ м; двухниточный турбинный водовод $l = 2895$ м, $d = 1,4-1,05$ м, в здании ГЭС 40×10 м с 4 агрегатами мощностью по 9,6 тыс.кВт. Расчетный расход ГЭС – 10 м ³ /сек, напор – 476 м.	Водосброс – донный железобетонный водоспуск прямоугольного сечения, 1,7×2,3 м, $l = 62,7$ м, уложен под телом плотины, в конце гаситель глубиной 6,5 м, $d = 5$ м, $Q = 24$ м ³ /сек. Водоприемник однопролетный сечением 22×4 м, $Q = 10$ м ³ /сек.
Земляные плотины				
10	Жинвальское	Плотина – земляная с суглинистым ядром, $H = 102$ м, $L = 412$ м, $B = 9$ м. Напор – 98 м.	ГЭС приплотинного типа. Подземный турбинный водовод $l = 628$ м, $d = 5,5-5$ м; подземная ГЭС – $l = 75$ м, $b = 14$ м, $h = 36,6$ м; 4 агрегата мощностью по 32,5 тыс.кВт. Расчетный расход ГЭС – 110 м ³ /сек, напор – 128 м. Отводящий тракт – безнапорный тоннель – 8,6 км, канал – 1 км. В конце буферный бассейн, из которого забирается 15 м ³ /сек в магистральный водовод 9,8 м ³ /сек на орошение и 5,2 м ³ /сек на водоснабжение.	Глубинный водосброс башенного типа, $Q = 1425$ м ³ /сек. Холостой водосброс открытого типа трапецеидального сечения, $Q = 1240$ м ³ /сек. Водоприемник башенного типа – $H = 55$ м, сечение 15×28 м, $Q = 115$ м ³ /сек.
11	Сионское	Плотина земляная с ядром из суглинков, $L = 780$ м, $B = 16$ м, $H = 86$ м.	ГЭС приплотинного типа. Напорный энергетический тоннель $l = 558$ м, $d = 2,8$ м, $Q = 23$ м ³ /сек; однониточный металлический напорный трубопровод, $l = 39$ м, $d = 24$ м. Ирригационный напорный тоннель $l = 730$ м, $d = 6$ м; $Q = 24$ м ³ /сек. В здании ГЭС, размером 11,5×20,65 м, установлены два агрегата мощностью по 4,5 тыс. кВт.	Водосброс – водослив длиной 72 м, $Q = 600$ м ³ /сек переходит в быстроток $l = 557$ м, с гасительным колодезем общим с отводящими тоннелями. Два водоприемника – энергетический и ирригационный, глубоинный водозабор, $Q = 23$ и 24 м ³ /сек.

Таблица I.3.2.8 (продолжение)

1	2	3	4	5
12	Зонкарское (Патара Лиахвское)	Плотина земляная из насыпного песчаного грунта с ядром из суглинков $H = 68,5$ м, $L = 452,5$ м, $B = 10,0$ м.	-	Водосбросы: 1) тоннель $L = 848$ м, $d = 5,0$ м, $Q = 300$ м ³ /сек; 2) водослив, $L = 90$ м, переходит в галерею $L = 320$ м переменного сечения, $Q = 420$ м ³ /сек. Водозабор – железобетонная труба ирригационного водовыпуска, $l = 540$ м, $d = 2,5$ м, $Q = 40,4$ м ³ /сек.
13	Гальское	Плотина – земляная, высотой 55 м, длиной 890 м и шириной 8 м; напор 52 м.	Перепадная ГЭС-I на р. Эрис-цкали приплотинного типа, металлический трехниточный напорный трубопровод $d = 6$ м, $l = 169$ м; здание ГЭС – $l = 77$ м, $b = 20$ м, $h = 25$ м; установлено 3 агрегата по 37,7 тыс. кВт; расчетный расход ГЭС – 425 м ³ /сек. Напор 59 м.	Эксплуатационный водосброс 2-х пролетный $Q = 600$ м ³ /сек. Донный выпуск $l = 517,5$ м, $d = 7$ м, $Q = 360$ м ³ /сек. Водозаборные сооружения – напорная камера с тремя отверстиями, пролетом 8 м каждый, расчетный расход 425 м ³ /сек.
14	Ткибульское	Плотина земляная с суглинистым экраном, $H = 36$ м, $L = 1605$ м, $B = 6,0$ м.	ГЭС деривационного типа. Напорный деривационный тоннель $l = 2222$ м, $d = 3,5$ м; сбросной тоннель; уравнительный резервуар $h = 66,5$ м, $d = 4,32$ м. Однониточный турбинный водовод $l = 664,5$ м, $d = 3,2-1,5$ м; в здании ГЭС (52×20 м) установлены 4 агрегата мощностью по 20 тыс.кВт. Расчетный расход 34 м ³ /сек, напор – 293,1 м.	Водосброс – сбросной тоннель $Q = 75$ м ³ /сек, $l = 130$ м, $d = 3,5$ м. Водоприемник двухпролетный размерами 5,0×4,7 м, $Q = 34$ м ³ /сек.
15	Якубловское (Дманисское)	Плотина земляная из глины с песком, защищается слоем песчаного грунта и двойного мощения из рваного камня $L = 1100$ м, $B = 4$ м, $H = 14$ м.	-	Водосброс-водослив $L = 150$ м, переходит в открытый канал $L = 485$ м, $Q = 76$ м ³ /сек. Водозабор – донный выпуск из водохранилища металлической трубой $l = 84$ м, $d = 1,03$ м, $Q = 4$ м ³ /сек.

Таблица I.3.2.9

**Классификация водоподпорных основных сооружений на водохранилищах
Грузии по высоте**

№	Название плотины	Высота плотины, м	Длина плотины по гребню	Ширина плотины по гребню	Тип плотины	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
1	Джварская (Ингурская)	271,5	758,0	10,0	бетонная арочная	функционирует
2	Жинвальская	102,0	412,0	9,0	каменно – земляная	функционирует
3	Сионская	86,0	780,0	16,0	земляная	функционирует
4	Алгетская	86,0	490,0	12,0	каменно – набросная	функционирует
5	Лакбе	75,0	585,0	8,0	земляная	функционирует
6	Ладжанурская	70,0	127,0	2,5	бетонная арочная	функционирует
7	Зонкарская (Патара Лиахвская)	68,0	452,0	10,0	земляная	функционирует
8	Гальская	55,0	890,0	8,0	каменно – земляная	функционирует
9	Телет-Цкали	41,3	260,0	10,0	земляная	не функционирует
10	Далис-Мта	38,0	1750,0	10,0	земляная	функционирует
11	Ваке	36,7	250,0	6,0	земляная	не функционирует
12	Ткибульская	36,0	1605,0	6,0	земляная	не функционирует
13	Архашенская	35,0		10,0	земляная	не функционирует
14	Девис-Цкали	32,0	595,0	6,0	земляная	не функционирует
15	Гуматская	32,0	211,0	3,0	бетонно- гравитацио нная	в-ще заилено
16	Храмская (Цалкская)	32,0	113,0	5,0	каменно – набросная	функционирует
17	Череми (Тхилианис-Хеви)	30,8	131,0	12,0	земляная	не функционирует
18	ЗаГЭС	24,0	68,0		бетонная	функционирует
19	Варцихские	1. 21,02 2. 11,0	447,0	10,0	жел.бет. земляная	в-ще заилено
20	Липи	20,95	425,0	8,0	земляная	функционирует
21	Кушисхевская	18,0	719,0	8,0	земляная	не функционирует
22	Красногорская	15,0	415,0	6,0	земляная	не функционирует
23	Кранчисхевская	14,5	406,0	8,0	земляная	функционирует

Таблица I.3.2.9 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
24	Шаорская	14,0	1241,0	8,8	каменно – набросная	функционирует
25	Дманисская (Якублойская)	14,0	1100,0	4,0	земляная	функционирует
26	Удабно	10,8	229,0	3,0	земляная	не функционирует
27	Тбилисские	1. 9,0; 15,0 2. 10,0; 12,0	192,0;290,0 480,0;290,0		две бетонные, две земляные	функционирует

I.3.3. ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩНЫХ СИСТЕМ ГРУЗИИ

Водоохранилища Грузии располагаются, в основном, в бассейнах рек Ингури, Риони и Куры.

Бассейн р. Ингури, площадью 4060 км² простирается с южных склонов Главного Кавказского хребта до Колхидской низменности. Общее падение реки 2614 м, длина 213 км, средний уклон 11,8%. Удельная мощность реки в верхнем течении составляет до 2000 кВт, в среднем от 2000 до 1400 кВт и в нижнем до 1000 кВт на 1 п.км.

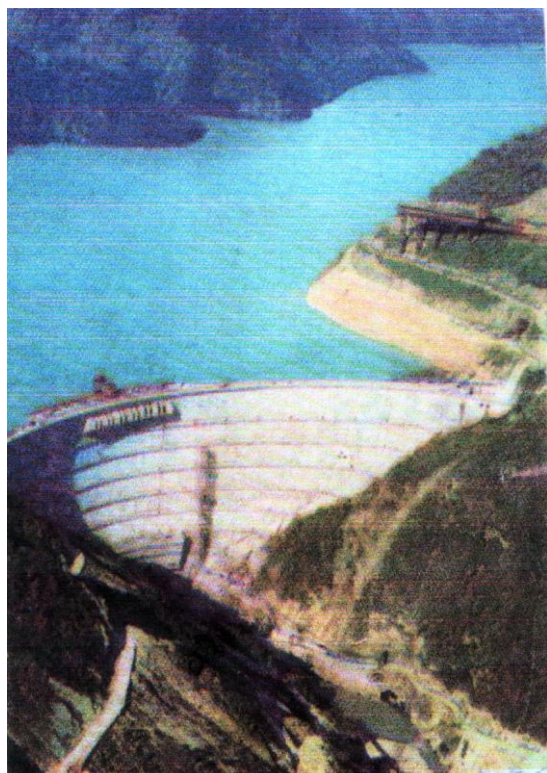


Фото I.3.3.1. Общий вид Ингурского (Джварского) водохранилища

Ингурское (Джварское) водохранилище. Гидротехническая схема Ингурской ГЭС является смешенной – плотина – деривационной: статический напор составляет 409,5 м, из которых 226 м создаются арочной плотиной, а 193,5 м – напорной деривацией. Джварское (Ингурское) водохранилище, созданное в 1978г., было образовано в результате подпора р. Ингури арочной плотинной высотой 271,5 м, сооруженной в 5 км выше от п. Джвари. Оно относится к глубоководным горным водохранилищам каньонного типа (рис. I.3.3.1, фото I.3.3.1).

При отметке НПУ 510 м подпор р. Ингури распространяется на 27 км. Ширина водохранилища колеблется от 100 до 1700 м, максимальная величина призмы сработки – 70 м, полный объем водохранилища 1110 млн.м³, полезный – 676 млн.м³, площадь зеркала водохранилища 13,31 км². Водоохранилище сезонного регулирования. Река Ингури и характеризуется показателями: водосборная площадь бассейна 4060 км², годовой многолетний сток в створе плотины 4777 млн. м³, средний многолетний расход 155 м³/сек, максимально наблюдаемый расход 950 м³/сек, минимальный наблюдаемый расход 16 м³/сек, отношение

полезного объема водохранилища к среднему многолетнему годовому стоку 0,14, коэффициент использования стока 0,97. Установленная мощность Ингури ГЭС –1640 тыс. кВт, среднегодовая выработка электроэнергии 5,5 млрд. кВтч. Уровень водохранилища на отметке НПУ 510,0 м держится в течение трех- четырех летних месяцев в году. В остальное время года водохранилище сбрасывается и заполняется по диспетчерскому графику ГЭС.

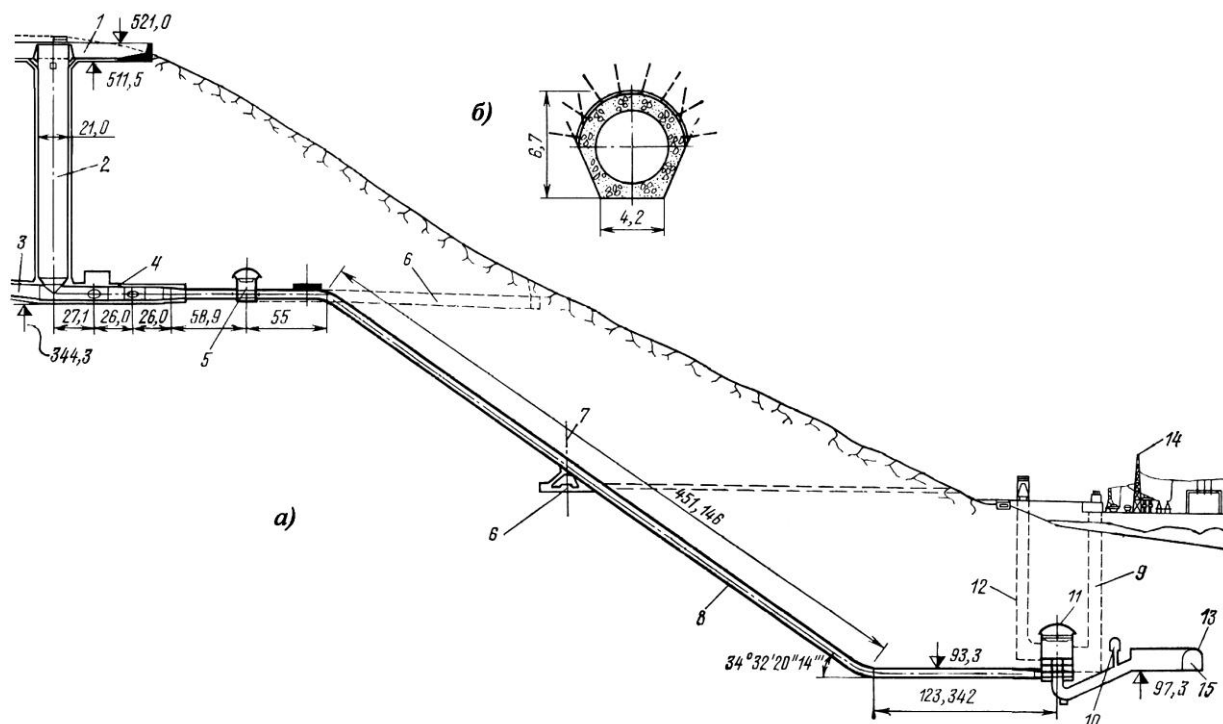


Рис. 1.3.3.1. Напорно-станционный узел Ингуриской ГЭС:

а – продольный разрез; **б** – план; 1 – открытая камера уравнивающего резервуара; 2 – уравнивающий резервуар-шахта; 3 – деривационный тоннель; 4 – коллектор соединительного тоннеля; 5 – помещение дисковых затворов; 6 – штольни-камеры горного комплекса; 7 – ось соединительного тоннеля; 8 – водовод $d = 5,0$ м; 9 – три шинные шахты, одна диаметром 7,0 м, две – 8,0 м; 10 – помещение управления затворами в отсасывающей трубе; 11 – здание ГЭС; 12 – грузовая шахта $d = 7,0$ м; 13 – коллектор отсасывающих труб; 14 – ОРУ 550 кВ; 15 – отводящий тоннель.

Склоны долины р. Ингури в пределах ложа водохранилища сложены скальными породами порфиритовой свиты Байеса, представленной туфобрекчиями, туфопесчаниками, туфами и порфиристыми покровами. На левобережном склоне приплотинной части водохранилища длиной 2 км имеются оползневые участки с большим количеством рыхлых масс (осыпей разного возраста).

Долина р. Ингури на участке плотины представляет собой горное ущелье шириной по дну 50-70 м, на отметке гребня – около 600 м. Угол наклона левобережного склона в среднем 35° , правобережного 45° . Выше плотины на левобережном склоне на высоте около 100 м имеется уступ террасы рыхлых отложений шириной 50–100 м, поверхность которого наклонена в сторону долины под углом $10-20^\circ$. Ниже плотины склон перерезан оврагом – логом Максанья. В русле реки скальные породы залегают на глубине до 40 м.

Участок *арочной плотины* сложен скальными карбонатными породами нижнемелового возраста, в составе которых преобладают известняки и доломиты баррема, а в верхней части левого склона – известняки апта. Пласты этих пород имеют общее падение вниз по

течению реки под углом 50-60°. Уникальная *арочная плотина* представляет собой оболочку двоякой кривизны с гравитационными устоями высотой по 26,5 м на обоих берегах (рис. I.3.3.2, I.3.3.3). Общая высота плотины 271,5 м. Длина плотины по гребню составляет 728 м, в том числе 123 м – длина лево- и правобережного устоев, 605 м – длина гребневой арки. Опорная часть плотины выполнена в виде седла, отделенного от арочной части периметриальным швом специальной формы. Высота седла составляет 15-20 м на склонах и достигает 60 м в нижней части ущелья. Устройство седла позволило сопрячь плотину с трещиноватым и неоднородным основанием, снизить сжимающие напряжения по контакту со скалой и распереть бетоном откосы котлована за счет резкого уменьшения опорного контура, особенно выше отметки 370 м; уменьшить опасность проявления сейсмических воздействий. Толщина плотины в сечении центральной консоли (секция 18) по гребню (теоретическая) 10 м, по периметриальному шву 56 м, по контакту с основанием 90 м. Плотина построена в несимметричном створе, по форме близком к параболическому. Отношение длины хорды верхней арки к высоте плотины составляет 2,3. Объем плотины – 3960 тыс. м³, включая устои и правобережный противофильтрационный открылок. Напряженное состояние плотины характеризовалось существенной неравномерностью и высоким уровнем сжимающих напряжений, достигающих 10 мПа при основном и 13 мПа – при особом сочетании нагрузок и воздействий, включая расчетное сейсмическое.

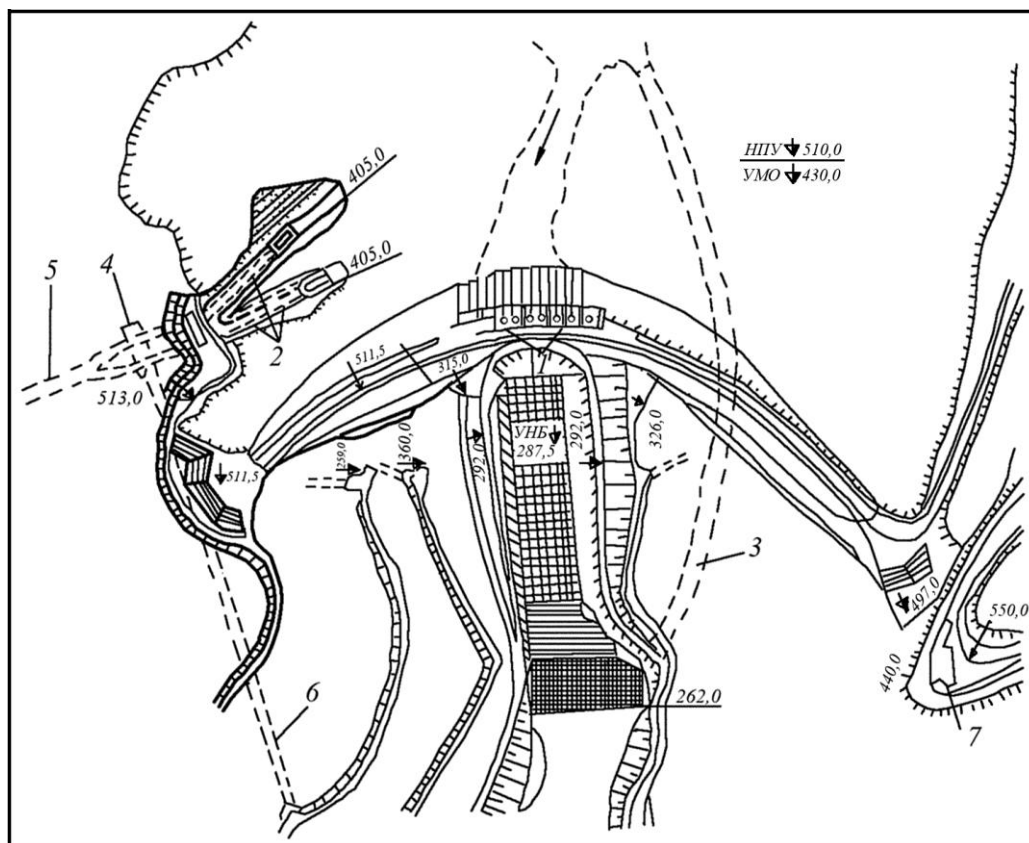


Рис. I.3.3.2 План арочной плотины Ингури ГЭС

а – разрез в ключевом сечении; б – план плотины; в – развертка по верховой грани; 1 – поверхностный водосброс; 2 – водомещение дисковых затворов (ПДЗ) деривационного тоннеля; 3- строительный тоннель; 4 – помещение дисковых затворов; 5 – деривационный тоннель; 6 – подходная штольня к ПДЗ; 7 – здание управления головного узла

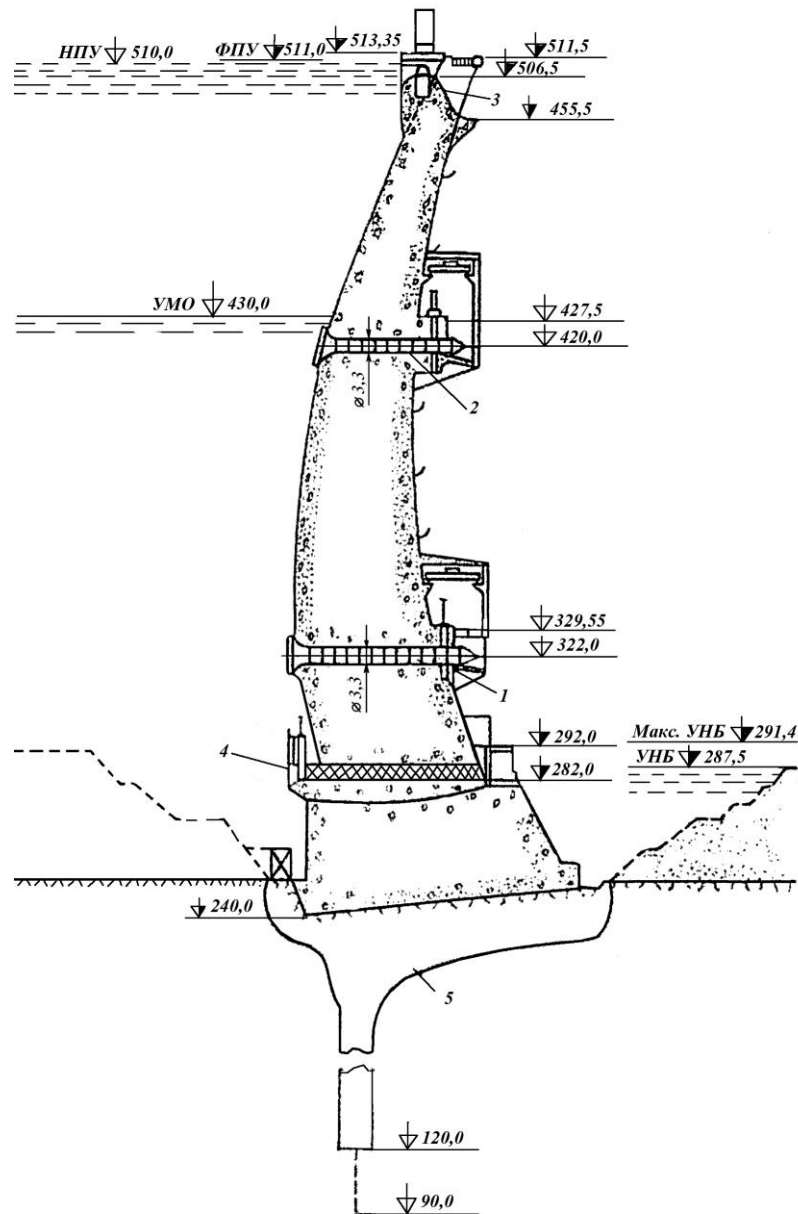


Рис. 1.3.3.3. Поперечный профиль арочной плотины Ингурской ГЭС

1 – глубинные водосборы на отметке 322 м (нижний ярус); 2 – то же на отметке 420 м (средний ярус); 3 – поверхностный водослив (верхний ярус); 4 – временные водопропускные отверстия на отметке 282,0 м; 5 – цементационная.

До строительства Ингурского каскада (1978 г.) в Черное море спускалось 5,5 млн. т/год (2,7 млн. м³/год) наносов, в настоящее время (2011 г.) – всего 0,2 млн. т/год (0,1 млн. м³/год). Накопление наносов в Ингурском водохранилище сильно действует на геоморфологические изменения побережья Черного моря. Создание высокой плотины влечет прекращение стока наносов в Черное море, в результате чего на побережье наблюдается дефицит наносов и, как следствие, усиленные размывы берега. Катастрофические размывы Черноморского побережья наблюдаются на Аджарском побережье, вызванные строительством каскада водохранилищ на территории Турции в русле р. Чорохи. Если до строительства (1971 г.) этого каскада р. Чорохи спускала в Черное море 10 млн. т/год (5 млн. м³/год) наносов, то в настоящее время спускается всего 1,0 млн. т/год (0,5 млн. м³/год). Река Риони

сбрасывает 7,7 млн. т/год (3,8 млн. м³/год) наносов. Таким образом, дефицит наносов на Черноморском побережье Грузии составляет 8,0 млн. т/год (15,0 млн. м³/год).

Гальское водохранилище. Использованная на Ингурской ГЭС вода отводящим безнапорным тоннелем длиной 3,15 км поступает в *Гальское водохранилище*, которое создано на р. Эрис-Цкали Перепадной ГЭС-1 (рис. I.3.3.1).

Отводящий безнапорный тоннель сечением в свету 116 м² рассчитан на пропуск максимального расхода Ингурской ГЭС 450 м³/с. Максимальная скорость воды в тоннеле составляет 5,85 м/с, уклон тоннеля – 0,0013. Форма поперечного сечения тоннеля – коробковый свод и плоским дном. Учитывая значительные колебания уровня воды в Гальском водохранилище, достигающие до 5,5 м, в проекте приняли вытянутую по высоте форму поперечного сечения тоннеля размерами 10,8×13,2 м. При НПУ Гальского водохранилища 100,55 м нормальная глубина воды в тоннеле равна 7,5 м, при этом высота свободного пространства до шельги свода остается равной 5,7 м. На отводящем канале созданы четыре перепадные (I, II, III, IV) ГЭС, Перепадная ГЭС-I с напором $H_{ст} = 64,55$ м и Перепадная ГЭС-II, III и IV с одинаковым напором $H_{ст}$ по 12,0 м. Земляной канал трапецеидального сечения начинается в нижнем бьефе Перепадной ГЭС-I и проходит по заболоченной равнине до берега Черного моря (рис. I.3.3.1). Канал рассчитан на пропуск максимального сбросного расхода Перепадной ГЭС-I обеспеченностью 0,1%, равного 710 м³/с, и боковой проточности на участке до Черного моря:

Участки между Перепадными ГЭС	Расстояние, км	Максимальные расходы, м ³ /с
I – II	5,5	658-710
II – III	4,6	670-710
III – IV	4,8	690-710
IV – Черное море	8,4	до 756

Канал, в основном, не облицован, за исключением начального участка в нижнем бьефе Перепадной ГЭС-I длиной 560 м и переходных участков в примыканиях к перепадным ГЭС-II, III и IV. Русло р. Эрисцкали возле Перепадной ГЭС-I засыпано, а в остальной части (до впадения в Черное море) оставлено в естественном состоянии. Ширина канала на различных участках разная: от 60 м (по верху) на начальном участке до 120-150 м на участке у Черного моря в районе мыса Анаклиа. Глубина канала около 6 м в нижнем бьефе Перепадной ГЭС и до 12 м – в верхнем бьефе. В верхнем бьефе Перепадной ГЭС канал выполнен частично в дамбах.

Перепадная ГЭС-I располагается в долине р. Эрис-Цкали севернее г. Гали, на отводящем канале Ингурской ГЭС. Основные параметры Перепадной ГЭС-I: площадь водосбора – 169 км²; среднемноголетний сток – 0,164 км³; площадь водохранилища при НПУ 100,55 м – 80 км²; емкость водохранилища: полная – 0,145 км³, полезная – 0,007 км³; расчетный максимальный сбросной расход – 710 м³/с; длина напорного фронта – 1,0 км; максимальный статический напор – 64,5 м; установленная мощность при расчетном напоре 50 м – 220 мВт; среднегодовая выработка – 730 млн. кВтч,

В состав основных сооружений Перепадной ГЭС-I входят (рис. I.3.3.4, фото I.3.3.2, I.3.3.3) плотина из местных материалов, приплотинная наземная ГЭС, строительный тоннель длиной 517,5 м, водоприемные и водосбросные сооружения, отводящий канал, ОРУ 200 и 110 кВт.

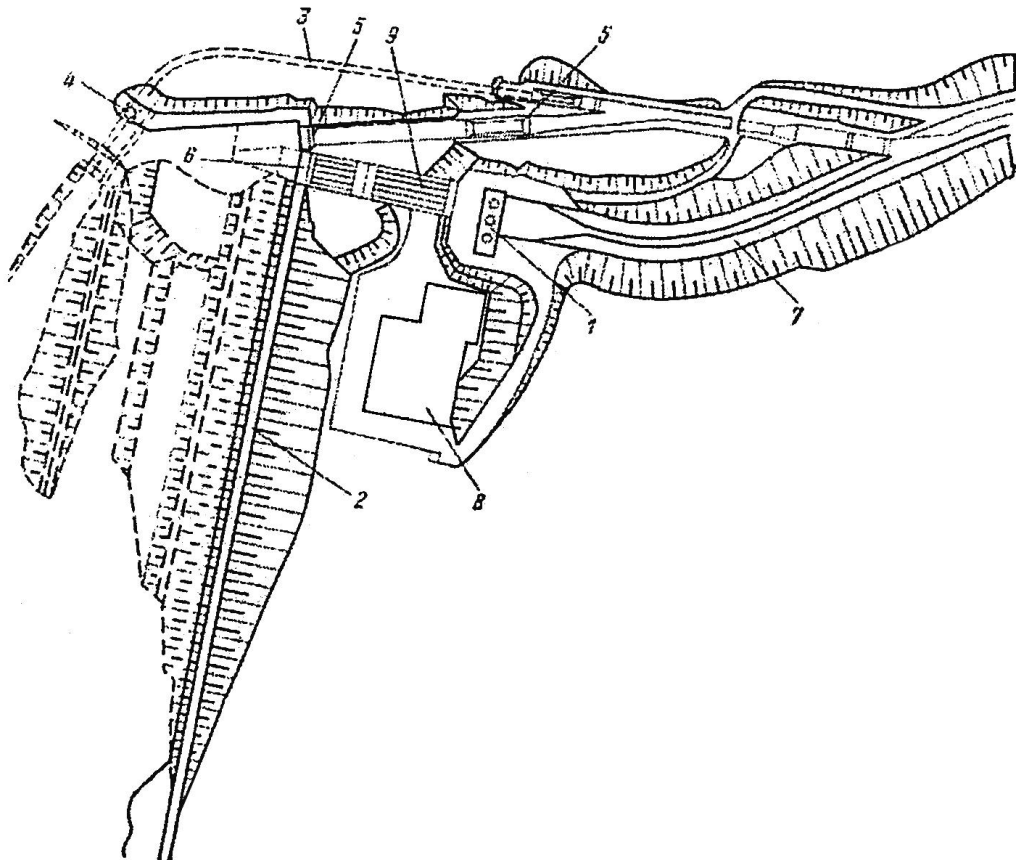


Рис. I.3.3.4. Компонка основных сооружений Перепадной ГЭС-I:
 1 – приплотинная наземная ГЭС; 2 – грунтовая плотина; 3 – строительный тоннель;
 4 – шахта затворов донного водовыпуска; 5 – эксплуатационный водосброс; 6 – водо-
 приемник ГЭС; 7 – отводящий канал; 8 – ОРУ; 9 – турбинные водоводы.

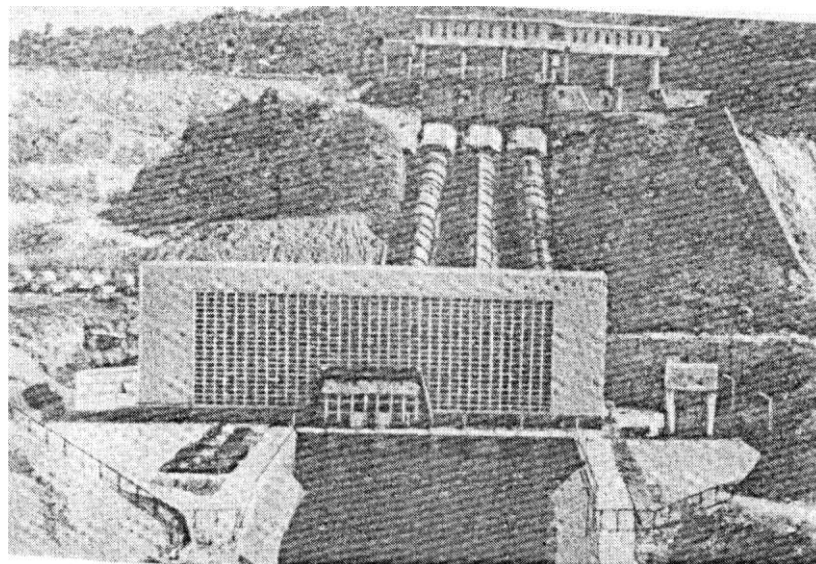


Фото I.3.3.2. Общий вид Перепадной ГЭС-I со стороны нижнего бьефа (Фото 1990 г.)

Плотина из местных материалов (каменно–земляная) создает Гальское водохранилище длиной 8,5 км с НПУ на отметке 100,55 м и объемом 145 млн. м³ (рис. I.3.3.5).

Выбранный створ является наиболее суженным местом долины р. Эрис-Цкали, где ширина ее по дну не превышает 400,0 м.

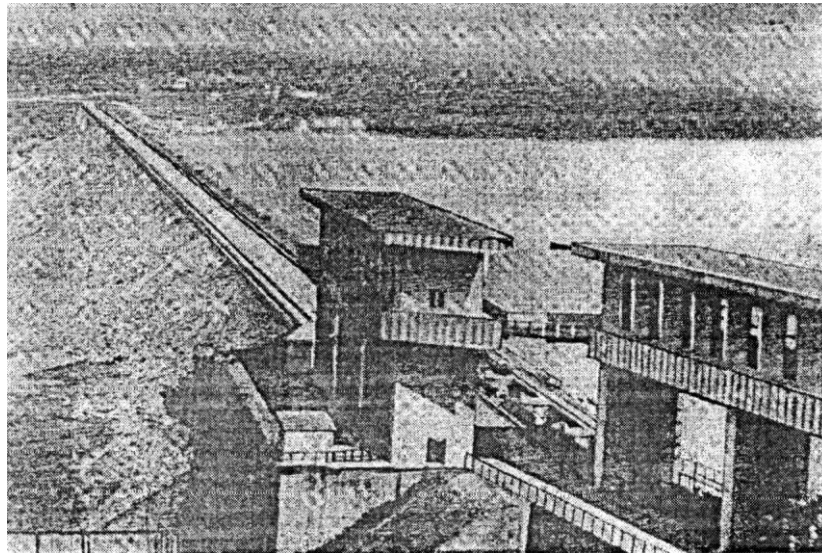


Фото 1.3.3.3. Каменно–земляная плотина и водохранилище Перепадной ГЭС-I (Фото 1990 г.)

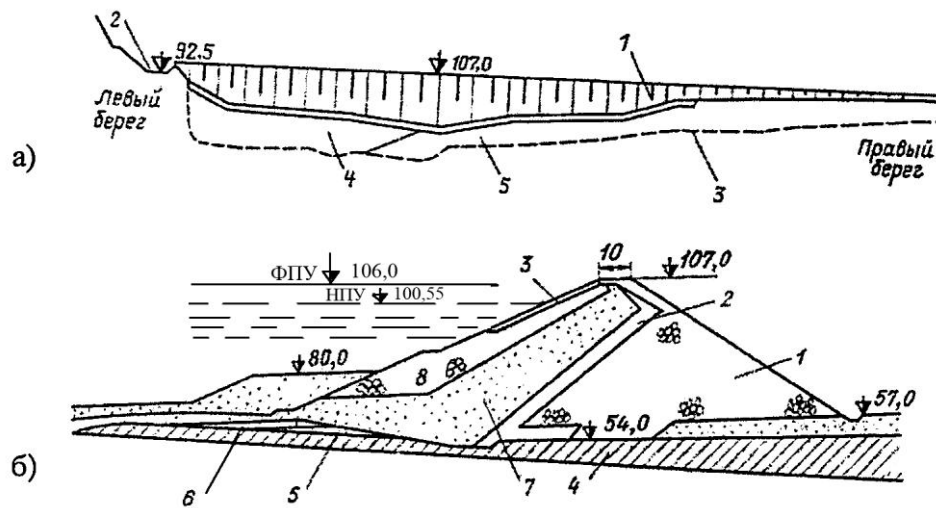


Рис. 1. 3. 3. 5 Поперечный разрез по створу Перепадной ГЭС-I:

а) 1 - каменно–земляная плотина; 2 – водоприемный канал; 3 – граница цементационной завесы; 4 – песчаники глинистые; 5 - конгломерат

б) 1 - каменная наброска; 2 - однослойный фильтр; 3 - армобетонная плита; 4 - глины коренные; 5 - песчаники слабые; 6 - конгломераты коренные; 7 - экран; 8 - защитная каменная наброска

Плотина запроектирована на нормальный подпорный уровень на отметке 100,55 м с форсировкой его до 106,0 м. Отметка форсированного подпорного уровня соответствует аккумулярованию в водохранилище паводка р. Эрис-Цкали с приточным расходом $1300 \text{ м}^3/\text{с}$. Сбросной расход равен $600 \text{ м}^3/\text{с}$: через здание Перепадной ГЭС-I пропускается $425 \text{ м}^3/\text{с}$, через эксплуатационный водосброс $175 \text{ м}^3/\text{с}$.

Отметка гребня плотины определена в 107,0 м при устройстве глухого бетонного парапета высотой 1,0 м, длина плотины по гребню 890,0 м, максимальная высота 57,5 м, ширина по гребню 10,0 м, понизу 195,0 м. На левом берегу плотина примыкает к водоприемным сооружениям и напорной камере. У низового откоса плотины расположена площадка ОРУ 220 и 110 кВ. Плотина состоит из низовой призмы – каменной наброски, верховой

водонепроницаемой части – экрана, отсыпанного из конгломератов, поверх которых расположен защитный слой из каменной наброски, в верхней части прикрытый железобетонной плитой. Заложение верхового откоса плотины принято равным 1:2,5. Между экраном и низовой призмой находится однослойный фильтр толщиной 5 м. При оценке сейсмичности района согласно СНиП.П-А.12-60 расчетная балльность для плотины принята равной 8. Основной объем тела каменно-земляной плотины составил 2191 тыс. м³, в том числе: каменная наброска низовой призмы и крепления – 1191 тыс. м³, водонепроницаемый экран из конгломератов – 810 тыс. м³ и фильтры из песчано-гравелистого материала поймы р. Ингури – 190 тыс. м³.

Подводящий канал служит для подвода воды к напорной камере водоприемника ГЭС-I и к эксплуатационному водосбросу. Он располагается на левобережном склоне долины р. Эрис-Цкали, примыкая непосредственно к левому крылу земляной плотины.

Забор расчетного расхода Перепадной ГЭС-I, равного 425,0 м³/с, обеспечивается при НПУ водохранилища 100,55 м. Для сброса расчетного расхода Перепадной ГЭС-I при аварийных ее остановках и обеспечения работы Ингурской ГЭС и Перепадных ГЭС-II, III, IV, а также для сброса части катастрофического паводка р. Эрис-Цкали с обеспеченностью 0,01% (паводок в основном аккумулируется в Гальском водохранилище) сооружен эксплуатационный водосброс, расположенный на левобережном склоне долины (рис. 1.3.3.6). Водосбросной тракт состоит из блока затворов водосброса, быстротока, гасительного колодца, канала и второго быстротока с гасительным колодцем, сопрягающимся с отводящим каналом. Пропускная способность эксплуатационного водосброса 600 м³/с.

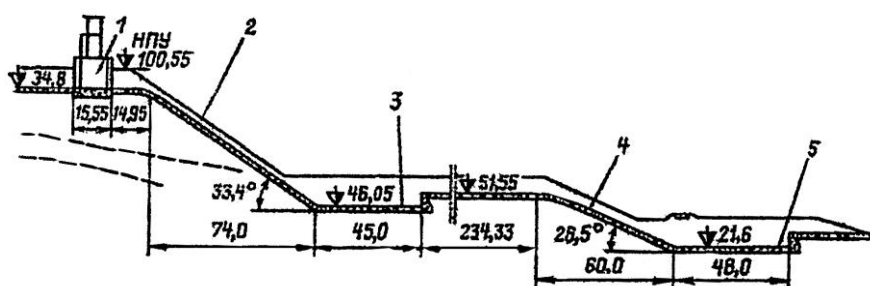


Рис.1.3.3.6 Разрез по эксплуатационному водосбросу из Гальского водохранилища:
1 – блок затворов; 2 – быстроток; 3 – гасительный колодец; 4 – быстроток; 5 – гасительный колодец

В конце быстротока располагается гасительный колодец длиной 45,0 м с отметкой дна 46,05 м, за порогом которого сооружен канал прямоугольного сечения длиной 234,33 м, шириной 15,0 м и уклоном дна 0,0011. Нормальная глубина воды в канале 6,0 м. За каналом начинается второй, более короткий быстроток шириной 15,0 м, длиной 67,0 м и углом наклона его к горизонту 26,5°. В конце него расположен второй гасительный колодец длиной 48,0 м, глубиной 8,0 м с отметкой дна 21,6 м. От водоприемника к зданию ГЭС-I вода поступает по трем ниткам металлического сварного напорного трубопровода диаметром 6,0 м на горизонтальном участке длиной 57,3 м каждая. Здание Перепадной ГЭС-I располагается на нижней террасе р. Эрис-Цкали вблизи низового откоса земляной плотины, в котловане глубиной 35,0 м. В здании установлены три вертикальных гидроагрегата с поворотно-лопастными турбинами ПЛ-60/5а-ВИ-410 диаметром 4,1 м, спиральная камера металлическая сварная.

Расчетный расход Перепадной ГЭС-I 425 м³/с, расчетный напор 59,0 м, суммарная мощность генераторов 220 тыс. кВт, среднемноголетняя выработка электроэнергии 730 млн. кВтч. Расстояние между агрегатами 17,0 м. *Перепадные ГЭС-II, III и IV* сооружены на отводящем канале Ингурской ГЭС ниже Перепадной ГЭС-I соответственно на 5,5; 10,1 и 14,9 км. Все три Перепадные ГЭС расположены на трассе отводящего канала таким образом, что каждая из них при расчетном расходе 425 м³/с имеет одинаковый напор (брутто)-11,2 м; максимальный статический напор на всех трех ГЭС 12,0 м (фото I.3.3.4).

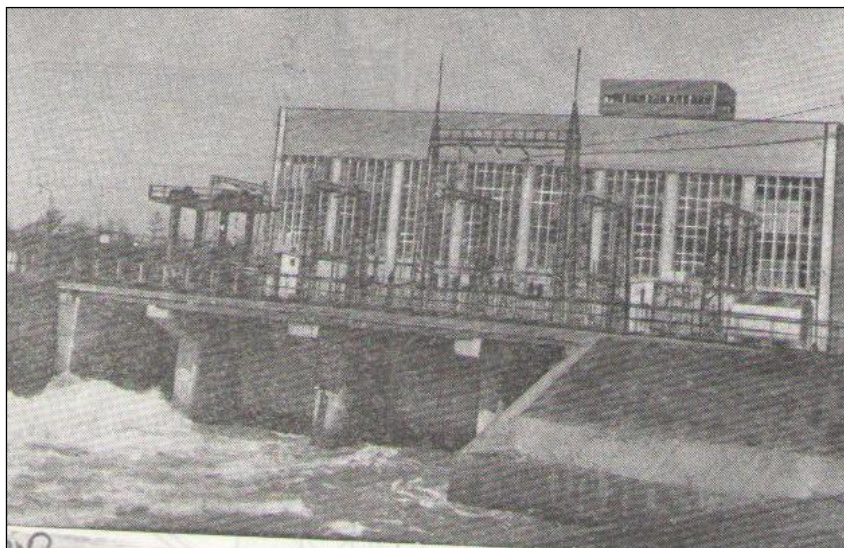


Фото I.3.3.4. Общий вид Перепадной ГЭС-IV со стороны нижнего бьефа (Фото 1990 г.)

В схеме Перепадных ГЭС-II, III и IV водосбросы шириной по 7,0 м расположены по обеим сторонам блока агрегатов с расчетным расходом по 215 м³/с, заглубление порога под НПУ 6,13 м. Для гашения энергии в нижнем бьефе устроен гасительный колодец, глубина воды в колодце 10-11 м.

Два трансформатора ТРДН мощностью 25 тыс. кВт расположены с низовой стороны здания ГЭС. Напряжение обмоток 3,15/121 кВ. Общая установленная мощность Перепадных ГЭС-II, III и IV равно $40 \times 3 = 120$ МВт, среднемноголетняя выработка электроэнергии - 380 млн. кВтч.

Бассейн р. Риони площадью 13400 км² вмещает 3320 рек, общей протяженностью 6112 км при густоте речной сети 1,68 км/км². Река Риони длиной 327 км имеет падение 2620 м и средний уклон 7,2%.

В энергетическом отношении наибольший интерес представляет бассейн среднего течения реки, где сосредоточено 80% ее потенциальной энергии и где располагаются – водохранилища с гидроэлектростанциями: Гумати ГЭС, Ладжанури ГЭС и Варцихе ГЭС, несколько выше расположены Шаори ГЭС и Ткибули ГЭС. Гуматское и Варцихское водохранилища почти полностью заполнены наносами. Из-за потери емкости водоемов снизилась выработка станций и нарушилась гибкость системы. Эти станции (особенно Гуматские) работают в базисе по водотоку. *Кухийское* водохранилище – ирригационного назначения.

Шаори-Ткибульский каскад с ГЭС использует водную энергию р. Диди-Чала (Шаори) и Ткибули. Обе эти реки – первая в местности Херга, вторая у "провала" – исчезают, затем проходят по подземным путям и снова выходят на поверхность (рис. I.3.3.7).



Рис. 1.3.3.7. Схема расположения гидросооружений Шаорской водохранилищной системы
 1 – водоотводной канал; 2 – каменно-набросная плотина с глиняным экраном; 3 – подводящий канал; 4 – напорный тоннель; 5 – помещение дисковых затворов; 6 – отводной канал; 7 – здание ГЭС; 8 – водовод; 9 – уравнительная шахта; 10 – водоприемник.

Шаорское водохранилище является первой ступенью Шаоро-Ткибульского каскада, основным назначением которого является техническое водоснабжение шахт г. Ткибули, а также снабжение электроэнергией г. Ткибули и ряда населенных пунктов и участка Закавказской железной дороги. Водоохранилище Шаори создано в 1955 г. в Шаорской котловине путем сооружения плотины, преграждающей путь воде к карстовым воронкам, в которых ранее исчезала река (фото 1.3.3.5). До создания водохранилища на дне котловины выходило более 10 карстовых родников. В настоящее время в нижнем бьефе Шаорской плотины действуют 4 фильтрационных потока, из них два фильтрационных потока общим расходом $0,4 \text{ м}^3/\text{с}$ (фото 1.3.3.6).

Шаорская котловина тектонически представляет собой синклиналиную складку-мульду. Днище котловины покрыто толщей суглинисто-глинистого аллювия. Подстилающие породы мергелистые известняки апта, надвинутые на аркозовые песчаники. Образование карста приурочено к дезъюнктивным нарушениям в известковых породах.

Основные параметры водохранилища: полный объем – 71 млн. м^3 , полезный – 68 млн. м^3 , площадь зеркала – $13,2 \text{ км}^2$, максимальная глубина – $12,3 \text{ м}$, средняя – $6,8 \text{ м}$, приращение объема воды на 1 м глубины $10,5 \text{ млн. м}^3$, приращение объема на 1 км^2 затопляемой территории – $5,3 \text{ млн. м}^3$. Большая аккумуляция воды наблюдается в вертикальном разрезе. Водоохранилище сезонного регулирования. Уровень воды нестационарен, максимальная сработка уровня достигает $7,5\text{-}8,0 \text{ м}$. Стабилизация уровня на отметке НПУ наблюдается в весенне-летний период в течение $35\text{-}40$ суток. В остальное время уровень воды перемещается со скоростью до $0,02\text{-}0,05 \text{ м/сутки}$. Полезная водоотдача водохранилища $121 \text{ млн. м}^3/\text{год}$, водообмен составляет в среднем до $0,55$ года.

Водоохранилище расположено в зоне континентального горного климата с влажным умеренно-тёплым летом и холодной снежной зимой. Колебание температур воздуха в годовом разрезе достигает 24°C . Годовое количество осадков $1300\text{-}1800 \text{ мм}$. Господствующие ветры южного и восточного румбов, приносящие влажный морской воздух. Скорость ветров до 20 м/с . Обеспеченность штиля $\sim 52\%$. Район расположения водохранилища характеризуется высокими показателями относительной влажности с максимумом в осенний период.

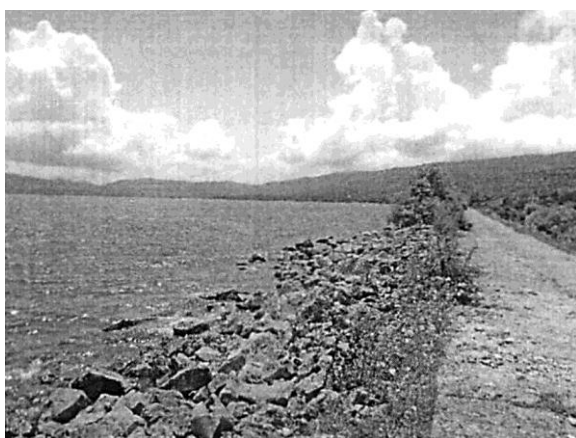


Фото I.3.3.5. Общие виды Шаорского водохранилища и каменно-набросной плотины



Фото I.3.3.6. Фильтрационные потоки из нижнего бьефа Шаорской каменно-набросной плотины

Максимум парциального давления водяного пара приходится на летний период. Максимум осадков наблюдается в июне (до 120-130 мм) и в октябре (до 130-140 мм). Минимум в апреле (до 80 мм). Вода в водохранилище наиболее интенсивно нагревается в апреле-мае, когда температура поверхностного слоя повышается до 13-16°C. Наибольшая температура воды в августе-июле (до 21-22°C). Падение температуры начинается с октября и в декабре температура поверхностного слоя воды падает до +4±-0,2°C, т.е. разница между температурой воды и воздуха достигает в среднем до 1-2°C. При этом температура воды летом ниже температуры воздуха, а зимой наоборот. Следовательно, при такой разнице в температурном режиме воды и воздуха трудно ждать интенсивного испарения.

ГЭС снабжена 4-мя гидроагрегатами мощностью 9,6 тыс. кВт и вырабатывает электроэнергию 138 млн. кВтч в год.

Котловина Шаорского водохранилища – естественная чаша, в которой создается подпор 11,0 м. Дно чаши водохранилища покрыто 4,0-6,0 метровой толщей суглинно-глинистого аллювия, под которыми располагаются закарстованные коренные породы. В течении 57 лет эксплуатации Шаорской плотины дважды наблюдался перелив воды через плотину. Разрушение плотины не произошло.

Поглощающие воронки расположены ниже створа плотины (рис. I.3.3.8).

Через плотину (по проекту) допускается перелив в воды с расходом 0,1 м³/с, что не может вызвать разрушение плотины.

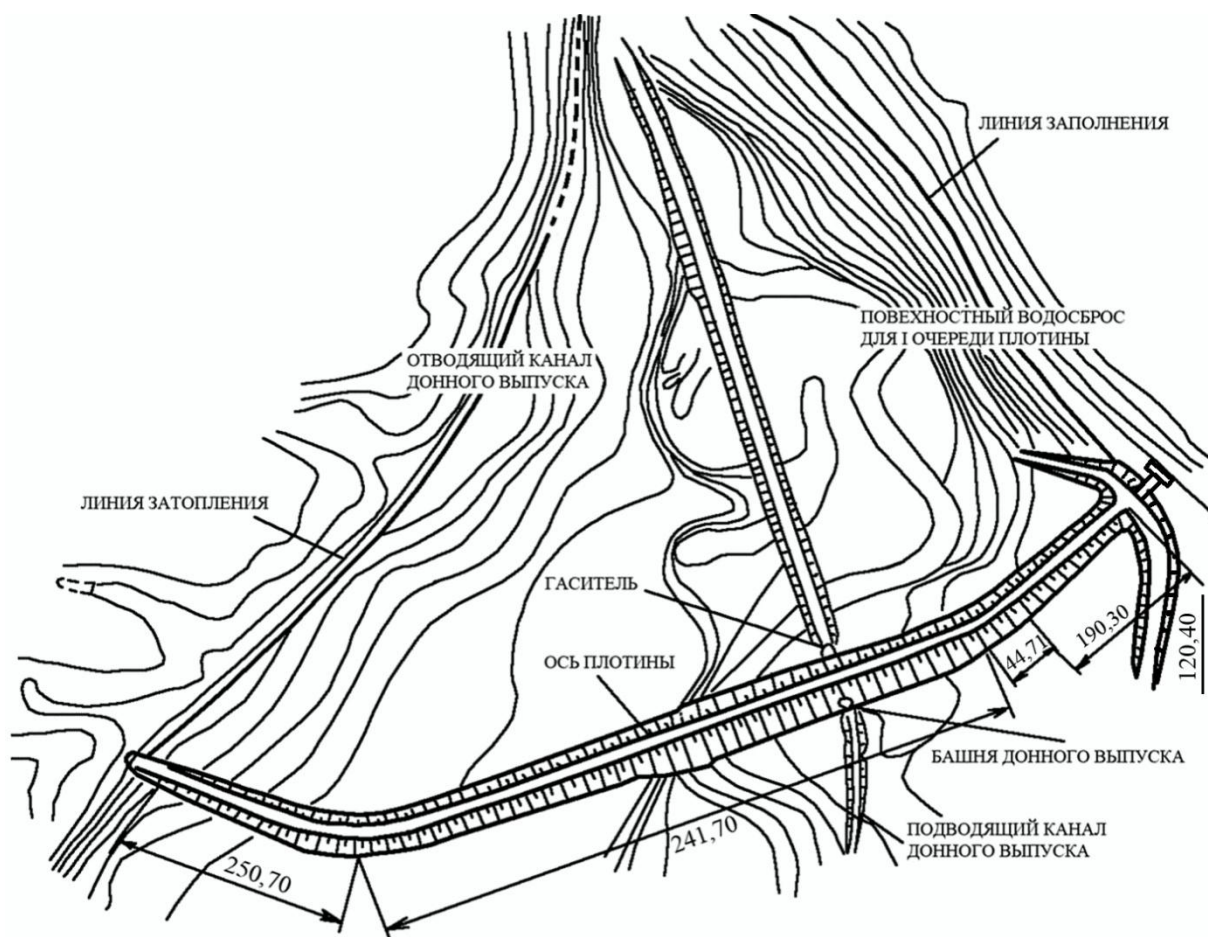


Рис. 1.3.3.8 План узла плотины Шаори ГЭС

Основанием плотины служат суглинки, мощность которых меняется от 1,5 до 3,5 м. Ниже расположены коренные породы, представленные мергелями и мергелистыми известняками. В русловой части длиной 110 м коренные породы выходят на дневную поверхность. В плане ось плотины в средней части, на длине около 600 м имеет прямолинейное направление. Посредством двух кривых, на концах указанного прямолинейного участка плотины, она нормально примыкает к берегам. Суглинистый экран упирается в нижнюю часть плотины, которая в строительный период была использована как перемычка. Экран снабжен суглинистым зубом глубиной около 2-х метров. Почти по всей длине плотины, подошва расположена на небольшом слое суглинков, подстилаемых мергелями. Исключение составляет небольшой длины участок, расположенный в средней части плотины, где мергели выступают на дневную поверхность. Учитывая возможную выветренность верхних слоев мергеля, на указанном участке предусмотрен зуб. Под суглинистым экраном устроен обратный фильтр, состоящий из одного слоя песка и двух слоев щебня. Обратный фильтр с одним слоем щебня также уложен по подошве плотины. На участках выклинивания мергелей на дневную поверхность обратный фильтр по подошве плотины не уложен. Экран погружен крупным камнем и имеет защитный слой из двух слоев щебня, отделяющих каменную пригрузку от экрана.

Наибольшая высота плотины от подошвы до гребня составляет 14,2 м. Гребень закреплен бетонными плитами толщиной 0,4 м при общей ширине 4,0 м (рис. 1.3.3.9).

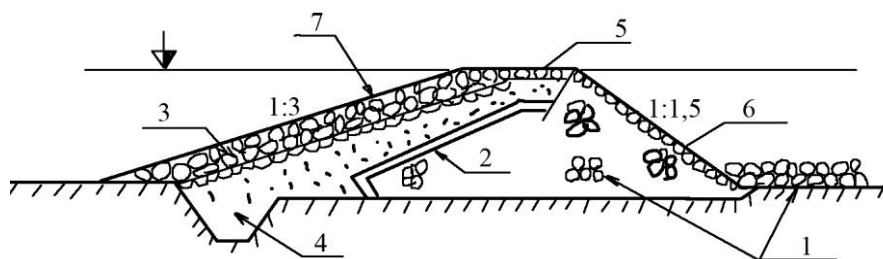


Рис. 1.3.3.9. Поперечный профиль Шаорский плотины

1- каменная наброска; 2- фильтр; 3- наброска из крупных камней; 4- суглинок;
5- бетонные плиты; 6-сухая каменная кладка; 7-отмостка.

Ткибульское (Дзеврулькое) водохранилище расположено на р. Ткибули. Головной узел расположен на расстоянии 12 км от устья р. Ткибула.

ТкибулиГЭС является второй ступенью Шаори-Ткибульского каскада. Отработанная на ШаориГЭС вода сбрасывается в р. Ткибули, на которой в Ахалсопельской котловине перед провалом реки в карстовые пустоты сооружена земляная плотина рис. (I.3.3.10, I.3.3.11, фото I.3.3.7).

Земляная плотина создает Ткибульское водохранилище. Забор воды из водохранилища расходом $34 \text{ м}^3/\text{с}$ осуществляется водоприемником, расположенным вблизи правого крыла плотины. Подвод воды к зданию ГЭС осуществляется горизонтальным водоводом, наклонной шахтой и двумя напорными деривационными тоннелями с коротким закрытым водоводом между ними. Напорно-станционный узел расположен на другой стороне горного хребта в Дзеврской котловине. В конце напорной деривации построена однокамерная уравнивательная шахта. К низу стояка уравнивательной шахты примыкает подземный напорный трубопровод, состоящий по длине из 3-х участков. Первый участок трубопровода наклонный, второй участок горизонтальный, оба они в виде металлических труб свободно проложенных в тоннеле. Третий участок напорного трубопровода – наклонный, заделан в бетон и заканчивается непосредственно примыкающим к зданию ГЭС горизонтальным коллекторным участком, от которого отходят четыре трубы, подводящие воду к четырем агрегатам. Здание ГЭС – открытое, оборудовано 4-мя агрегатами. Падение на Ткибули ГЭС составляет 310 м. Отвод воды из деривационного тракта как во время строительства, так и при прохождении паводковых вод в период эксплуатации осуществляется холостым водосбросом, состоящим из деривационных тоннелей и короткого сбросного тоннеля, примыкающего к открытому быстротоку. Быстроток сбрасывает воду в р. Дзеврула ниже впадения в нее р. Кверуна, за зданием ГЭС. Основные параметры ТкибулиГЭС: расчетный расход – $34 \text{ м}^3/\text{сек}$, напор нетто 293,1 м, установленная мощность 80 тыс. кВт и среднемноголетняя выработка 140 млн. кВтч.

Ахалсопельская котловина по геологическим условиям подразделяется на три района – северный, днище и южный. Северный гидрогеологический район охватывает северные, северо-восточные и северо-западные склоны котловины, сложенные отложениями юры и мела, включая свиту Мтаври.

Уход воды из водохранилища в пределах северного района почти полностью исключен из-за чрезвычайно слабой проницаемости пород, а также и из-за отсутствия дренирующего ущелья. В северной части днища Ахалсопельской котловины залегает мощный слой аллювиальной толщи, ниже которой коренные породы представлены юрой и мелом. Мощные аллювиальные отложения представлены суглинками и глинами, которые, ввиду их слабой водопроницаемости, исключают возможность ухода воды сквозь эту часть водохранилища

(средний коэффициент фильтрации $4 \cdot 10^{-4}$ м/сек).

Южный склон Ахалсопельской котловины сложен верхнемеловыми отложениями. Этот район характеризуется наличием карста и ряда надвиговых зон. Интенсивность карстов увеличивается в сторону провала р. Ткибули. Если непосредственно у свиты Мтаври закарстованность выражается в небольшом расширении существующих тектонических трещин, то далее появляется ряд карстовых воронок, размеры которых растут по мере приближения к "провалу" р. Ткибули.



**Фото I.3.3.7. Общий вид
Ткибульского (Дзеврульского)
водохранилища**

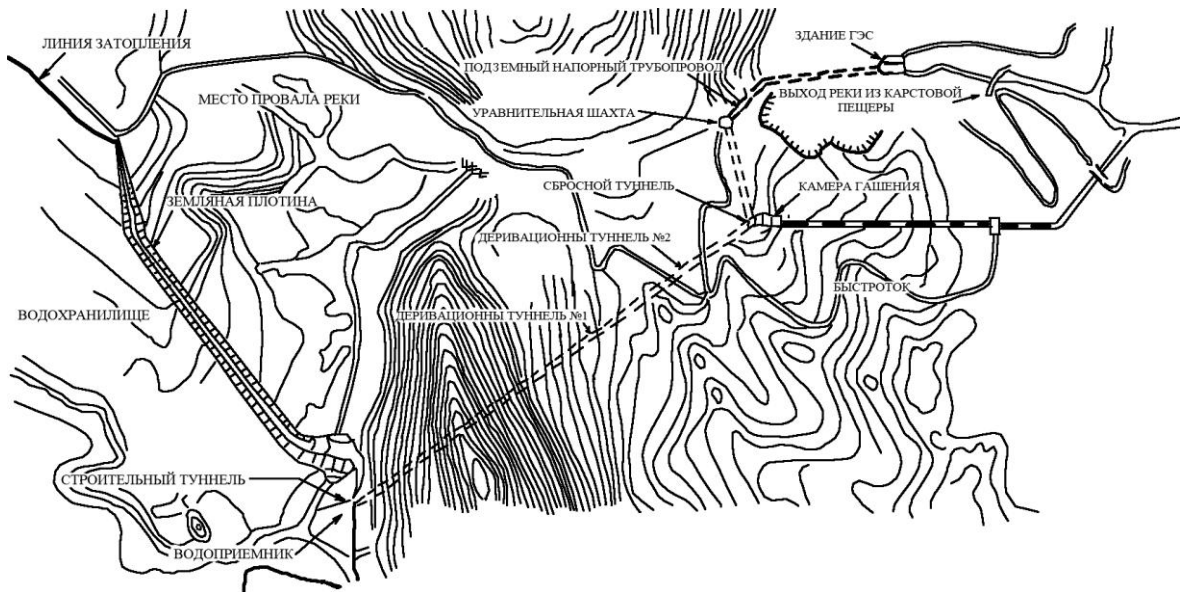


Рис. I.3.3.10. Схема установки ТкибулиГЭС

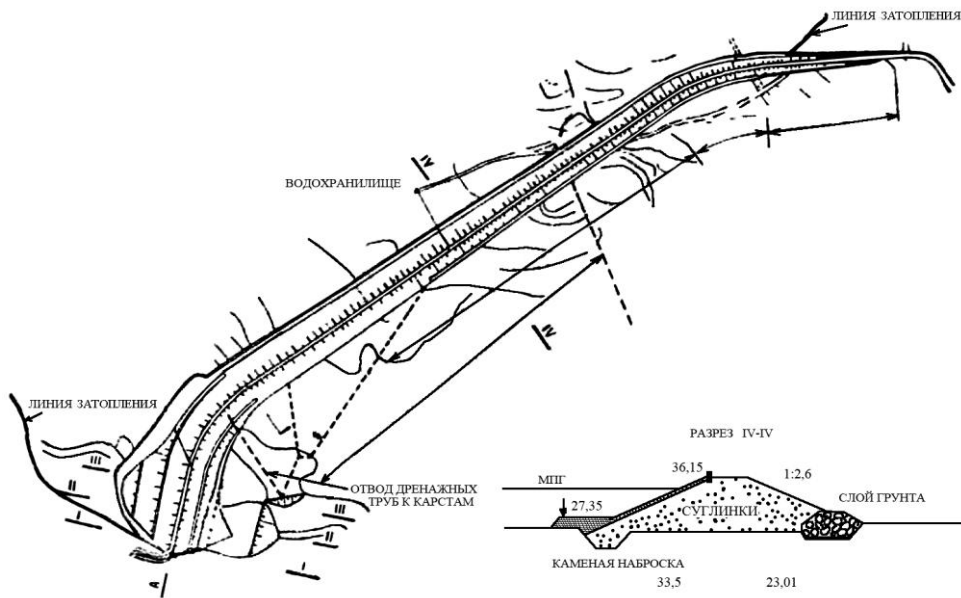


Рис. I.3.3.11. План плотины ТкибулиГЭС и поперечный разрез пойменного участка

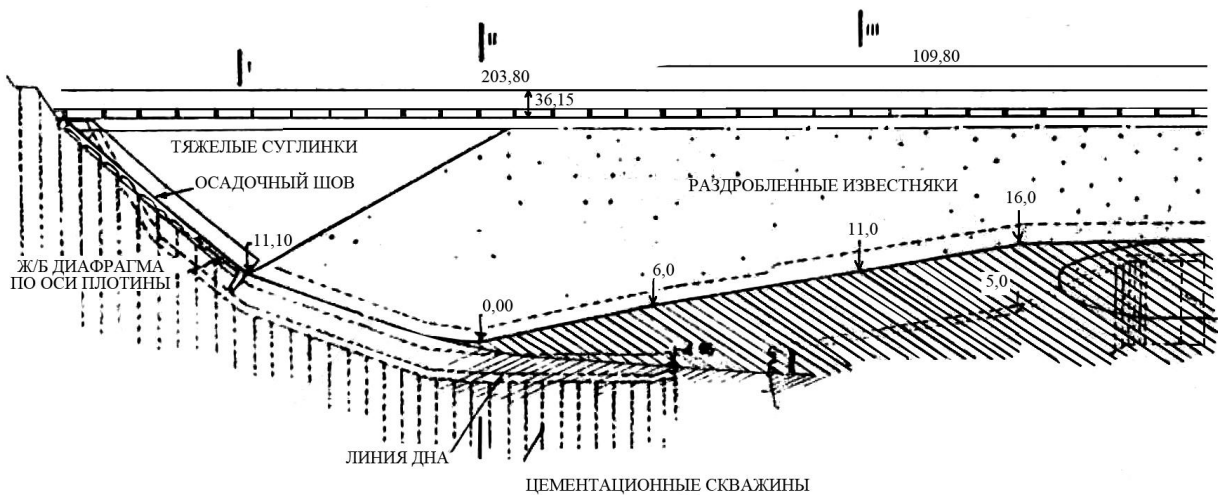


Рис. I.3.3.12. Продольный профиль русловой части плотины ТкибулиГЭС

Расположение плотины выбрано такое, при котором все сомнительные участки остались бы в нижнем бьефе. Площадь отчуждения под водохранилище, включая и острова равна 1375 га. Плотина имеет длину 1605 м, состоит из двух частей. В пойменной левобережной части высотой от 1 до 11,5 м тело плотины целиком сложено из суглинков с защитным слоем в виде наброски из рваного камня (рис. I.3.3.12). В более высокой пойменной части, примыкающей к русловой, а также в русловой части, где максимальная высота плотины составляет 37,0 м, тело плотины сложено из раздробленного известняка (рухляка), прикрытого суглинистым экраном, с пригрузкой из раздробленного известняка и рваного камня. Примыкание плотины к правому берегу, сложенному песчаниками свиты Мтаври, осуществлено полностью (по всему профилю) из суглинков с железобетонной диафрагмой по оси основания и под передним суглинистым зубом плотины. Под железобетонной диафрагмой устроена цементационная завеса. В пределах русловой части, где скальное основание меняется на пылеватые грунты с отдельными песчаными линзами, конструкция плотины также меняется. Глиняный понур длиной 65 м, выдвинут в сторону верхнего бьефа, с забивкой металлического шпунта под передним зубом глубиной 14 м.

Водоприемник обеспечивает забор в деривацию расчетного расхода 34 м³/сек. Принятая отметка гребня плотины с учетом сплошного железобетонного парапета на ее гребне обеспечивает аккумуляцию стока реки при прохождении паводка обеспеченностью 0,1%. Водоприемник имеет два входных отверстия разделенных бычком, за которым сечение водоприемника сужается и переходит в круговое сечение диаметром 2,40 м с дисковым затвором на нем.

Плотина по конструкции и условиям производства работ разделялась на две части: русловую часть с максимальной высотой плотины, достигающей до 37 м и пойменную часть с высотой до 15 м, расположенную на левобережной надпойменной террасе. На дне чаши водохранилища под мощными озерно-речными отложениями четвертичного возраста, залегают коренные породы юры и мела. Озерно-аллювиальные отложения представлены, преимущественно, суглинками и глинами, мощностью более 100 м, возрастающей в сторону плотины до 350 м. На западном склоне водохранилища, сложенном туфогенными песчаниками свиты Мтаври, хорошо выражена аллювиальная зона мощностью до 1,5 м.

На склонах имеются наносные отложения суглинков с большим количеством обломочного материала, преимущественно, известняков, мощностью от 1,0 до 1,5 м редко достигают 4,0 м. Берега средней высоты от 5 до 20 м, крутизной 25-30°, местами 45-50°. По параметрическим данным водохранилище характерно для горных зон. Оно имеет сильно изрезанную береговую линию и глубоко вдается в устья рек Ткибула и Гэла, образуя узкие, вытянутые заливы. Длина водохранилища – 6 км при средней ширине 1,9 км (максимальная 3,7 км), средняя глубина 16 м (максимальная 32 м).

Водоохранилище сезонного регулирования. Максимальная проектная сработка уровней 6-7 м, она изменяется в зависимости от приточности, но в общем виде графики хода уровней конформны. Объем и площадь зеркала в процессе эксплуатации мало изменяются. Ветры, в основном, восточных румбов. В течение суток изменяется скорость ветра при почти постоянном направлении. Максимальная скорость 34 м/сек. Обеспеченность скорости 11-15 м/сек – 21%; штиль составляет 50%. Расположение водохранилища в доступном ветрам нагорье делает возможным развитие волн высотой 0,8-1,0 м, однако наличие островов в средней части водохранилища и резкая извилистость береговой полосы ограничивают их распространение и способствуют гашению.

Ладжанурское водохранилище создано арочной бетонной плотиной на р. Ладжанури. Водоохранилище общей емкостью 25 млн. м³ для суточного и недельного регулирования образовано объединенным стоком р. Ладжанури и перебрасываемой в нее р. Цхенис-Цкали безнапорным тоннелем длиной 5,5 км (рис. I.3.3.13, фото I.3.3.8).

От узла арочной плотины вода расходом 100 м³/сек через водоприемник поступает в напорный тоннель диаметром 5,5 м и длиной 2,5 км, по которому подается к подземному станционному узлу Ладжанурской ГЭС и отводящим тоннелем сбрасывается в реку Риони. Используемый на ГЭС напор равен 134 м, а установленная мощность – 111 тыс. кВт, средняя выработка электроэнергии 438 млн. кВтч.

В состав узла сооружений арочной плотины входят: водосливная арочная плотина общей строительной высотой 69 м; водоприемник с двумя отверстиями, расположенный на правом берегу, рассчитанный на расход 100 м³/сек и имеющий донные промывные галереи, переходящие в промывной тоннель диаметром 3,8 м.



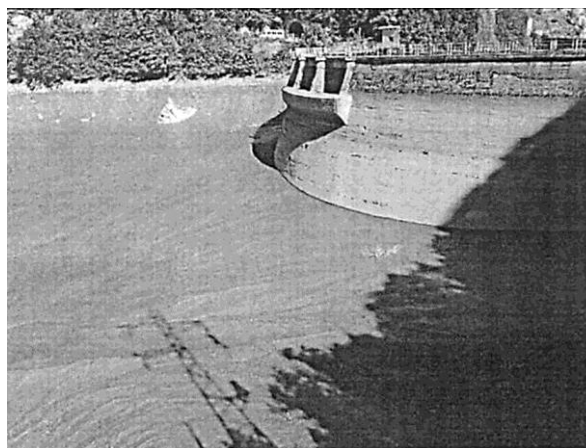
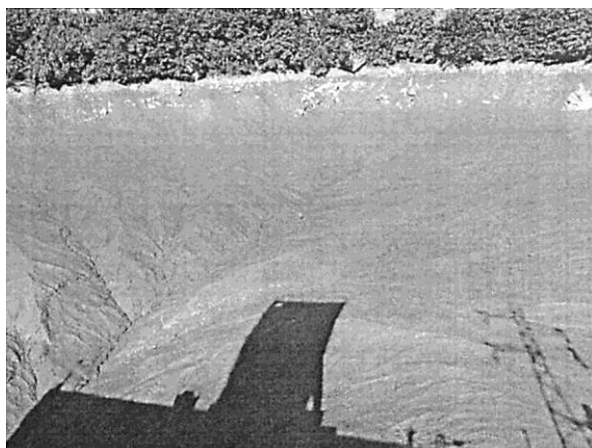
Рис. I.3.3.13. Ладжанурская водохранилищная система

В теле арочной плотины предусмотрены донные водоспуски. На гребне арочной плотины размещены три открытых водосливных отверстия пролетом по 7 м с очертанием в форме трамплина с отбросом потока на 20-23 м от основания плотины. Основанием арочной плотины служат известняковые осадочные породы, по возрасту относимые к ургонскому и сенонскому ярусам верхнего мела.

Поперечный профиль ущелья в самой узкой его части отличается явно выраженной асимметричностью – равномерной крутизной правого берега по всей высоте сооружения, а левый берег, в пределах верхней его трети, значительно омолаживается.

Плотина запроектирована в виде арки, перекрывающей ущелье и бетонной пробки в ее основании в пределах узкого русла реки. Арочная плотина выполнена в виде монолитной заделанной по периметру конструкции. Плотина, в основном, бетонная с конструктивным армированием 3-х верхних арок, образующих антисейсмический пояс. Из общей высоты плотины в 69 м, на тонкую арочную часть приходится 49 м. Толщина арки у гребня 2,50 м, а внизу у "пробки" 7,6 м. Нижняя утолщенная часть этой пробки имеет высоту 20 м, которая выполнена круговой формы в плане и представляет собой сводчатый клин толщиной 13 м у основания и 10,3 м у сопряжения с тонкой арочной частью. Контакт между аркой и пробкой заармирован. Длина плотины по гребню 127 м. Соотношение хорды к высоте – 2,04. Коэффициент стройности – 0,15. Арочная плотина по высоте разделена на 8 арок. Радиусы арок

переменные от 59,5 м у гребня до 36,6 внизу. Центральные углы арок меняются соответственно от 125° до 78°.



**Фото I.3.3.8. Общий вид Ладжанурского водохранилища
(лето 2012 года – водохранилище пустое, проводится гидравлический промыв)**

Для борьбы с фильтрацией в основании и бортах плотины предусмотрено устройство двухрядной цементационной завесы глубиной до 30–40 м. Цементационные скважины диаметром 100 мм расположены в шахматном порядке с расстоянием между рядами 2 м.

В 1959-1961 гг. была произведена монолитизация арочной плотины ЛаджануриГЭС – цементация температурно-усадочных швов, которая явилась первым практическим опытом цементации температурно-усадочных швов. Для осуществления цементации швов в бетон закладывалась система труб со специальными выпусками, обеспечивающими выход цементного раствора в швы. Летом 2012 года водохранилище было опорожнено, проводился гидравлический промыв. Накопленные и зацементированные на бортах водохранилища наносы намечается спустить и промыть с помощью микровзрывов.

Гуматское водохранилище энергетического использования расположено в русле р. Риони (рис. I.3.3.14; I.3.3.15, фото I.3.3.9).

Первая ступень – ГуматиГЭС-I представляет собой приплотинную установку; в состав ее основных сооружений входят: гравитационная бетонная плотина с подпором 30 м, здание русловой ГЭС, пристроенное к плотине, переходной участок к каналу ГЭС-II и открытая повышающая подстанция, расположенная на левом берегу реки. Здание оборудовано четырьмя агрегатами, суммарной мощностью 44 тыс. кВт при расчетном расходе $214 \text{ м}^3/\text{сек}$ и расчетном напоре 24,5 м. Вторая ступень – ГуматиГЭС-II является деривационной установкой, забирающей воду непосредственно с переходного участка от ГуматиГЭС-I в канал ГЭС-II. В состав основных сооружений ГуматиГЭС-II входят: головной шлюз канала, служащий для забора воды в канал и отключения его при остановках ГЭС-II, со сбросом воды с переходного участка ГЭС-I в русло р. Риони; открытый деривационный канал длиной 1,82 км, расположенный вдоль левого берега реки; здание ГЭС с напорной камерой и отводящий канал длиной 0,9 км. Суммарная мощностью 22 тыс. кВт при расчетном расходе $214 \text{ м}^3/\text{сек}$ и напоре 12,9 м, среднегодовая выработка электроэнергии – 127 млн. кВтч.

Гуматское водохранилище имеет площадь зеркала воды - $2,4 \text{ км}^2$, объем водохранилища 39 млн. м^3 , суточного регулирования. Подпор распространяется на расстояние – 8 км. В климатическом отношении район сооружений плотины относится к умеренно-теплой и влажной зоне.

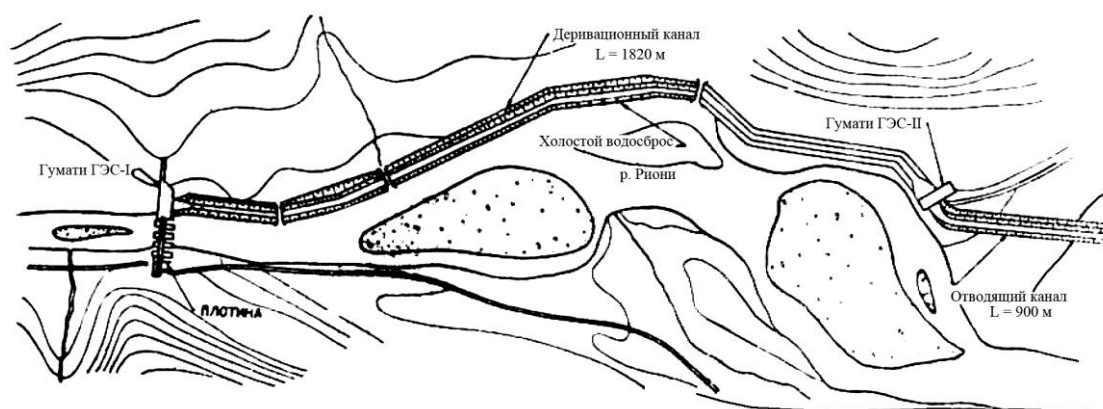


Рис. I.3.3.14. Схема установки Гуматских ГЭС

Район расположения сооружений Гуматских ГЭС в сейсмическом отношении относится к 7-бальному. Створ плотины ГуматиГЭС-I сложен из диабазов, в пределах поймы прикрытых галечным аллювием, мощностью до 16 м. Бетонная плотина гравитационного типа с максимальной высотой 52 м состоит из средней водосливной и двух береговых глухих частей. Между левобережной глухой и водосливной частями плотины на одной линии с ними расположен блок здания ГЭС (рис. I.3.3.16). Общая длина глухих частей бетонной

плотины 147,5 м, из которых левобережной 65,9 м и правобережной 74,6 м. На продолжении левобережной части плотины береговой откос прикрыт железобетонными плитами.

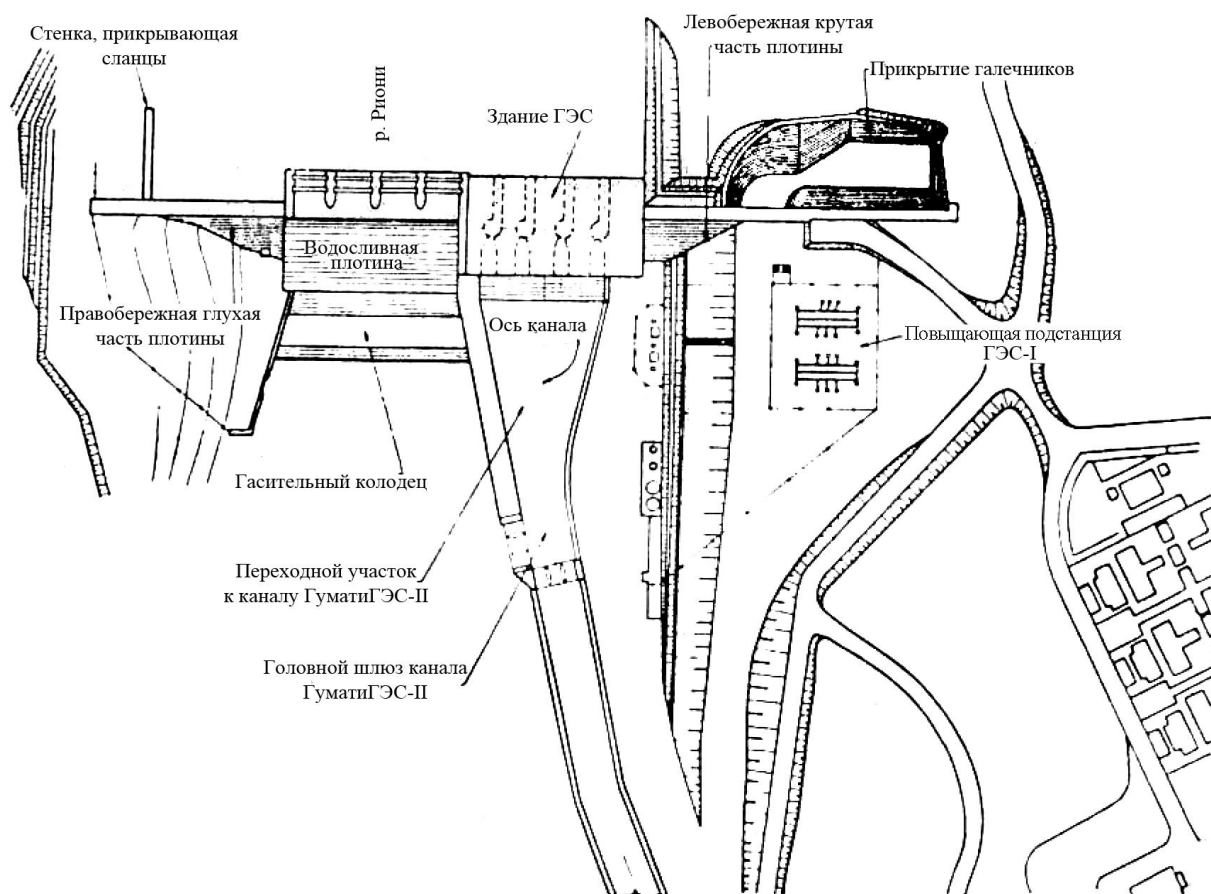


Рис. I.3.3.15. План головного узла Гумати ГЭС-I

Глухие части плотины со стороны напорной грани дренируются с помощью пористых бетонных труб, собирающих просочившуюся через бетон воду в дренажные галереи. Глухие части плотины разрезаны на отдельные блоки температурными швами с соответствующим уплотнением. Водосливная часть бетонной плотины расположена в средней части русла реки; длина ее 71 м и ширина по подошве 40,5 м. Напорная грань плотины вертикальная, с выступающим в верхний бьеф консольным оголовком; сливная грань очерчена по безвакуумному профилю. На гребне плотины расположены пять армобетонных бычков толщиной по 3 м, образующих 4 водосливных пролета по 14 м в свету, перекрытых сдвоенными затворами.

В правом блоке Гумати ГЭС-I, примыкающем к водосливной плотине, имеется перепускная галерея для подачи воды в канал ниже лежащей Гумати ГЭС-II расходом $105 \text{ м}^3/\text{сек}$. В передней стенке ГЭС имеются также четыре промывные галереи, облицованные камнем размером $2 \times 2 \text{ м}$, которые проходят через фундаментную часть здания ГЭС и выходят в водобойный колодец плотины. Водосливная часть плотины также снабжена двумя дренажными галереями, из которых одна расположена в верхней части плотины, а вторая в фундаментной части. Водосливный фронт плотины рассчитан на сброс 0,1%, обеспеченностью паводка $2700 \text{ м}^3/\text{сек}$ с проверкой на паводок в 0,01%, равный $3300 \text{ м}^3/\text{сек}$.

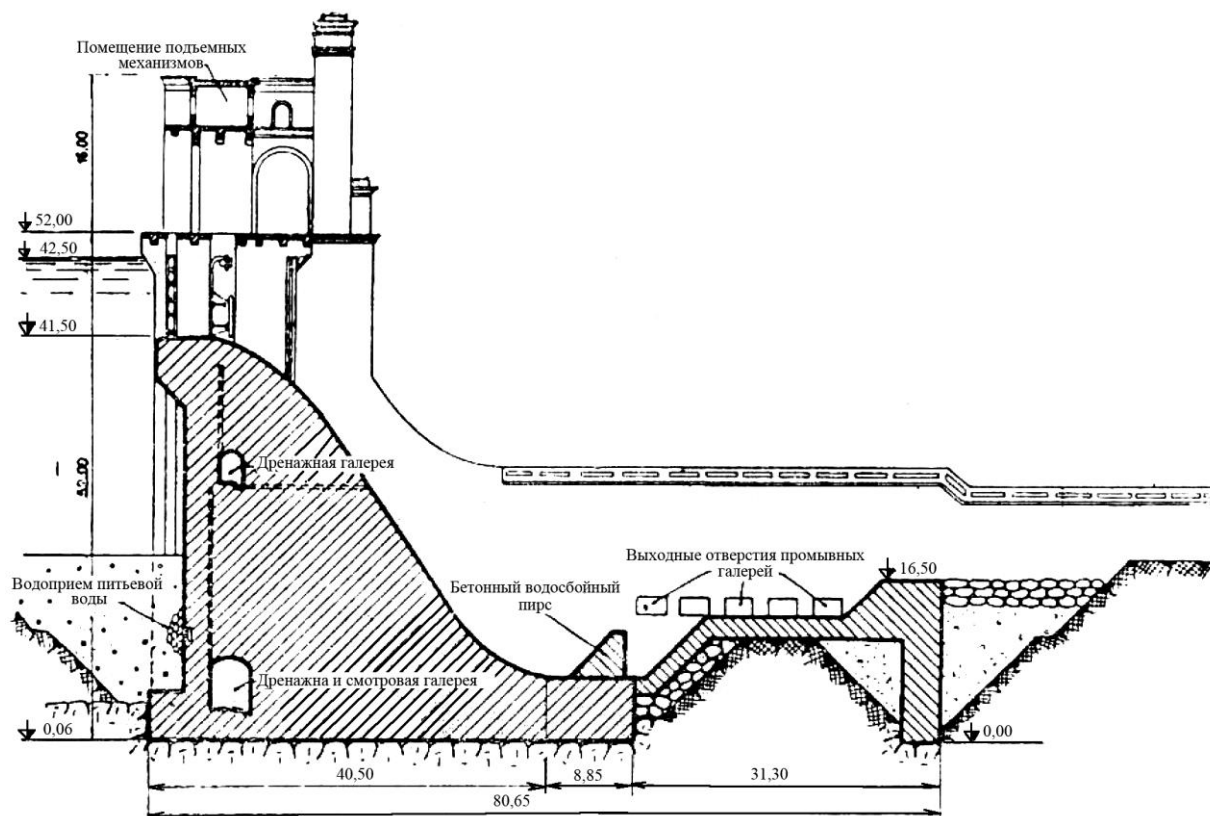


Рис. I.3.3.16 Поперечный разрез плотины ГуматиГЭС-1

В нижнем бьефе плотины расположен колодец для гашения энергии воды, сбрасываемой с верхнего бьефа при паводках. Водохранилище почти заилено.



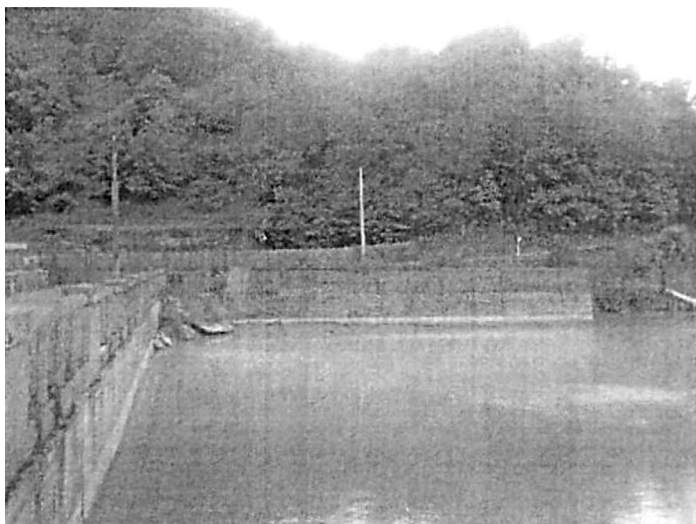


Фото I.3.3.9. Гуматское водохранилище

Варцихская водохранилищная система состоит из земляной плотины, водохранилища и каскада 4-х энергетических узлов; проектный объем водохранилища 14,6 млн.м³, в настоящее время оно почти заилено (фото I.3.3.10).

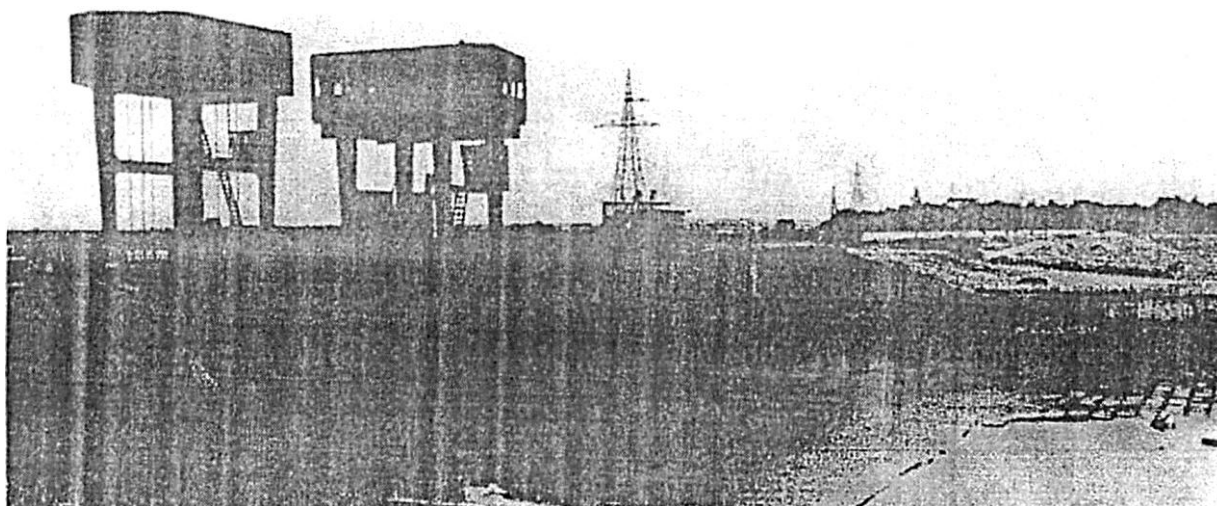


Фото I.3.3.10. Варцихская водохранилищная система.

Храмская (Цалкская) водохранилищная система с ГЭС-I и ГЭС-II сооружена на р. Храми (рис. I.3.3.17; I.3.3.18). ХрамГЭС-I представляет собой деривационную установку с использованием Храмского водохранилища и значительного падения р. Храми. В 50 километрах от истока р. Храми протекает с малым падением по Цалкинской котловине. После впадения левого притока Агричай р. Храми переходит в глубокое ущелье, далее река течет со значительным падением - 40 м на 1 км, до выхода в долину р. Куры.

Среднегодовая температура в районе плотины около +5,3°С. Среднее многолетнее значение годового слоя осадков – 739 мм. В геологическом отношении район сооружений ХрамГЭС-I является сложным и характеризуется чередованием базальтовых, андезитобазальтовых и других вулканических лав, местами сильно трещиноватых, а также рыхлых вулканических выбросов и глинистых грунтов, иногда водоносных.

Цалкинская котловина, используемая для создания водохранилища, представляет

собой обширное понижение и в геологическом отношении делится на три основные части: восточную, центральную и западную. Восточная часть котловины представляет собой брахисинклинальную складку. Сверху в этой части залегают озерно-речные отложения, представленные глинами и суглинками; ниже лежит доломитовый покров, который на бортах в пределах затопления во многих местах обнажен. Под долеритами залегают глинистые породы, выступающие на бортах котловины выше подпорного уровня. В центральной части водохранилища верхние слои, в основном, сложены из андезитобазальтовых лав, местами песчано-гравелистыми грунтами и контактными зонами. Дно западной части водохранилища представлено мощными озерно-речными отложениями. Из пород, слагающих Цалкинскую котловину, андезито-базальты, контакты и песчано-гравелистые грунты являются водопроницаемыми, вследствие чего из водохранилища имеет место фильтрация.

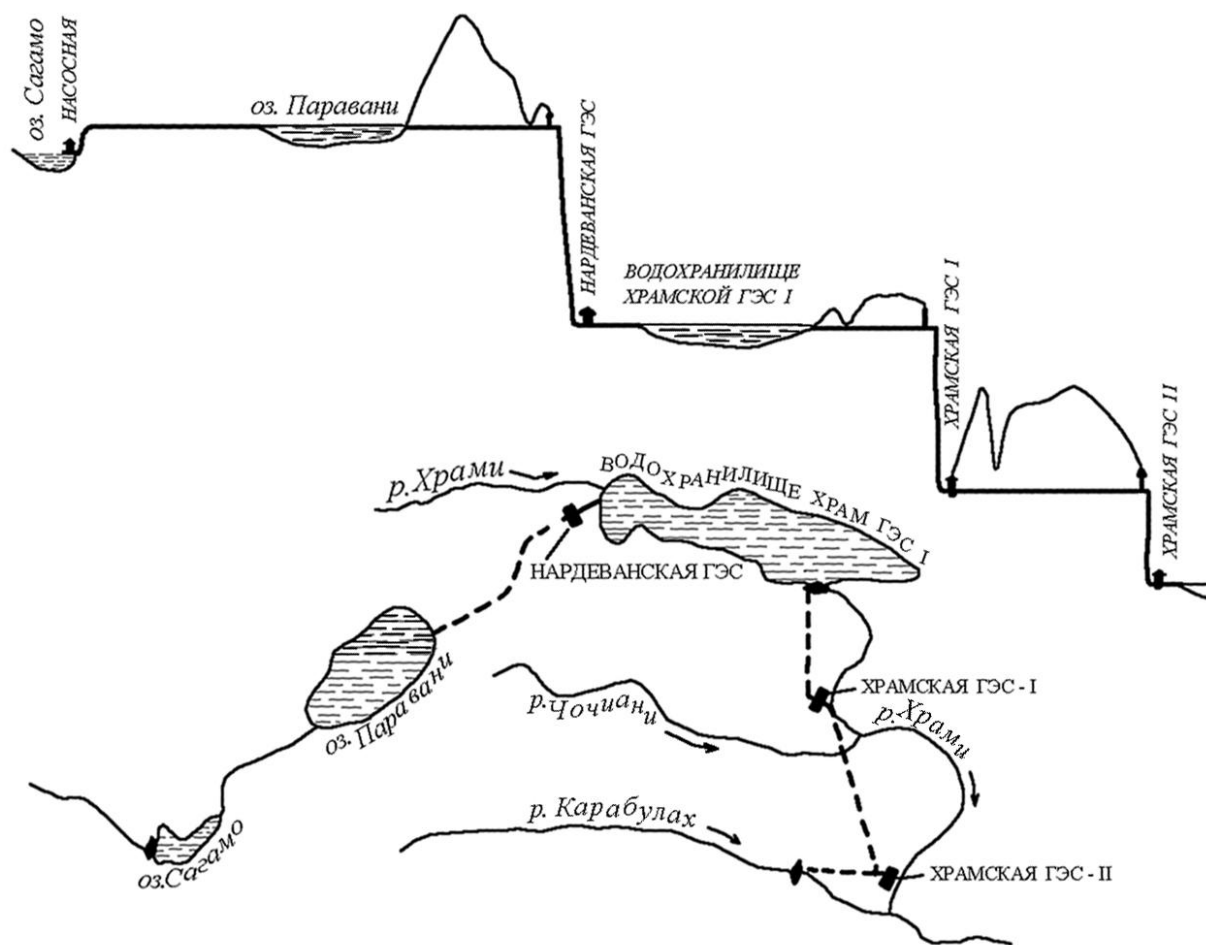


Рис. I.3.3.17. Схема использования р. Храмы

В комплекс сооружений ХрамГЭС-I входят: плотина, холостой водосброс, донный выпуск, водоприемник, напорный деривационный тоннель, железобетонный водовод, уравнильная шахта, турбинный водовод и здание ГЭС-I. В состав сооружений головного узла входят: плотина, водоприемник, холостой водосброс и донный выпуск. Установленная мощность ХрамГЭС-I – 112,8 мВт, средне годовая выработка электроэнергии 184 млн. кВтч. Плотина каменно-набросная с металлическим экраном, (закрепленным на специально устроенных ж/б конструкциях) строительной высотой 33,2 м, шириной по гребню 5,14 м, длиной – 113,0 м. Верховой откос плотины принят 1:1,35 и низовой – 1:1,4.

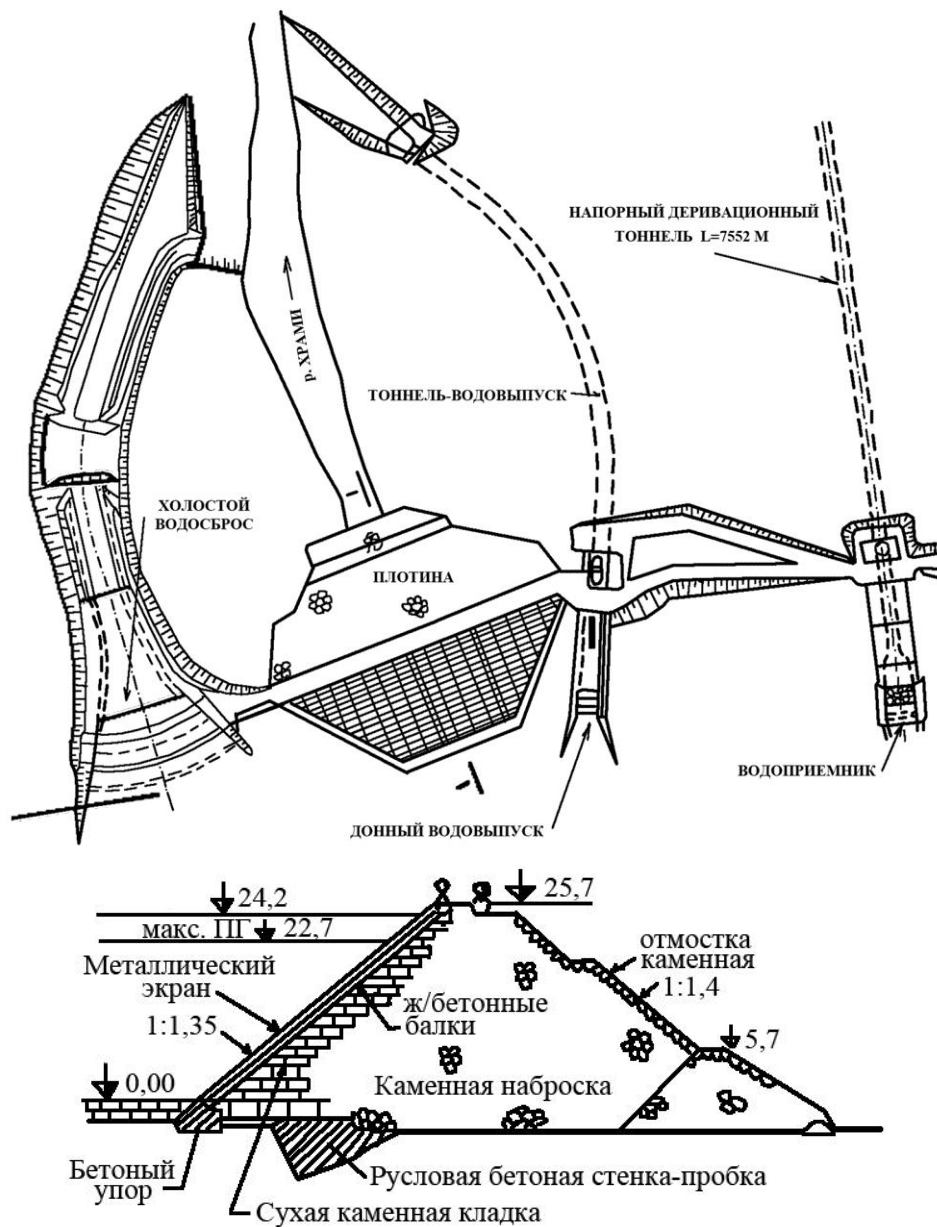


Рис. I.3.3.18. План головного узла и поперечный разрез плотины ХрамГЭС-I



Фото I.3.3.11. Правый берег Храмского водохранилища



Фото I.3.3.12. Водоприемник Храмского водохранилища



Фото I.3.3.13. Плотина с металлическим экраном Храмского водохранилища

Под зуб плотины ХрамГЭС-I была проведена цементация для предотвращения фильтрации, то же самое сделано в скальном массиве основания плотины. Водоприемник – глубинного типа, входная часть двухточечная, сечением $5,4 \times 4,5$ м каждая. На расстоянии 44 м от портала водоприемника расположена шахта дисковых затворов водоприемника диаметром 4,5 м. Холостой водосброс, состоящий из 6 отверстий шириной по 6,5 м, расположен на левом берегу и рассчитан на сброс паводков $500 \text{ м}^3/\text{сек}$. Отверстия водосброса перекрыты плоскими затворами. Сбрасываемые расходы отводятся каналом шириной по дну 11 м и длиной 240 м, имеющим в начале форму воронки длиной 60 м.

Донный выпуск представляет собою тоннель, длиной 238 м, коробкового сечения $5,68 \times 5,07$ м с бетонной облицовкой и пропускной способностью в $80,0 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Ущелье, где расположена плотина, сложено изверженными породами, в виде чередующихся потоков андезито-базальтов и контактов (представляющих собой древние покровные суглинки, обожженные лавами, или рыхлые вулканические выбросы), имеющих падение в сторону водохранилища в среднем – 30° . Водонепроницаемая часть плотины располагается над обнаженным глинистым пластом озерного происхождения, залегающим между андезитовыми и базальтовыми лавами.

В западной части Храмского водохранилища устроена покрытая растительностью земляная дамба длиной 2,0 км, высотой 2,0 м, шириной 3,0 м (фото I.3.3.14).

Электростанция ХрамГЭС- II-деривационного типа, использует воду ХрамГЭС-I и

дополнительно р. Кара-Булах и Чочиани. Установленная мощность ХрамГЭС-II – 110 мВт, среднегодовая выработка электроэнергии 184 млн. кВтч.

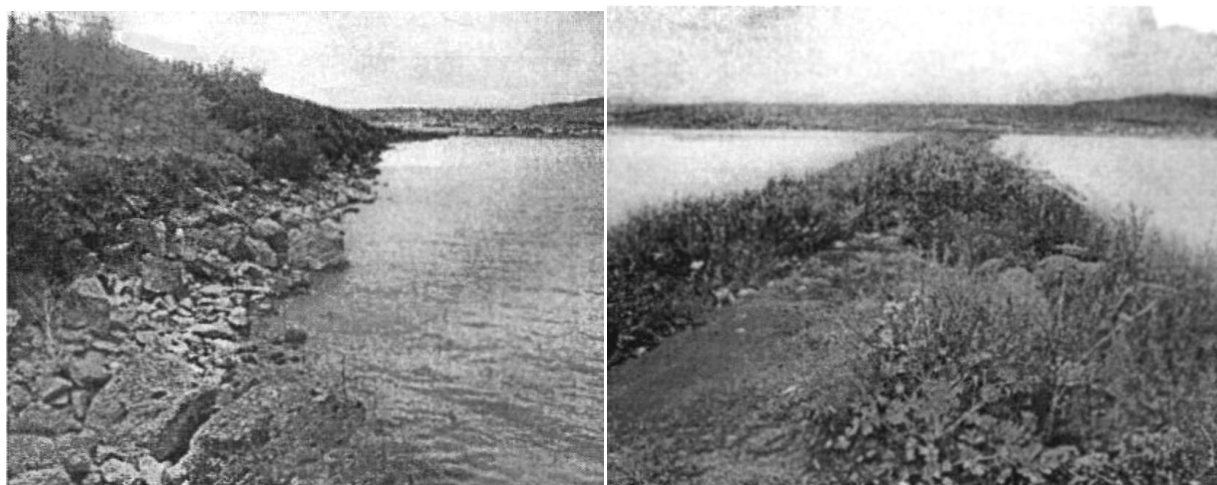


Фото I.3.3.14. Земляная дамба в западной части Храмского водохранилища

Весь комплекс гидротехнических сооружений, отличающийся редким сочетанием большого расхода воды с большим напором, позволяет причислить установку ХрамГЭС-I к уникальным.

Алгетская водохранилищная система расположена в Тетри-Цкарройском районе (фото I.3.3.15; I.3.3.16; I.3.3.17; рис. I.3.3.19). Река Алгети – правый приток р. Куры, берет начало на южных склонах Триалетского хребта на высоте 1900 м над уровнем моря. Длина реки до створа плотины 48 км, напор – 1182,0 м, средний уклон реки – 24,6%, площадь водосбора – 422,0 км².

Многолетнего регулирования Алгетское водохранилище – ирригационного (орошается 14,5 тыс. га) и энергетического назначения. ГЭС расположена на расстоянии 400,0 м от каменно-набросной плотины. Вода к ГЭС подается по ирригационному каналу, $Q = 2,65$ м³/сек, установленная мощность ГЭС 1250 кВт. Полный объем водохранилища – 65,0 млн. м³, отметка нормального подпертого уровня НПУ=792,5 м, площадь зеркала при НПУ – 2,3 км², максимальная глубина водохранилища – 72,0 м.

В состав гидротехнических сооружений Алгетской водохранилищной системы входят: каменно-набросная плотина с глиняным экраном, высота плотины 86 м, отметка гребня плотины 797,0 м, длина плотины 470 м, ширина гребня плотины 12,0 м (рис. I.3.3.20). Расход водоприемника глубинного типа 8,8 м³/сек, отметка дна водохранилища 741,5 м, длина ирригационного водовода 340,0 м, диаметр водовода 2,0 м, диаметр энергетического гасительного колодца 5,0 м, глубина колодца 9,0 м, длина оросительного тоннеля до водосброса 252,0 м, диаметр воронки катастрофического водосброса шахтного типа 20,0 м, 0,1%-й расчетный расход 455 м³/сек, длина отводного тоннеля диаметром 4,9 м 221,0 м, длина наклонного участка водосброса 94,0 м, длина цементационной галереи 410 м (3.5X 3,5 м).

На правом приплотинном берегу Алгетского водохранилища устроены рено-матрасы типа "Маккаферри" с камнем диаметром до 30 см, надобность в которых обусловлена оползневыми и размывающими этот участок процессами.

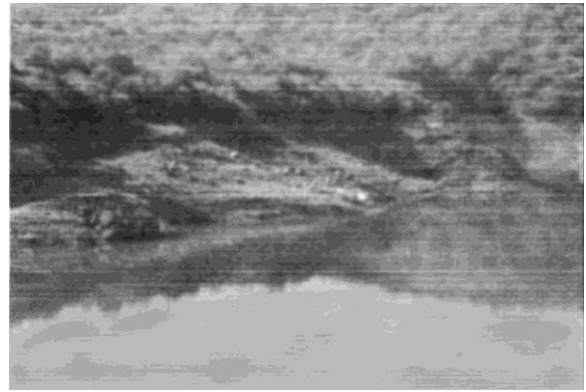
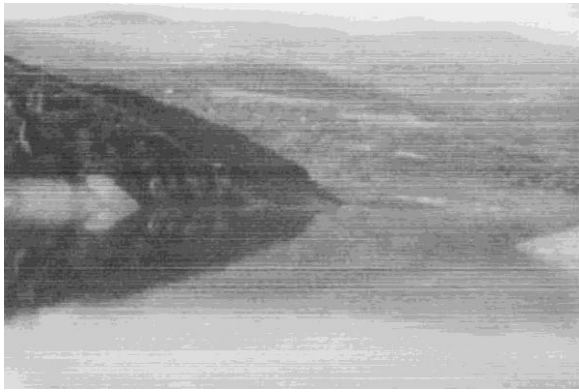


Фото I.3.3.15. Правый берег Алгетского водохранилища

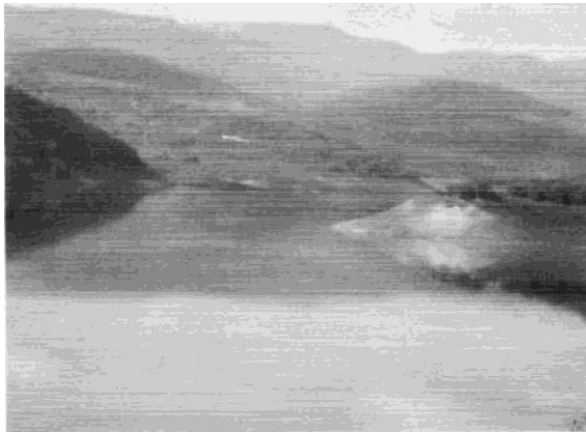
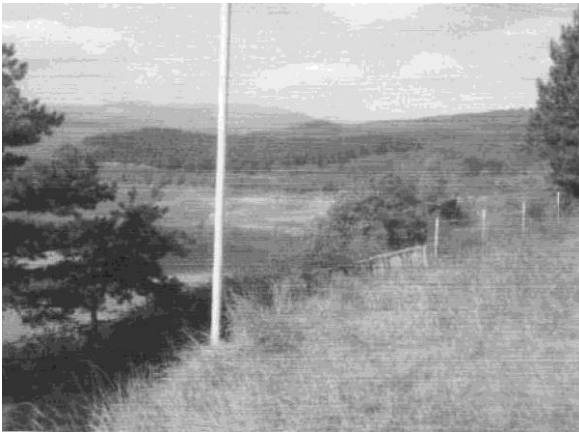


Фото I.3.3.16. Левый берег Алгетского водохранилища

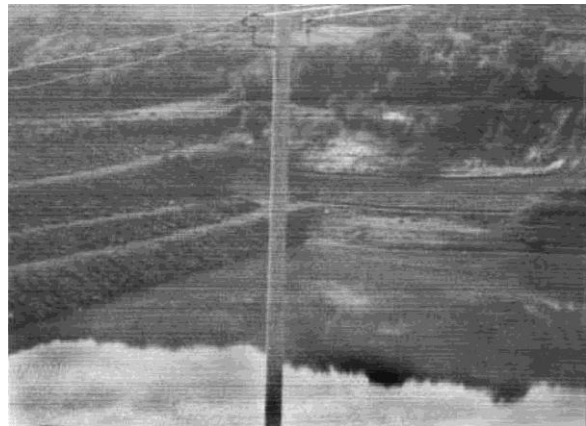


Фото I.3.3.17. Алгетская каменно-набросная плотина

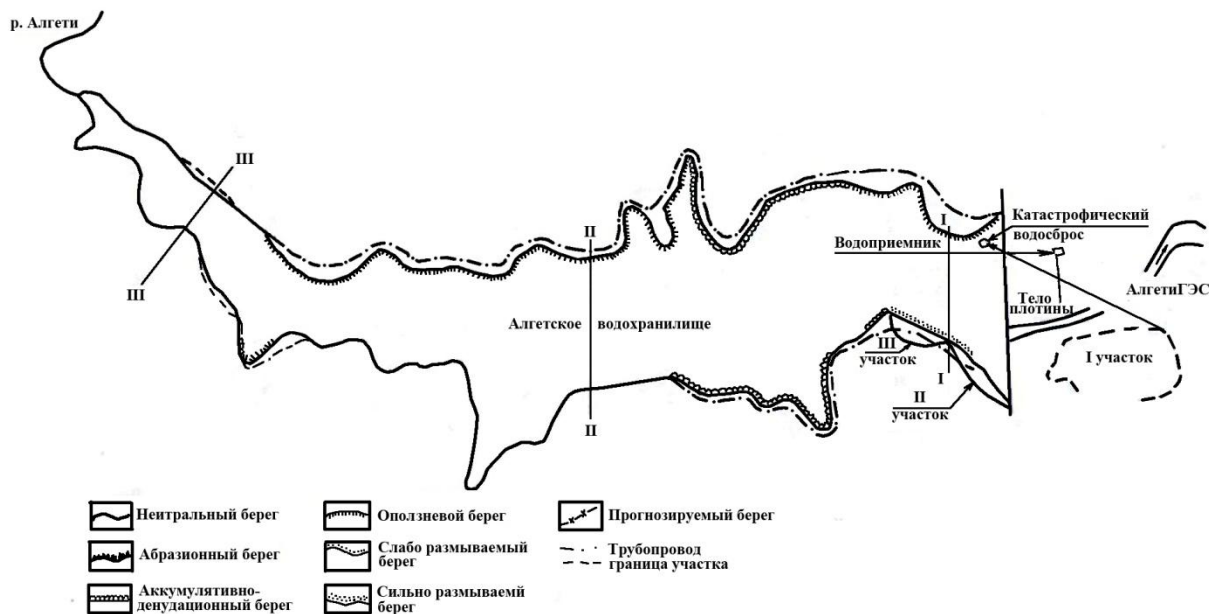


Рис. 1.3.3.19. Алгетское водохранилище

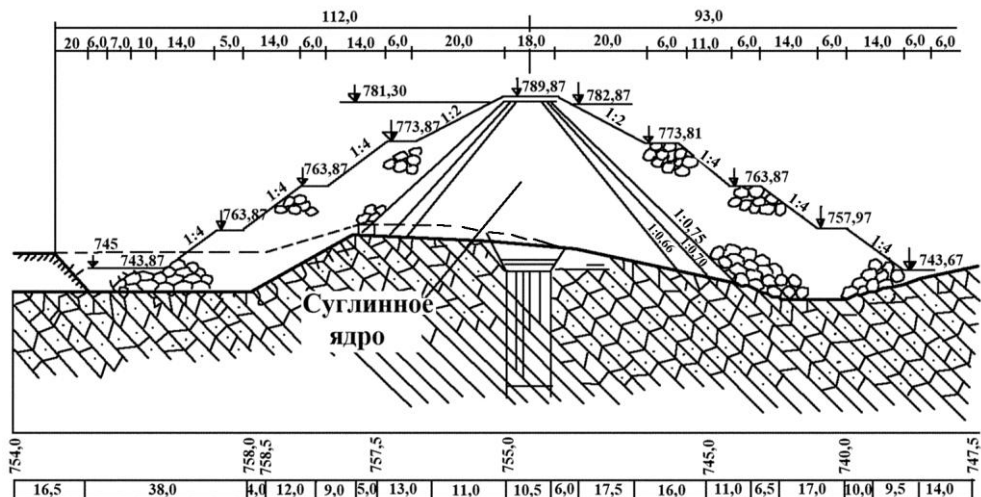


Рис. 1.3.3.20 Поперечный разрез Алгетской плотины

Сионская водохранилищная система – первая ступень Самгорской оросительной системы, которая решает вопросы орошения земель, энергоснабжения и водоснабжения г. Тбилиси (рис. 1.3.3.21).

Самгорская ирригационно-энергетическая система включает три водохранилища: Сионское, Жинвальское, Тбилиское.

Строительство земляной плотины Сионского водохранилища осуществлено на базе использования местного строительного материала. Она сооружена в ущелье р. Иори в Тианетском районе Грузии (рис. 1.3.3.22). Объем водохранилища рассчитан с учетом полного регулирования стока р. Иори. Гидростанции, сооруженные на перепадах канала, могут выработать 158 млн. кВтч в год, в основном в осенне-зимний период.

Гидроузел Сионского водохранилища состоит из земляной плотины строительной высотой 84,8 м, строительного отводящего тоннеля, ирригационного водоприемника, энергетического водоприемника и водосброса для пропуска паводковых вод. Плотина относится к I-му классу.

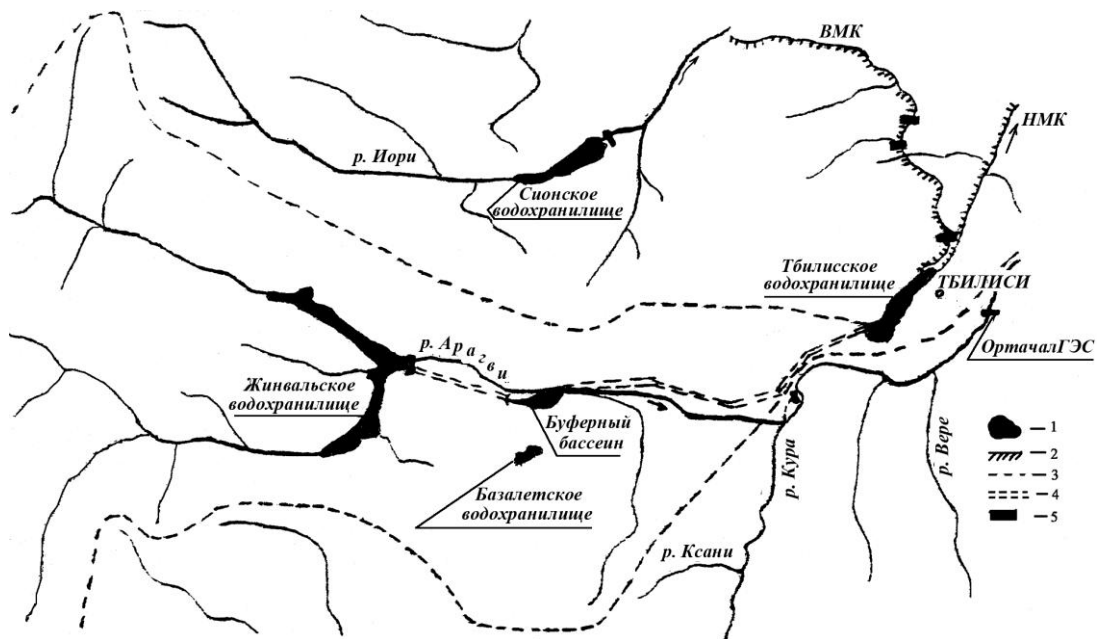


Рис. 1.3.3.21. Общая схема функционирования Сионского, Тбилисского и Жинвальского водохранилищ
 1 – водохранилища; 2 – каналы; 3 – водораздел речных бассейнов; 4 – водоводы; 5 – ГЭС

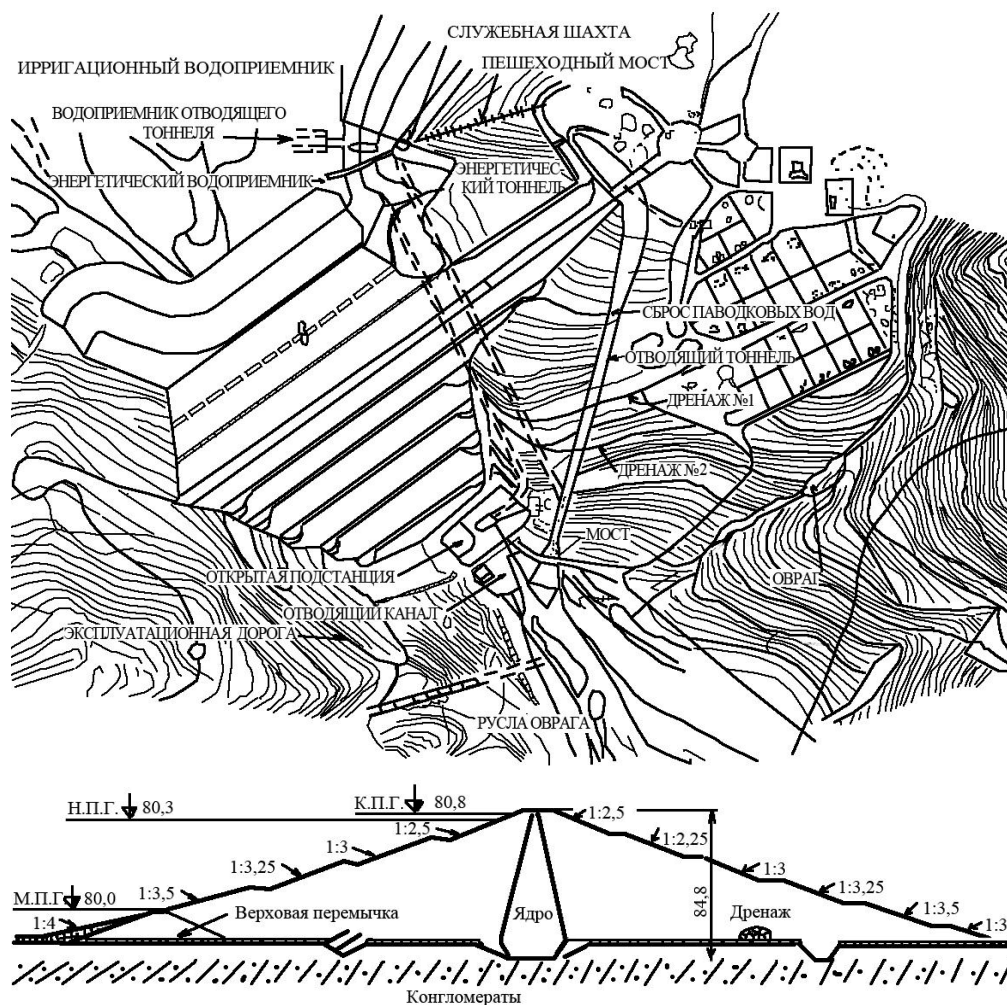


Рис. 1.3.3.22 План узла и поперечный разрез плотины Сионского водохранилища

Водоохранилище располагает полезной емкостью 325,0 млн. м³, при высоте сработки 50 м (фото I.3.3.18). Геологические условия места плотины представляются в следующем виде: правый берег сложен Сарматскими конгломератами, в которых встречается прослой песчаников и глин толщиной 1–5 м, прикрытых делювием, мощностью 15–40 м из глин, тяжелых суглинков и лежащих под ними валунно-галечных отложений. В пойменной части реки залегают те же Сарматские конгломераты, но прикрытые слоем 5–13 м современного речного аллювия, высокой водопроницаемости. На левом берегу конгломераты залегают почти на всю высоту склона и уходят под надвинутые на них более древние палеогеновые отложения.

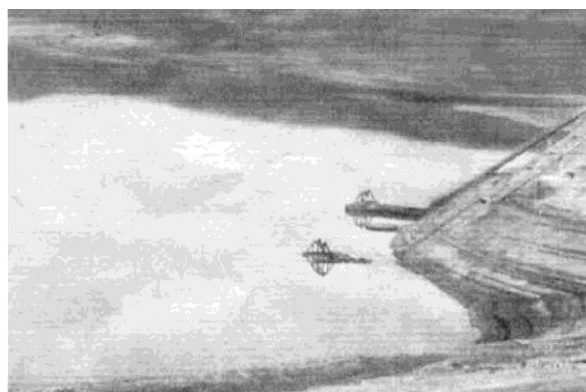
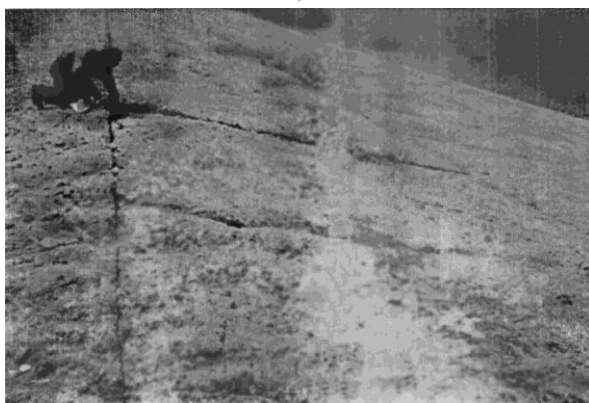


Фото I.3.3.18. Сионская водохранилищная система

Земляная насыпная плотина сооружена в створе, где ширина ущелья реки Иори сужается до 200 м. Плотина запроектирована с внешними призмами из галечно-валунных грунтов современного аллювия и ядром из суглинков. Ядро плотины врезается в коренные породы глубоким и мощным зубом. Под левым крылом Сиони ГЭС на длину 200 метров устроена цементационная завеса, имеющая глубину от 36 м на оси плотины до 18 м у левого берега. Сопряжение крыла завесы с телом плотины осуществляется выбором фильтрующего грунта до коренных пород. Цементационные скважины устроены в один ряд. Длина плотины по гребню составляет 780 м, откосы верховые от 1:2,75 до 1:4, а низовые от 1:2,5 до 1:3,5, на переломах откосов устраивают бермы шириной до 5 м. Полная ширина плотины по наибольшему профилю составляет 497 м. Крепление верхнего откоса осуществлялось бетонными плитами толщиной 40 см на гравийной подготовке, слоем 20 см. Пришедшие в негодность плиты, толщина которых истерлась до 10–12 см, в 2009–2010 гг. были отремонтированы – покрыты раствором бетона с заполнителем "Микросилика" (фото I.3.3.19).

а)



б)



Фото I.3.3.19. а) Монолитные плиты откоса Сионской плотины (до реабилитации, 2008 г.); б) то же после реабилитации (2010 г.)

По низовому откосу проведена дерновка. С низовой стороны плотины запроектирована дренажная призма из крупного рваного камня. Вдоль гребня плотины предусмотрен водоотбойный бетонный парапет высотой 1,35 м.

В период строительства плотины, с паводковым расходом до 295 м³/сек, река пропусклась по отводящему тоннелю, расположенному в левом склоне ущелья длиной 72 м, диаметром 6 м, который служит для ирригационных попусков до 24 м³/сек. В конце отводящего тоннеля имеется гасительный колодец с холостым открытым водосбросом. Открытый паводковый водосброс рассчитан на расход 596 м³/сек, водосливный оголовок которого примыкает к левому крылу плотины почти под прямым углом. Длина водосливного порога 72 м, с отметкой гребня на уровне НПГ. Водослив переходит в бетонный лоток переменной ширины от 40 до 15 м в конце, общей длиной 557 м. Водосброс имеет в конце гасительный колодец длиной 72 м.

На левом же берегу склона устроен ирригационный водоприемник, рассчитанный на расход 24 м³/сек, и аналогичный ему энергетический водоприемник. Вода из ирригационного водоприемника поступает в напорный тоннель диаметром 2,8 м, длиной 558 м, затем в металлический трубопровод, диаметром 2,4 м, длиной 33 м, в конце которого размещена Сионская приплотинная гидроэлектростанция с двумя вертикальными гидроагрегатами, мощностью по 4,5 тыс. кВт каждый.

В 2008-2010 гг. правый приплотинный берег Сионского водохранилища был укреплен рено-матрасами типа "Маккаферри", устройство которого продиктовано размывающим действием господствующих на берегу ветров и сточных вод (фото I.3.3.20).

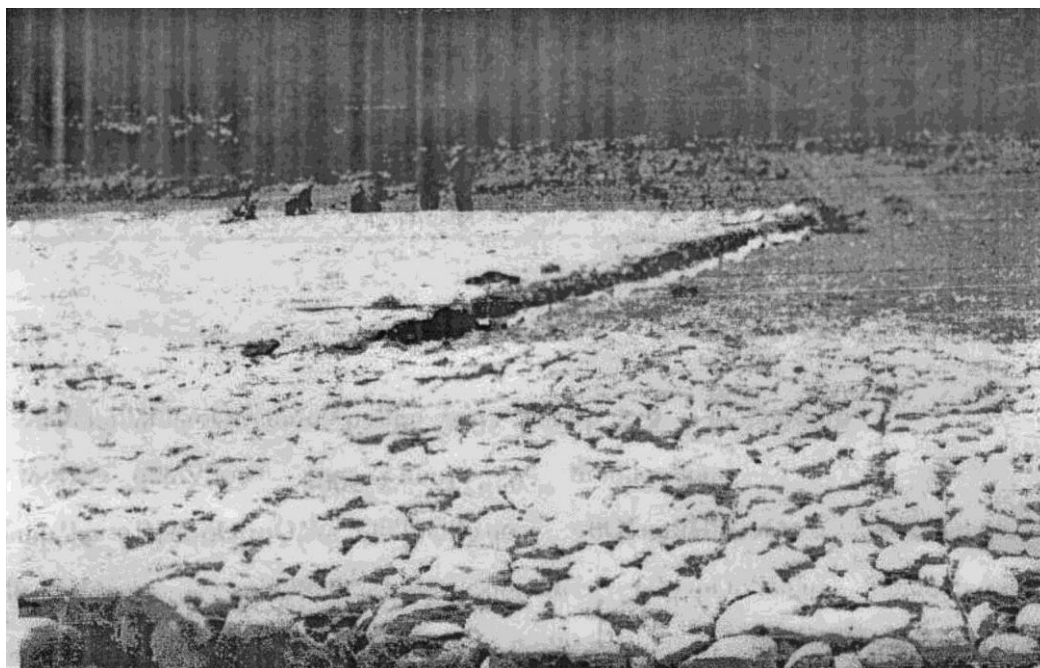


Фото I.3.3.20. Укрепление правого приплотинного участка берега Сионского водохранилища рено-матрасами типа "Маккаферри".

Жинвальская водохранилищная система – вторая ступень Самгорской оросительной системы расположена в районе слияния 3-х рек – Мтиулетис-Арагви, Пшавис-Арагви и Хорхе. Водохранилище сезонного регулирования, используется для нужд энергетики, водоснабжения и орошения. Вода на орошение и водоснабжение забирается из буферного

бассейна емкостью 1 млн. м³, расположенного на отводящем тракте ГЭС. Часть вод (9,8 м³/сек) сбрасывается в Тбилисское водохранилище и подается на орошение, а часть (5,2 м³/сек) перехватывается до поступления в водохранилище и используется на хозяйственно-питьевое водоснабжение г. Тбилиси (рис. 1.3.3.23; 1.3.3.24, фото 1.3.3.21÷ 1.3.3.26).

По характеру работы системы при эксплуатации Жинвальского гидроузла, наблюдается уменьшение энергетического эффекта Самгорского каскада малых ГЭС, расположенных на Верхне-магистральном канале.

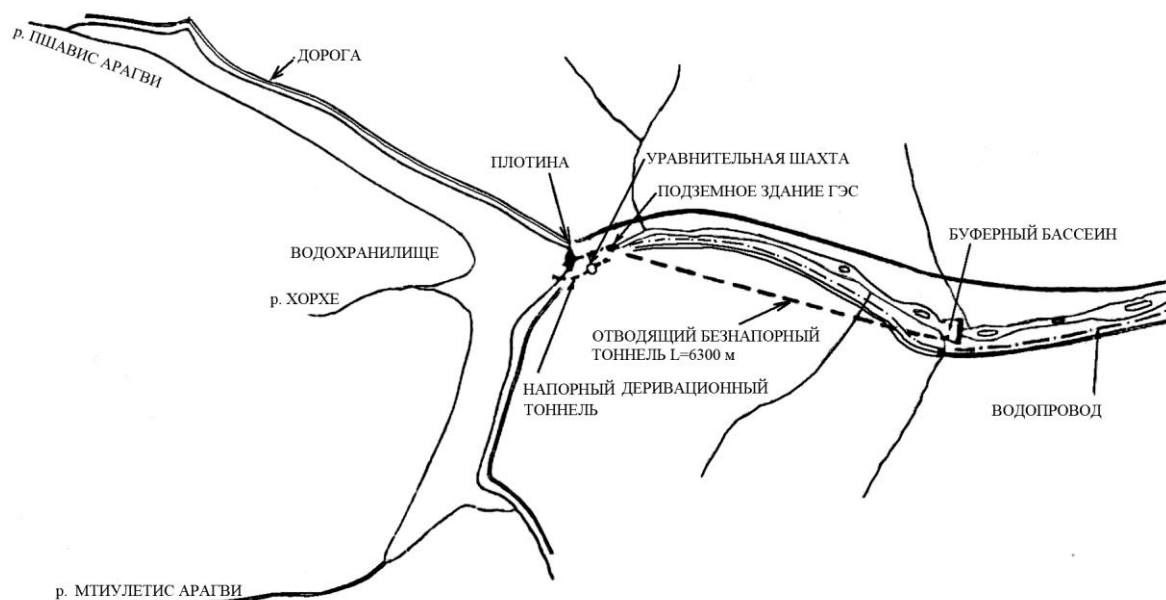


Рис. 1.3.3.23. Схема Жинвальской водохранилищной системы

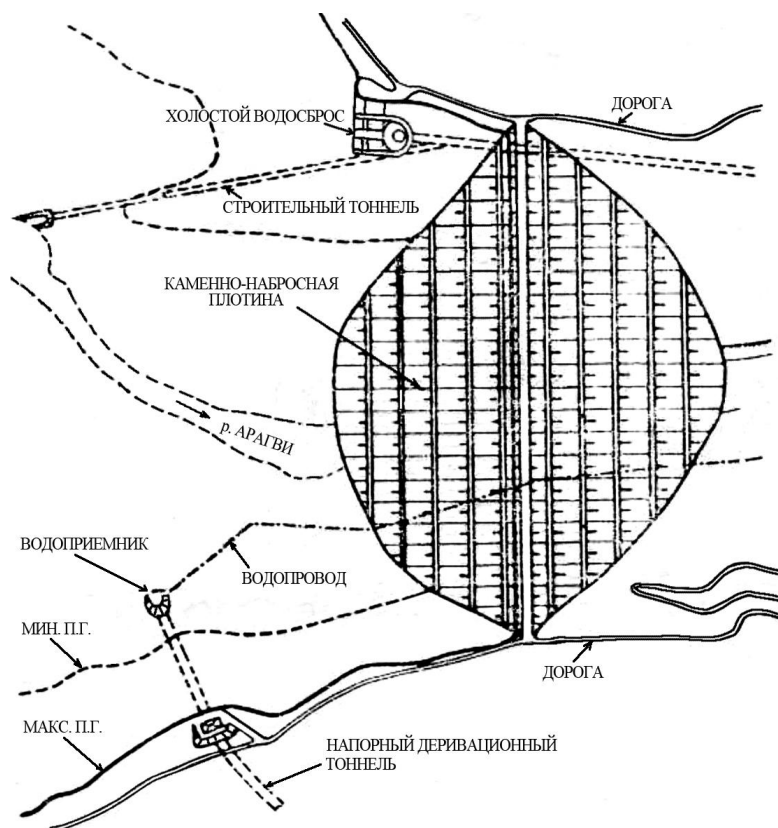


Рис. 1.3.3.24. План головного узла Жинвальской водохранилищной системы



Фото I.3.321. Жинвальская плотина с нижнего бьефа

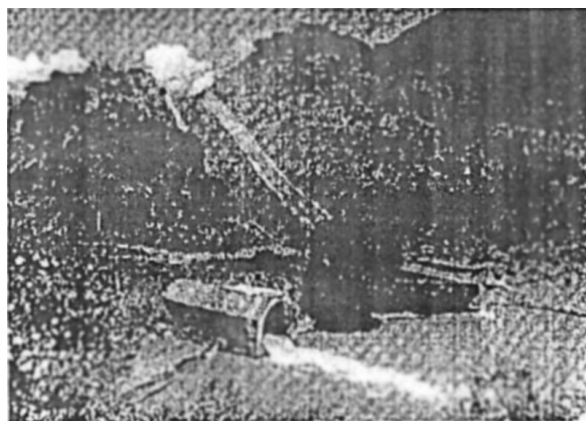


Фото I.3.322. Катастрофический и санитарный водосброс у Жинвальской плотины



Фото I.3.323. Жинвальская плотина с верхнего бьефа



Фото I.3.325. Правый борт Жинвальского водохранилища (средняя часть)



Фото I.3.324. Жинвальское водохранилище (левый борт, средняя часть)

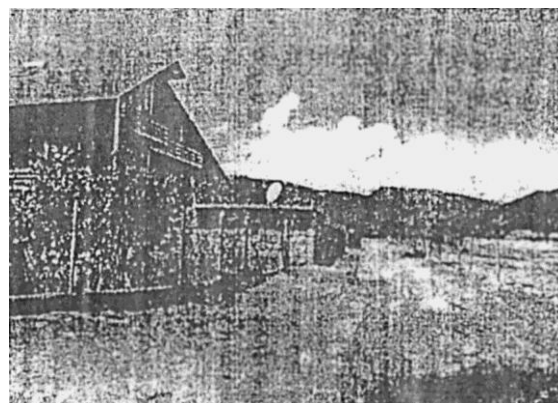


Фото I.3.326. Правый борт Жинвальского водохранилища (у дачного поселка)

Земляная плотина подпирает воду на 98,0 м, создавая при этом водохранилище емкостью 520,0 млн. м³.

Борта водохранилища в большей своей части сложены известняками и песчаниками с покровным почвенным слоем в среднем 3-5 м. Склоны водохранилища устойчивые, кроме участка реки у сел. Ананури, где правый борт ущелья на протяжении 4 км оползает (фото I.3.327).

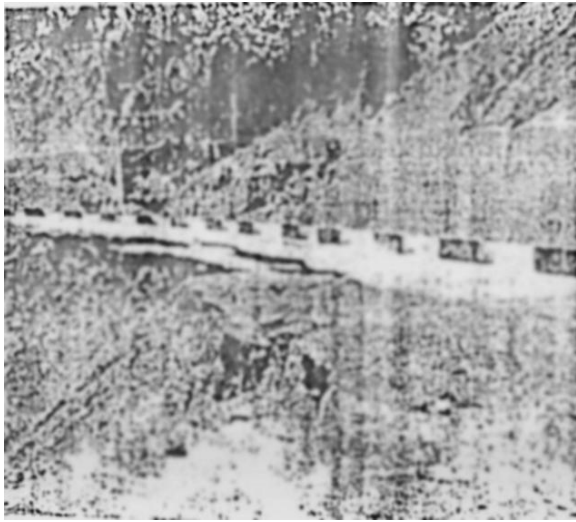


Фото I.3.3.27. Оползень на правом борту Жинвальского водохранилища (у с. Ананури)

плотины по гребню, при строительной высоте 98,0 м равна 412,0 м, ширина в основании 400 м, у гребня - 9,0 м. Усредненные заложения откосов каменной пригрузки с обоих бьефов равны 1:1,5.

Холостой водосброс шахтного типа расположен на левом берегу и оборудован 2-мя затворами на гребне, размерами 3,0×9,0 м каждый.

При поступлении в водохранилище паводкового расхода р. Арагви 0,1%-ой обеспеченности, определенного в 2080 м³/сек, расчетный расход водосброса определился в 680 м³/сек, при этом уровень водохранилища поднимается выше нормального на 1,4 м.

Высота шахты водосброса составляет 88 м, диаметр 6,0 м; отводящий тоннель водосброса, который во время строительства плотины использован для отвода р. Арагви, имеет корытообразное сечение 8,5×8,5 м и длину 500 м. Весь тракт водосбросных сооружений расположен в прочных известняках и облицован бетоном.

Водоприемник глубинного типа расположен на правом берегу р. Арагви и рассчитан на забор воды 120 м³/сек. Деривационный тоннель проходит в известняках с хорошими геотехническими показателями. Длина тоннеля от входного портала до оси уравнильной шахты равна 1531 м, поперечное сечение тоннеля круговое диаметром 5,5 м. Обделка тоннеля комбинированная толщиной 35 см, из коих бетон 30 см и железоторкрет 5 см. Уравнильная двухкамерная шахта расположена в известняках с высокими геотехническими показателями. Высота стояка шахты принята 55,6 м, диаметр 8,0 м. Облицовка шахты бетонная, толщиной 30 см, с внутренним железоторкретным кольцом толщиной 5 см. Для удовлетворения расположенного ниже ЖинвалиГЭС Тбилисского водопровода, в конце отводящего канала в пойме р. Арагви устроен буферный бассейн емкостью 2 млн. м³. Водовыпускные сооружения буферного бассейна имеют возможность выпускать пики с расходом до 600-800 м³/сек. Плотина Жинвальского водохранилища сооружена в той части ущелья р. Арагви, где оно сильно сужается, вследствие сложения его относительно слаборазмываемыми породами и тектонической приподнятостью этой части долины р. Арагви. Правый берег представляет крутой склон, на высоких отметках имеющий обрывистый характер. У реки пойма отсутствует, имеется лишь русло, ширина которого составляет 30-36 м. На левом берегу прослеживается терраса шириной 100 м, ограниченная с восточной стороны склоном крутизною

около 35°. Выше и ниже участка плотины ущелье резко расширяется вследствие сложения его, в основном, глинистыми породами. На участке, расположенном ниже выбранного створа плотины, ширина поймы достигает более одного километра.

Коренными породами створа плотины являются туфогенные песчаники с прослоями глинистых сланцев и массивные брекчиевидные известняки. Первые – слагают левый берег, русло и правый берег, имеют крутое падение (80-85°) и простираются вдоль направления течения реки. Известняки развиты лишь на правом берегу. На левом берегу, в пределах террасы, прослеживается погребенное старое русло, заполненное галечником, прикрытое со стороны склона мощным пролювиально-делювиальным шлейфом, мощностью галечников древнего русла 10-15 м и они имеют супесчаный заполнитель. Пролувиально-делювиальные отложения представлены смесью мелкой щебенки и легких суглинков. Левый склон выше площадки террасы слагается меловыми туфогенными песчаниками, покрытыми лишь местами незначительным слоем делювия – не более 2-3 м.

Правобережное примыкание плотины по характеру геологического сложения можно разбить на три части. В первой части склон слагается меловыми туфогенными песчаниками, покрытыми незначительным слоем делювия, который местами даже отсутствует. Во второй части, также сложенной туфогенными песчаниками, прослеживается погребенная терраса, сложенная галечником, покрытым мощным слоем делювия, состоящим из известнякового каменистого материала с суглинистым заполнителем. Ширина террасы составляет 30 м, а мощность четвертичных отложений доходит до 20 м. В третьей части коренными породами являются песчаники и известняки, покрытые делювием, также состоящим из известнякового каменистого материала, мощность которого кверху уменьшается.

Тбилисская водохранилищная система – третья ступень Самгорской оросительной системы – один из главных узлов в комплексе гидротехнических сооружений Верхне-Самгорской оросительной системы. Водоохранилище комплексного назначения – ирригация, водоснабжение питьевой водой и энергетика. Тбилиское водохранилище создано в котловинах 3-х соленых озер близ северо-восточной окраины г. Тбилиси – Авлабарского, Кукийского и Илгунианского. Площадь, занятая озерами, составляла 1,432 тыс. м² или около 20% всей площади впадины и 12% зеркала водохранилища. Глубина озер не превышала 1÷1,5 м. Питание озер происходило за счет атмосферных осадков, родников южного борта (до 1,5 л/сек), подземной подпитки грунтовым потоком и оврага Квинис-Хеви (рис. I.3.3.25; фото I.3.3.28; I.3.3.29).



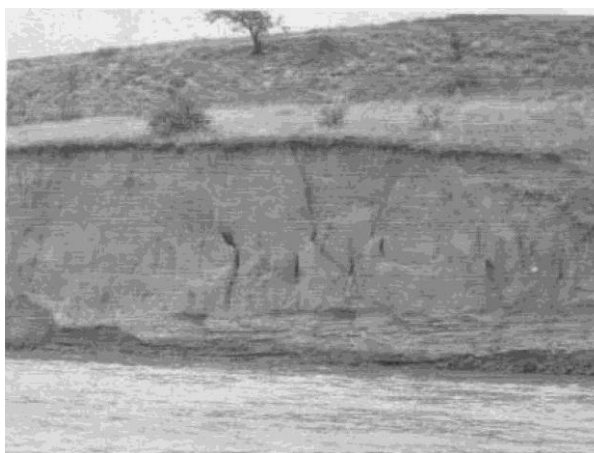


Фото I.3.3.28. Северный берег Тбилисского водохранилища



Фото I.3.3.29. Водосброс в Тбилисское водохранилище из Жинвальского водохранилища

Впадина, образованная котловинами озер, вытянута с северо-запада на юго-восток, имеет длину до 8 км и ширину от 1 до 2 км. Кукийское и Илгунианское озера находились почти на одинаковой высоте – 502,0 м, а Авлабарское – на высоте 528, 50 м. Образование впадин озер тектонического характера. Морфология же долины оврага Квинис-Хеви и состав наносов, вынесенных в котловину, указывает на наличие двух фаз в процессе ее формирования. Относительная высота озер над современным руслом Куры 110÷130 м. Дно котловины заполнено мощным слоем озерных и делювиально-пролювиальных отложений (в южной части впадины

до 10 м, в северной – до 30-75 м) из глины и ила, причем площадь, занятая озерными отложениями, значительно превышала водную поверхность озер. Впадина ограничена со всех сторон плоскими террасовыми возвышенностями с отдельными невысокими холмами. Склоны, обращенные к водохранилищу, имеют преимущественно мягкие сглаженные формы. Эта сглаженность нарушается лишь в местах выхода на поверхность пачек и отдельных пластов плотных песчаников, придающих склонам более резкие очертания. В отличие от них, склоны, обращенные к городу, сильно денудированы и изрезаны большим количеством довольно

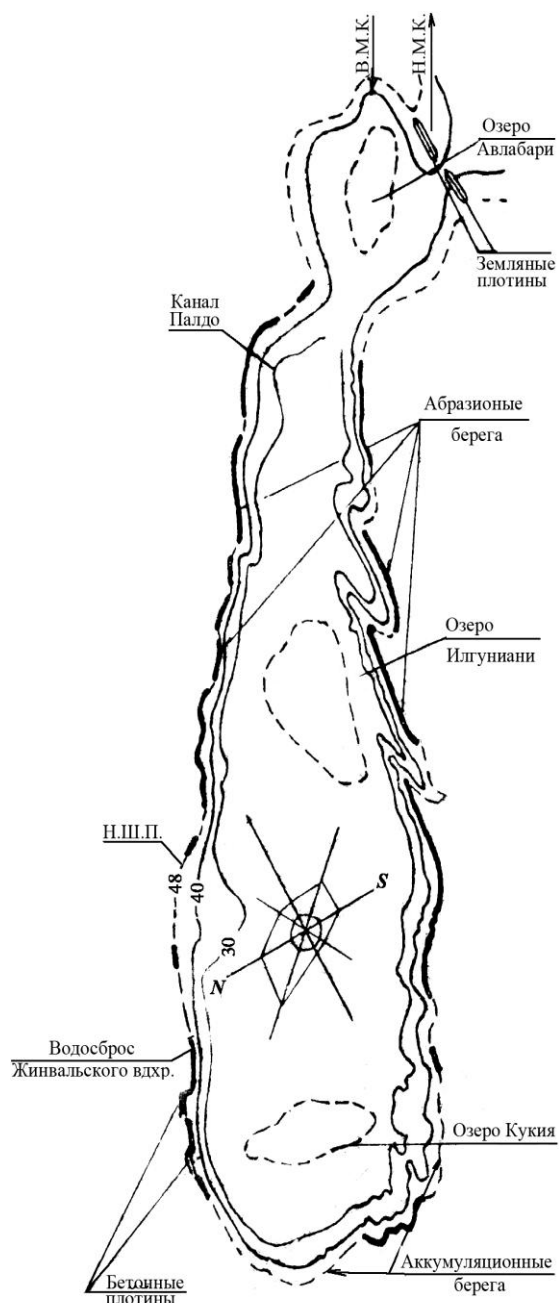


Рис. I.3.3.25 Тбилисская водохранилищная система (— абразионные берега, - - аккумулятивные берега)

В настоящее время*) отметка НПУ не превышает 543,0 м, полный объем 215,2 млн. м³, полезный объем 65,5 млн. м³, мертвый объем 150,17 млн. м³, соответственно максимальная глубина 37,0 м, площадь зеркала воды $F = 108 \text{ км}^2$, расход воды из ВМК – $Q = 4,43 \text{ м}^3/\text{сек}$, расход спуска воды – $Q = 3,7 \text{ м}^3/\text{сек}$. Питание водохранилища происходит переброской воды ВМК р. Иори и подпиткой из Жинвальского водохранилища (рис. I.3.3.21).

*) В результате фильтрационных процессов из водохранилища уровень воды был понижен на 5÷6 м.

глубоких оврагов, выходящих к р. Куре. В строении чаши водохранилища принимают участие песчаники и сланцеватые глины третичного возраста (эоцен). Они лишь на дне и в южной окраине покрыты толщей четвертичных отложений. В северной половине чаши коренные породы имеют господствующее развитие и залегают близко от поверхности. В юго-восточной части они выходят с перерывами и местами прикрыты аллювием и делювием. Глубоко залегают коренные породы в устьевой части оврага Квинис-Хеви, впадающего в водохранилище с восточной стороны, где имеются хорошо развитые террасы из суглинистого материала. Коренные породы, особенно в контактах, содержат тонкие поропласты гипса и характеризуются выветренностью и тектоническим нарушением. Вся толща однообразно падает почти на север под различными углами. Направление долины р. Куре диагонально по отношению к простиранию пластов породы. Водохранилище образовано в указанной впадине путем закрытия небольших местных понижений и прогалов четырьмя плотинами (две бетонные и две земляные) (фото I.3.3.30).

Проектные данные Тбилисского водохранилища – полный объем 308,0 млн. м³, полезный 155,0 млн. м³, отметка НПУ – 548,0 м, УМО – 533,1 м, максимальная глубина – 45,0 м, средняя глубина – 26,2 м, площадь зеркала при НПУ – 11,0 км², длина береговой линии – 23,9 км.



Фото I.3.3.30. Бетонная плотина №2 на Тбилисском водохранилище

Водохранилище Архашени – ирригационного назначения наливного типа – создано земляной плотиной в Сагареджойском районе, подпитка водохранилища – природный сток и искусственная подача воды (фото I.3.3.31).



Фото I.3.3.31. а) Архашенское водохранилище; б) Плотина Архашенского водохранилища

Высота земляной плотины 35,0 м, ширина гребня плотины 10,0 м, общий объем плотины 1,56 млн. м³, объем глиняного ядра – 0,67 млн. м³, объем опорных призм 0,9 млн. м³, плотина относится к II-му классу. Водохранилище – не функционирует.

Водохранилище Девис-Цкали – ирригационного назначения наливного типа – создано земляной плотиной в Сагареджойском районе, подпитка водохранилища – природный сток и искусственная подача воды (фото I.3.3.32).



Фото I.3.3.32. Водохранилище Девис-Цкали

Высота земляной плотины 32,0 м, длина гребня 595,0 м, ширина гребня 6,0 м, максимальная ширина в основании – 197,0 м, общий объем плотины 98,4 тыс. м³, плотина относится к III-му классу. Водохранилище – не функционирует.

Водохранилище Удабно – ирригационного назначения наливного типа, в Сагареджойском районе – создано земляной плотиной высотой 10,0 м, длина по гребню 229,0 м, объем плотины 300,0 млн. м³ (фото I.3.3.33).

В верхнем бьефе плотина укреплена бетонными плитами 1,5x2,0x0,2 м. Плотина относится к III-му классу. Водохранилище – не функционирует.



Фото I.3.3.33. Водохранилище Удабно

Водоохранилище Череми (Тхилианис-Хеви) – ирригационного назначения наливного типа в Гурджаанском районе создано в русле р. Патара-Ведзи. Земляная плотина с глиняным экраном, в нижних опорах призмы наброска, верхний бьеф укреплен бетонными плитами (фото I.3.3.34).

а)



б)



Фото I.3.3.34. Водохранилище Череми. а) Вид с верхнего бьефа; б) Вид с нижнего бьефа

Высота плотины 30,5 м, длина гребня плотины 131,0м, ширина гребня плотины 12 м, максимальная ширина плотины по низу – 120,0 м, полный объем водохранилища 1,2 млн. м³. Частичная подпитка водохранилища производилась подачей воды 240 л/сек.

В апреле 2010 г. в результате интенсивных дождей наблюдалось резкое поднятие уровня воды в водохранилище, что сопровождалось размывом берегов катастрофического водосброса, вымывом бетонных плит у оголовка водосброса и обрушением моста (фото I.3.3.35).



Фото I.3.3.35. Авария на водосбросе водохранилища Череми.

Возможной волной прорыва создавалась опасная ситуация для г. Гурджаани. В результате оперативных действий были проведены превентивные мероприятия – было укреплено размываемое русло катастрофического водосброса мешками с песком, был очищен направленным взрывом заиленный водоспуск (ирригационная труба), в результате чего уровень воды в водохранилище был спущен до минимума. В настоящее время водохранилище не функционирует.

Водохранилище Лакбе в Гурджаанском районе – ирригационного назначения, создано в русле р. Лакбе, ёмкость водохранилища 140,0 млн. м³, высота земляной плотины 75,0 м, ширина по гребню 8,0 м, длина 591,0 м. Объём плотины 5,98 млн. м³, объём глиняного экрана 1,08 млн. м³. Водохранилище функционирует.

Водохранилище Телет-Цкали – ирригационного назначения – наливного типа, создано в Дедоплис-Цкарройском районе земляной плотиной высотой 37,5 м, длиной 260,0 м (рис. I.3.3.26; фото I.3.3.36; I.3.3.37).

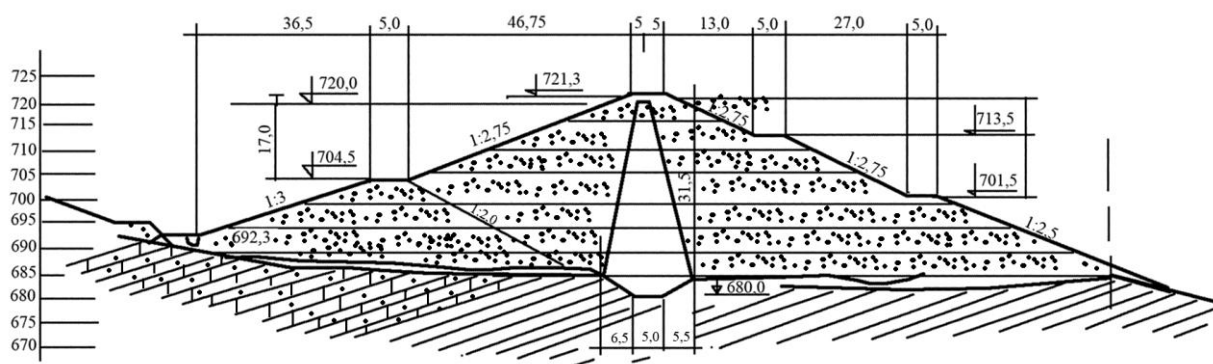


Рис. I.3.3.26. Телет-Цкальская плотина

В результате 6-ти бального землетрясения в 1979г. был поврежден донный ирригационный металлический трубопровод. Для его восстановления уровень воды в водохранилище был спешно спущен, в результате чего повреждено бетонное покрытие верхнего бьефа, которое затем было заменено наброской из известняка, а ирригационный металлический трубопровод для спуска воды – заменен тоннелем. Водохранилище не функционирует.



Фото I.3.3.36. Телет-Цкальское водохранилище



Фото I.3.3.37. Телет-Цкальская плотина



Фото I.3.3.38. Водохранилище Кушис-Хеви

Водохранилище Кушис-Хеви – ирригационного назначения, создано в Дедоплис-Цкарройском районе. Высота земляной плотины 18,0 м, длина гребня 719,0 м, ширина 8,0 м, полный объем водохранилища 90,0 млн. м³. Объем однородной плотины 657,0 млн. м³. В результате действия консолидационных процессов в теле плотины было повреждено бетонное покрытие берегового откоса плотины. Водохранилище не функционирует (фото I.3.3.38).



Фото I.3.3.39. Водохранилище Кранчис-Хеви

Водохранилище Кранчис-Хеви – ирригационного назначения создано в Дедоплис-Цкарройском районе земляной плотинной высотой 14,5 м, ширина гребня плотины 8,0 м, объем тела плотины 214,0 млн. м³ (фото I.3.3.39).

Водохранилище Далис-Мта – ирригационного назначения, создано в Дедоплис-Цкарройском районе земляной плотинной из наносно-галечниковых грунтов с глиняным экраном и понуром (фото I.3.3.40).

а)



б)

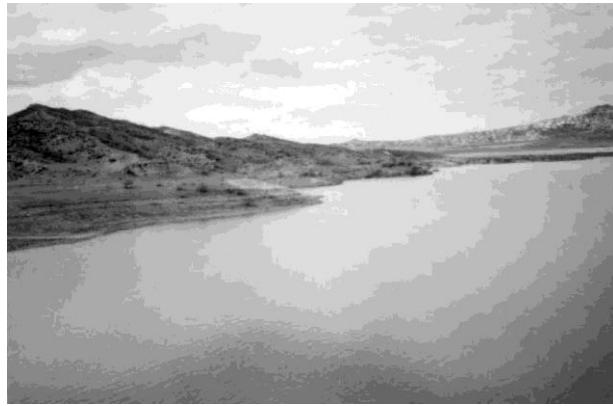


Фото I.3.3.40. Плотина водохранилища Далис-Мта
а) вид с верхнего бьефа; б) водоприёмник и водосбросное сооружение

Полный объем водохранилища 110,0 млн. м³, высота плотины 38,0 м, ширина гребня 10,0 м. Верхний бьеф плотины покрыт железобетонными плитами 30,0x2,5x0,1 м. Плотина относится к II-му классу.

Водохранилище Ваке в Сигнахском районе – ирригационного назначения, наливного типа. Высота земляной плотины 36,7 м, длина гребня плотины 250,0 м, ширина – 6,0 м, объем плотины 407,9 тыс. м³. Плотина относится III-му классу (фото I.3.3.41).

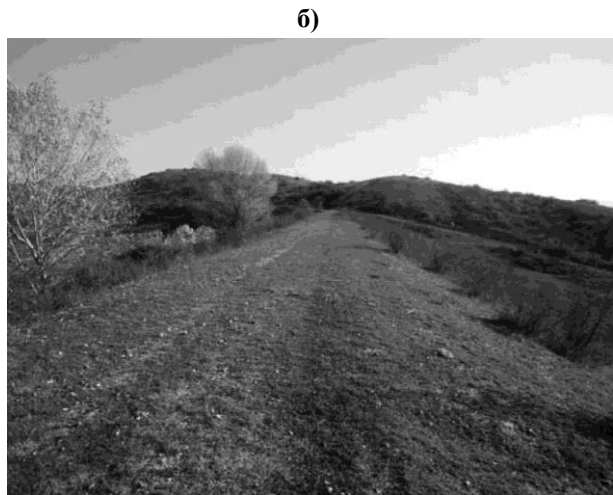
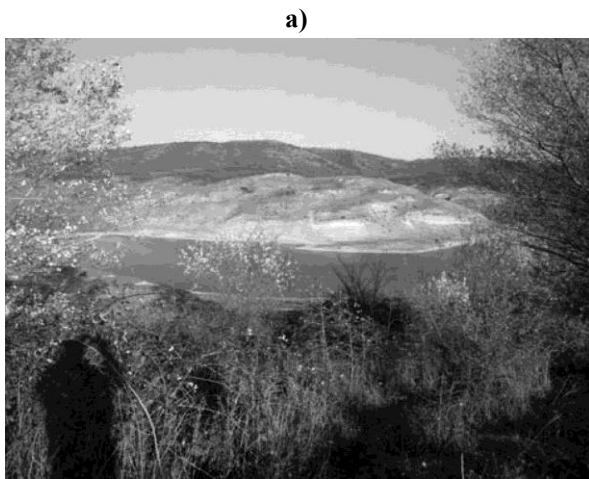


Фото I.3.3.41. Водохранилище Ваке
а) вид водохранилища; б) вид плотины с нижнего бьефа



Фото I.3.3.42. Водохранилище Липи.
Вид с верхнего бьефа

Водоохранилище Липи создано в Тетрицкаройском районе – ирригационного назначения (фото I.3.3.42).

Отметка НПУ водохранилища 1093,0 м, УМО – 1084 м, отметка гребня плотины 1095,0 м. Ширина гребня земляной плотины 8,0 м, длина плотины 425,5 м. Максимальная высота плотины – 20,95 м. Максимальная ширина плотины – 93,0 м. Объём экрана плотины 43,0 тыс. м³, объём призм и защитного слоя – 73,0 тыс. м³. Плотина относится к IV классу капиталь-

ности. Верховой откос плотины защищен бетонными плитами.

Водоохранилище Зонкари создано в русле р. Патара-Лиахви, ирригационного назначения. Гидроузел состоит из земляной плотины, сбросного тоннеля, ж/б трубопровода для ирригационного водоспуска, колодца ирригационного трубопровода, катастрофического шахтного водосброса. Плотина земляная с глиняным ядром и опорными призмами (фото I.3.3.43). Верхний бьеф покрыт железобетонным покрытием.

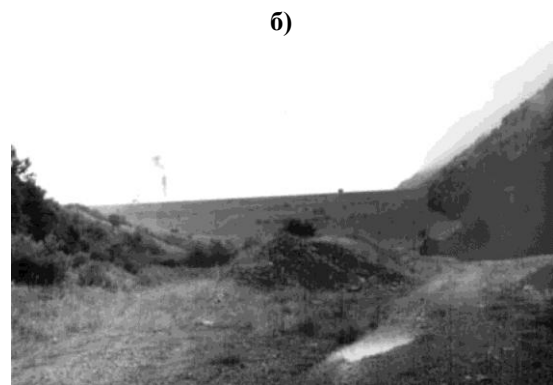
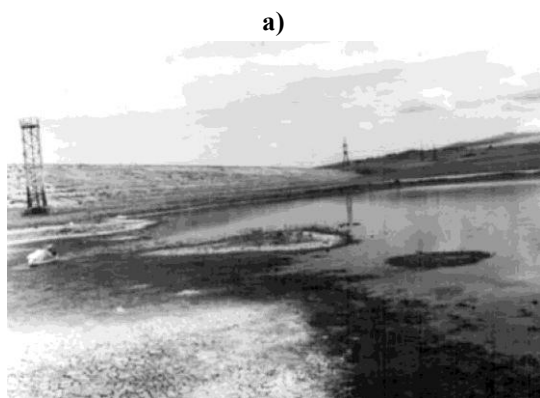


Фото I.3.3.43. Плотина Зонкарского водохранилища
а) вид с верхнего бьефа; б) вид с нижнего бьефа

Водохранилище Красногорка – наливного типа, в Сагареджойском районе, создано земляной плотиной длиной 415,0 м, высотой 15,0 м, шириной гребня 6,0 м, максимальная ширина плотины 100,0 м (фото I.3.3.44). Отметка НПУ водохранилища 778,0 м, отметка гребня плотины 780,0 м. В настоящее время верхний бьеф частично прикрыт вышедшими из строя бетонными плитами. Водохранилище не функционирует.

а)



б)



Фото I.3.3.44. Водохранилище Красногорка.

II. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ "ГОРНЫЕ ВОДОХРАНИЛИЩА – ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА"

Выделение горных водохранилищ в отдельную группу, требующую особого подхода, является необходимым при установлении основных действующих факторов и условий при прогнозировании направленности развития волновых, береговых и седиментационных процессов. Основные факторы и условия, определяющие направленность формирования системы "горные водохранилища – окружающая среда" являются (табл. II.1): 1) режим регулирования стока; 2) водный баланс; 3) сгонно-нагонные колебания уровня; 4) водообмен и течения; 5) затопленные и подтопленные территории; 6) фильтрация из водохранилища; 7) специфика уровенного режима с учётом амплитуды сезонного изменения отметки водной поверхности и скорости перемещения уреза; 8) особенности ветрового режима с определением продолжительности действия ветров и их повторяемости по скоростям и направлениям; 9) характеристики волнового режима с учётом изменчивости параметров волн по периметру водоема и характеру их распределения во времени; 10) особенности климатических показателей и степени их изменчивости во времени; 11) особенности береговых и седиментационных процессов; 12) ледовые явления.

Таблица II.1

Основные направления и виды взаимодействия горных водохранилищ с окружающей средой

№	Основные направления взаимодействия	Основные виды взаимодействия	Характерные процессы	Основные факторы взаимодействия	Зоны взаимодействия	Отрицательные последствия
1	2	3	4	5	6	7
1	Формирование новых природных ландшафтов (ноосферы)	Переформирование берегов водоемов	Абразия, эрозия, карст, просадка, размывы, перетложение осадков	Колебания уровня воды, волновые процессы, свойства и состояние пород, и их изменение во времени	Верхний бьеф	Потеря территорий, осложнения использования береговой зоны в промышленных, хозяйственных и рекреационных целях
		Нарушение стабильности высоких склонов речной долины	Обвалы, оползни, осыпи, просадки и т.д.	Колебания уровня воды, подрезка склона абразией	Верхний бьеф и зона выклинивания фильтратов	Потеря территории. Разрушение и деформации существующих объектов
		Русловые деформации, местный и общий размыв в нижнем бьефе	Подмыв и обрушение берегов, переуглубление дна	Дефицит твердого стока	Нижний бьеф (приплотинный)	Нарушение сложившихся хозяйственных комплексов на берегах реки
		Изменение динамики и морфологии прибрежной зоны приемного бассейна	Отступление берега моря, размывы на подводном склоне, деформации гидротехнических сооружений (молв, стен)	Снижение объема пляжеобразующих выносов вдоль береговых потоков наносов	В ареале питания пляжей выносами рек	Уменьшение ширины пляжей, разрушение прибрежных строений, осложнение освоения прибрежной территории

Таблица II.1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
		Возникновение наведенной сейсмичности	Увеличение количества и силы подземных толчков	Увеличение нагрузки на дно водоема за счет увеличения глубины воды и отложения наносов, а также интенсивность ее изменения при сработке уровня воды, объем выносов	В районе водоема и в его окрестностях	Возможные деформации массивов пород и разрушение сооружений в районе землетрясения
2	Изменение распределения осадконакопления	Занесение и заиление водохранилища	Повышение отметки дна водоема	Снижение скоростей речного потока, форма водоема	Верхний бьеф	Уменьшение полезной емкости водоема, сокращение срока службы объекта, дефицит наносов в нижнем бьефе
3	Изменение режима стока и качества воды	Изменение режима грунтовых вод	При подъеме уровня воды – подпор грунтовых вод, уменьшение их скоростей, увеличение застойности, при сработке – понижение уровня грунтовых вод	Повышение уровня фильтрации из водохранилища. Затопление и подтопление грунтовых массивов	В пределах подпора и нижнего бьефа	Подтопление строений, развитие гравитационных склоновых процессов, заболачивание, потери воды из водоема, трансформация растительного и животного мира, формирование новых фитогенезов
3 ^a		Изменение качества воды	Повышение минерализации, включение неорганических и органических веществ и загрязнителей	Ухудшение водообмена самоочистки, склоновые стоки	Верхний бьеф	Ухудшение условий водоснабжения и рыбного хозяйства
3 ^b			Увеличение степени загрязненности речного стока	Уменьшение объема жидкого стока	Нижний бьеф	Ухудшение условий водопользования на всей длине реки
4	Изменение процессов в атмосфере	Изменение микроклимата	Повышение влажности воздуха, облачности, вентиляции района, радиационного баланса	Внедрение нового водного объекта с увеличением испарения за счет увеличения площади зеркала воды	В радиусе от 3 до 10 км	Могут иметь как отрицательные, так и положительные последствия, в зависимости от географического расположения объекта

- 1. Режим регулирования стока водохранилищ** в горных и предгорных регионах, в основном, сезонного типа, где соотношение полезного объема к среднему объему годового стока рек колеблется в пределах 0, 267÷0, 948.
- 2. Водный баланс водохранилищ**, отражающий характер регулирования стока, может быть определен по зависимости:

$$\sum \Pi - \sum P = \sum A + \Delta H, \quad (\text{II.1})$$

где $\sum \Pi$ – сумма составляющих приходной части баланса, $\sum P$ – сумма аккумулятивных составляющих баланса, ΔH – невязка баланса, причем допустимыми считаются величины, не превышающие 1-2% для годовых и 3-5% для месячных балансов. При этом в приходной части баланса основным является поверхностный приток с водосбора. В расходной части основу составляют сбросы воды через плотины и гидроузлы $\sum A$, превышающие 90% расходной части водного баланса.

Соотношением приходной и расходной частей баланса определяются два периода в годовом цикле – наполнение и сработка. Атмосферные осадки на водное зеркало в водном балансе горных водохранилищ практически не имеют значения в связи с малой площадью зеркала.

3. Сгонно-нагонные колебания уровня, обусловленные перемещением водных масс под воздействием ветра в горных регионах в связи с малыми площадями зеркала воды и высокими прибрежными склонами практически не наблюдаются (табл. II.2).

Таблица II.2

Сопоставление значений ветрового нагона на горных водохранилищах при $h = 2,0$ м, $\lambda = 20,0$ м						
№	Водохранилище	Максимальная скорость ветра V_w , м/сек	Глубина в этом створе H , м	Длина разгона L , км	$\cos \alpha$	Ветровой нагон h_{set}^{em} , м
1	Тбилисское	33	30	2,6	0,87	0,016
2	Сионское	22	30	3,8	-“-	0,003
3	Ткибульское	26	35	4,2	-“-	0,010
4	Храмское	13	30	4,8	-“-	0,002

4. Водообмен разделяется на внешний и внутренний. **Внешний водообмен** определяется водным балансом водохранилища за счет притока воды с водосбора и ее сброса из водоема и, соответственно, характеризуется условными показателями, рассчитываемыми по элементам водного баланса, согласно зависимости:

$$K_e = (V_{cb} + V_{np}): 2V_{водох} \quad (\text{II.2})$$

Для уточнения показателей водообмен следует рассчитывать как для полного, так и для полезного объема.

Внутренний водообмен определяется горизонтальным и вертикальным турбулентным обменом. Горизонтальный – определяется стоковыми течениями, вертикальный – турбулентным перемешиванием при волнах и течениях. Горизонтальный обмен в условиях горных водохранилищ происходит значительно интенсивней вертикального. Внутренний водообмен приводит к изменению свойств водных масс с выравниванием их физических и химических показателей по всему объему водоема.

Внешний водообмен в горных водохранилищах достаточно высок, в связи с чем, поступающие массы воды не успевают трансформироваться и проходят через водоем транзитом практически почти без изменения первоначальных свойств.

Течения в условиях горных водохранилищ определяются притоком речных вод и

стоком их в нижний бьеф. В связи со спецификой эксплуатационного режима формируются, в основном, стоквые течения (или проточные). Они наблюдаются в районе выклинивания подпора и в глубоководной зоне вдоль русел бывших рек. В формировании чаши водоема они практически не принимают участие.

5. Затопление территории. Зона затопления располагается в пределах от меженного уровня воды в реке до отметки НПУ водохранилища. В условиях горных регионов постоянное затопление является условным понятием, поскольку в течение года сработка уровня в пределах НПУ и УМО меняется в значительных пределах (Таблица П.3) и на отметке НПУ стабилизируется не более 30 ÷ 60 дней за год. Практически вся зона перемещения уровней может быть определена как зона временного затопления. Формирование подпора грунтовых вод определяется изменением гидрогеологических условий при создании водохранилища.

Колебания уровня воды в горном водохранилище оказывает существенное влияние на уровни водоносных горизонтов, и накладываются на динамику общего процесса. Повышение уровня грунтовых вод формируется медленно и достаточно изменчиво. Продолжительность формирования может изменяться от нескольких месяцев до нескольких лет, особенно в условиях значительной изменчивости уровня воды в водоеме. Сработка уровня воды в водоеме вызывает снижение уровня грунтовых вод, продолжающееся до тех пор, пока не начнется новый подъем уровня воды. Ежегодные колебания подземных вод следуют за уровнем воды в водоеме, что определяет снижение стационарного подпора и удлинение периода его формирования. Наибольшая высота подпора подземных вод наблюдается в приплотинной части водоема и постепенно снижается к его верховьям.

6. Фильтрация из водохранилищ наблюдается практически на всех горных водоемах. Интенсивность развития процесса зависит от геологической обстановки и характеристик уровня режима водохранилища. По данным наблюдений, развитие фильтрации при значительных колебаниях уровня воды в водоеме, как в годовом, так и в многолетнем разрезе, имеет неустановившийся характер.

При условии постоянства коэффициента фильтрации (K_ϕ) при постепенном наполнении водохранилища фильтрационный расход может быть определен по зависимости:

$$q_a = q_0 + 2h_0 K_\phi \sqrt{tma}, \quad (\text{П.3})$$

где h_0 – начальный УГВ, m – среднее значение мощности пласта, $a = K_\phi m / \mu$, μ – коэффициент водоотдачи. По данным наблюдений на ряде водохранилищ Грузии установлена прямая связь между расходом фильтрации и уровнем воды водохранилища. По данным замеров колебания уровня фильтрационных вод и расхода фильтратов полностью соответствовали колебаниям уровня воды в водохранилищах (рис. П.1).

При этом подземные воды по мере прохождения через трещины загипсованных пород обогащались солями, что определило увеличение деформации береговых склонов. Такого типа явления наблюдались на Храмском, Тбилисском, Сионском и других водоемах. К примеру, на Тбилисском водохранилище вынос солей фильтрационным потоком вызвал осадку и деформации двух бетонных плотин, что определило необходимость цементации пород основания сооружений, восстановления плотин, укрепление берегового откоса каменным контрбанкетом, снижение уровня воды на 5-6м. На Сионском водохранилище фильтрация через водопроницаемые линзы мыса левобережного примыкания вызвала заболачивание и подтопление ряда строений на территории поселка ГЭС, а подпор грунтовых вод фильтратом провоцировал развитие оползней на левом склоне долины реки Иори.

Таблица П.3

Потери земельных площадей при создании горных водохранилищ (затопление)

№№ п/п	Водохранилище	Район расположения	Река	Полный объем $V_{пол}$ МЛН.М ³	Площадь затопления / из них с/х угодий $\frac{S_{зат}(км^2)}{S_{орош}}$	Площадь мелководий, $F_{мл.км^2}$	Затопление			Затопление в % от площади водосбора в створе ПЛОТИНЫ
							Для создания объема в 1 МЛН.М ³ $\frac{V_{пол}}{S_{зат}}$	Для орошения 1 км ² угодий $\frac{S_{орош}}{S_{зат}}$	Для обеспечения энергии в 1 млн. кВтч $\frac{W_{выр}}{S_{зат}}$, млн.кВтч/км ²	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Водохранилища Грузии										
Бассейн р. Куры										
1	Жинвальское	Душетский	Арагви	520,0	11,60/5,20	0,08	44,82	32,85	43,10	0,75
2	Сионское	Тианетский	Иори	325,0	11,40/3,90	0,05	28,47	46,84	9,21	3,73
3	Цалкское (Храмское)	Тетри-Цкарыйский	Храми	312,0	34,0/25,0	2,96	9,18	0,048	6,38	3,23
4	Тбилиское (проект)	г. Тбилиси	Иори	308,0	12,50/-	0,66	24,64	12,00	-	-
5	Далис-Мга	Дедоплис-Цкарыйский	Иори	140,0	15,0/	0,05	9,33	4,00	-	0,70
6	Алгетское	Тетри-Цкарыйский	Алгети	65,0	2,50	0,06	26,00	58,00	-	0,77
7	Джандарское	Гардабанский	Гардабанский МК	52,0	12,50	2,70	4,16	6,80	-	-
8	Патара-Лиахви	Цхинвальский	Лиахви	40,0	1,40	0,20	28,57	150,00	-	0,52
9	Водохранилища 3 объемом 10 ÷ 40 МЛН. М ³	3 водохранилища	Бассейн р. Куры	32,0	4,65	-	6,88	39,78	43,44	-

Таблица II.3 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	Водохранилища 16 водо- объемом 1 ÷ 10 млн. м ³	16 водо- хранилищ	Бассейн р. Куры	47,86	11,61	–	4,12	1,72	–	–
11	Водохранилища 9 водо- менее 1 млн. м ³ хранилищ	9 водо- хранилищ	Бассейн р. Куры	2,21	11,38	–	1,60	1,16	–	–
	Всего по бассейну р. Куры (Восточная Грузия)			1834,07	118,54/34,1	7,21	среднее 15,47	среднее 14,94	среднее 8,63	среднее 0,354
Западная Грузия										
1	Джварское	Цаленджихский	Ингури	1090,0	13,50/1,46	0,16	80,74	–	309,63	0,425
2	Гальское	Гальский	Ингури	145,0	8,0/–	0,10	18,13	–	117,50	0,045
	Всего по бассейну р. Ингури			1235,5	21,50/1,46	0,26	50,35	–	–	0,52
3	Шаорское	Амбролаурский	Шараула	90,0	13,20/–	1,00	6,89	–	9,09	10,50
4	Ткибульское	Ткибульский	Ткибули	84,0	11,50/–	1,72	7,30	–	13,13	0,94
5	Гуматское	Цхалгубский	Риони	39,0	1,40/–	0,04	16,25	–	67,92	0,065
6	Водохранилища менее 40 млн. м ³ (3 водохранилища)		Риони	41,10	6,77/–	0,76	6,07	0,33	176,96	–
	Всего по бассейну р. Риони			254,10	32,87	3,52	среднее 7,73	среднее 0,33	среднее 49,65	среднее 0,00007
	Всего по Западной Грузии			1489,0	54,37/2,92	3,78	среднее 27,39	–	Среднее 124,99	среднее 0,166
	Всего по Грузии			3323,1	172,91/37,0	10,99	среднее 19,22	среднее 19,22	Среднее 16,87	среднее 0,248

Подтопление может быть characterized как динамический процесс, оказывающий влияние на почвенный покров, характеристики которого определяются, в основном, длительностью стояния уровня воды на отметке подтопления. Подтопление создается в результате переувлажнения почвенного горизонта вследствие проникновения подпертых речных подземных вод в ранее необводненные толщи грунта. С удалением от водохранилища и повышением отметок рельефа относительно нормального подпертого горизонта, подтопление уменьшается. На горных водохранилищах этот процесс имеет меньшее значение. В основном, создаются зоны попеременного подтопления, непосредственно связанные с колебанием уровня воды в водохранилище, причем, в дренированных грунтах отметки уровней подтопления во времени следуют за изменением уровней воды в водоеме. Несколько осложняется положение на участках суглинистых отложений, поскольку в этом случае наблюдается размокание почво-грунтов с вытеснением воздуха и поднятием воды по капиллярам на высоту 2 ÷ 3 м.

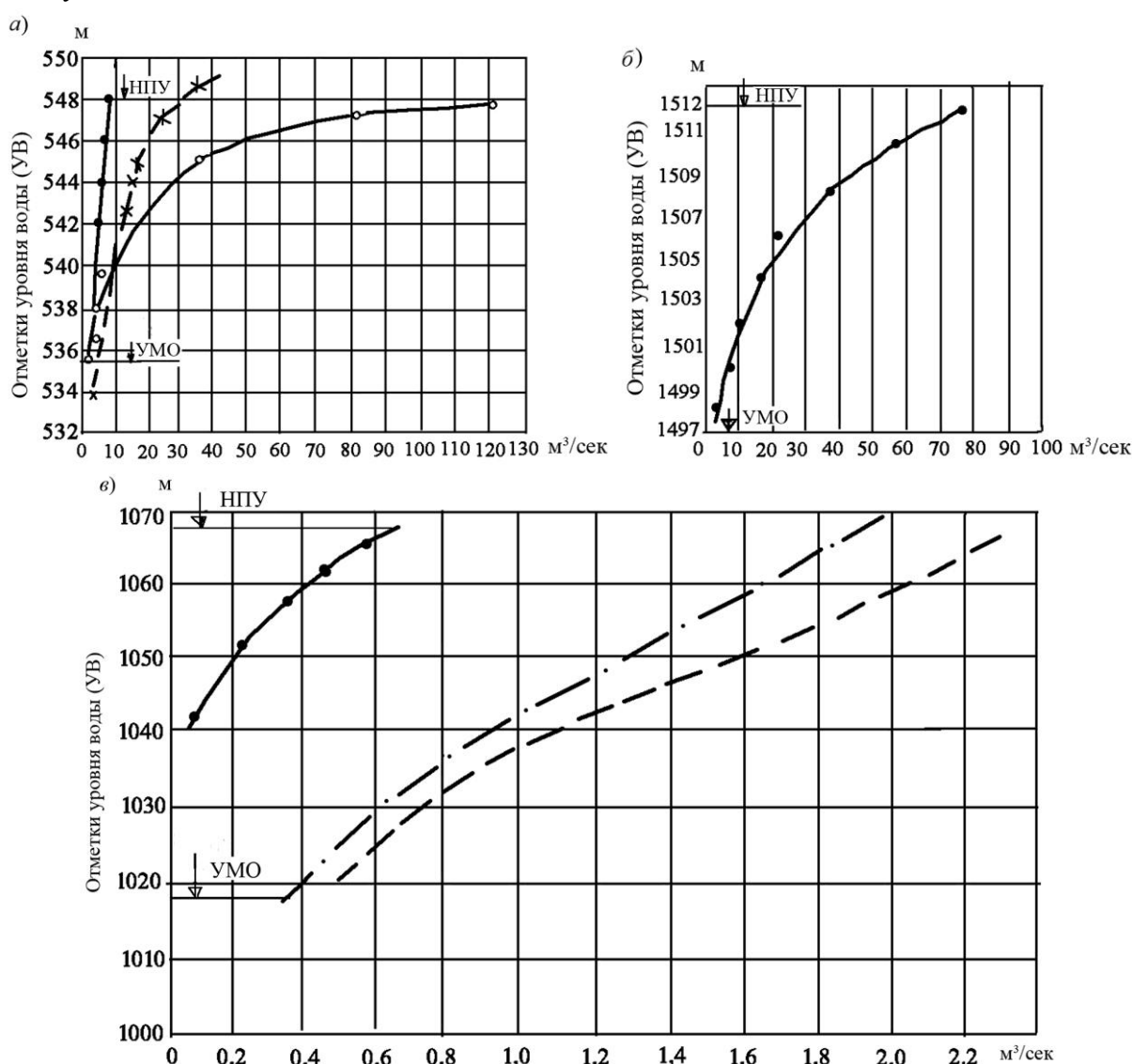


Рис. 11.1. Зависимости потерь воды на фильтрацию от уровня воды в водохранилище
 а) Тбилисское водохранилище (---- через 2 года после начала эксплуатации; - х – через 15 лет после начала эксплуатации; о – точки замеров до цементации; • - точки замеров после цементации).
 б) Храмы ГЭС I (• - точки замеров). в) Сионское водохранилище (--- расход фильтрации через плотину; - • - годовые потери; - - общий расход фильтрации).

Факторы, способствующие развитию процессов подтопления:

- повышение влажности воздуха в прибрежной зоне, которое распространяется на расстояние до $2 \div 3$ км;
- приток дождевых вод с прилегающих территорий; подъем влаги по почвогрунтовым капиллярам; наличие микрорельефа с понижением отметок местности, в которых застаивается влага и которые можно рассматривать как "вторичное" подтопление.

7. Специфики уровня режима горных водохранилищ. Амплитуда колебания уровней воды в горных водоемах в отличие от равнинных водохранилищ достигает нескольких десятков метров, а скорость перемещения изменяется в течение суток в пределах $0,25 \div 2,5$ м (табл. I.3.2.6; рис. II.2÷II.7). При этом фиксируются значительные изменения переформирования береговой зоны водоемов, распределения отложения наносов в чаше, степени подтопления прилегающих земель, которые связаны с четко выраженной циклическостью подъема и спада уровня воды.

Основные изменения могут быть сведены к следующему:

- расширяется зона взаимодействия воды с сушей, при этом процесс переформирования береговой зоны как бы растягивается во времени, объем переработки склона увеличивается; осложняется деформация волн при их подходе к берегу; наблюдается неравномерность формирования склонов по высоте, т.к. в зону размыва попадает местность с различной степенью прочности; на низких отметках залегают менее прочные породы, где развиваются значительные деформации с образованием обвалов и скалыванием крупных массивов; создаются неблагоприятные условия для статической устойчивости склонов, вследствие взвешивания пород при подтоплении и утяжелении при сработке уровня воды; суффозия и изменение физико-механических свойств пород, при попеременном водонасыщении и высыхании, приводит к интенсификации процессов выветривания, а также к развитию оползневых и обвальных явлений; в береговой зоне практически не происходит образование аккумулятивных отмелей, что определяет увеличение объема отложений наносов в чаше водохранилища; на приглубых берегах, заглубляется нижняя граница размыва, т.к. процесс попеременного увлажнения и высыхания пород вызывает обрушение не только надводных, но и подводных склонов; при изменении скорости перемещения уреза наблюдаются серии обрывов и террасированные профили берега.

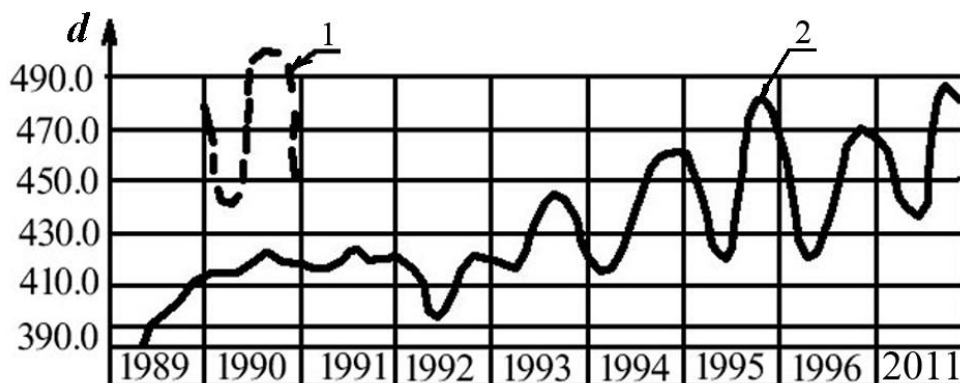


Рис. II.2. График уровня режима Ингурского (Джварского) водохранилища
1 – проектный, 2 – 1989 ÷ 1996, 2011 гг.

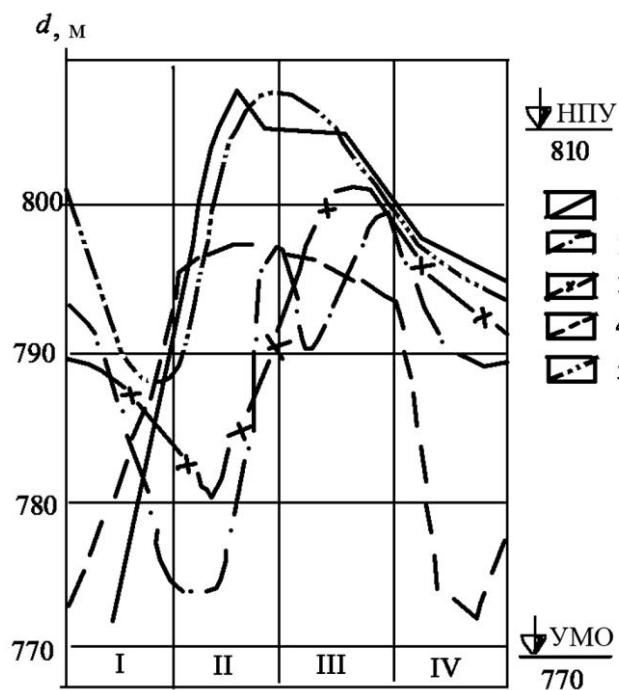


Рис. П.3. График уровня режима Жинвальского водохранилища
1, 2, 3 – 1986-1988 гг.; 4 – проектный; 5 – 2010 г.

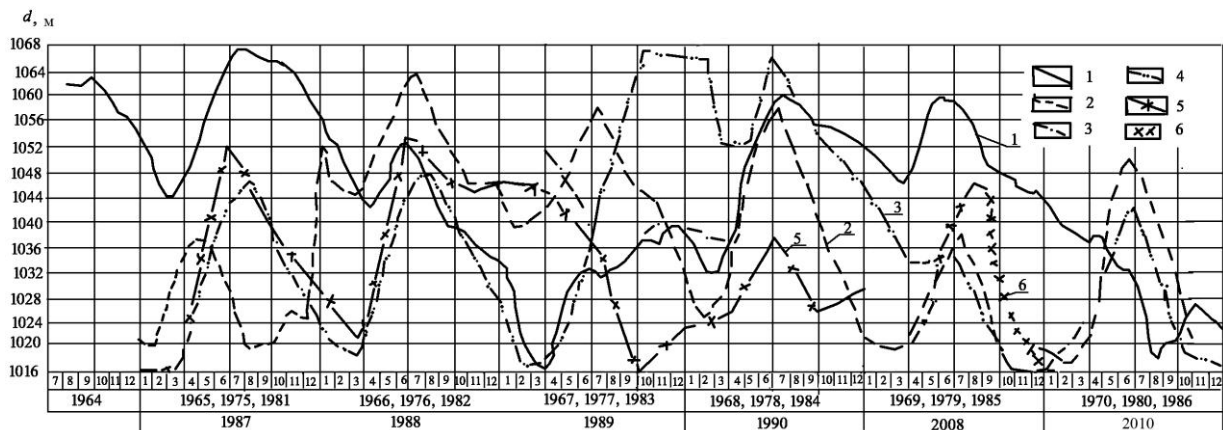


Рис. П.4. График уровня режима Сионского водохранилища
1 – 1964÷1970 гг.; 2 – 1975÷1980 гг.; 3 – 1981÷1985 гг.;
4 – проектный; 5 – 1987÷1990 гг.; 6 – 2008 г., 2010 г.

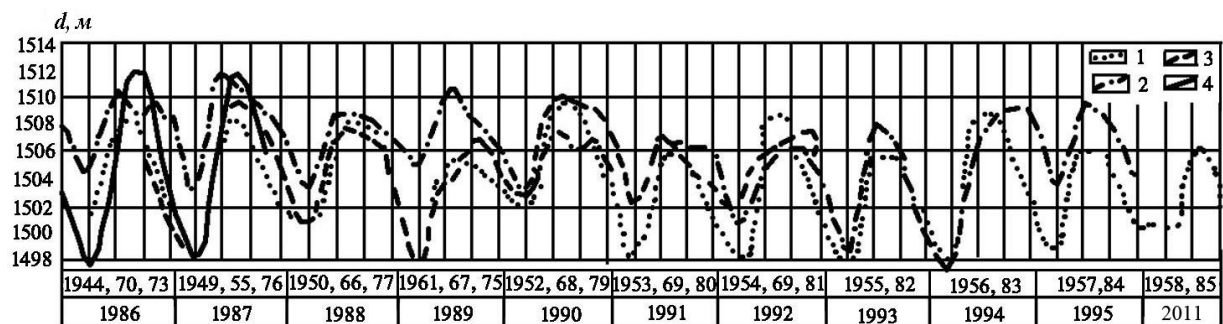


Рис. П.5. График уровня режима Храмского (Цалкского) водохранилища
1 – 1948 ÷ 1958 гг.; 2 – 1964 ÷ 1970 гг.; 3 – 1975 ÷ 1981 гг., 2011 г.; 4 – проектный график

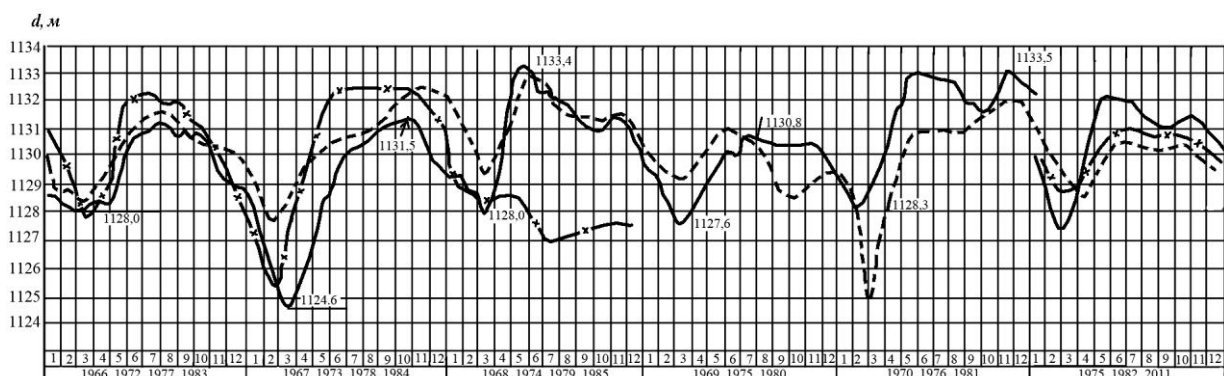


Рис. II.6. График уровня режима Шаорского водохранилища
 - - - 1966 ÷ 1970 г.; — 1977 ÷ 1982 г.; — x — 1983 ÷ 1985, 2011 г.

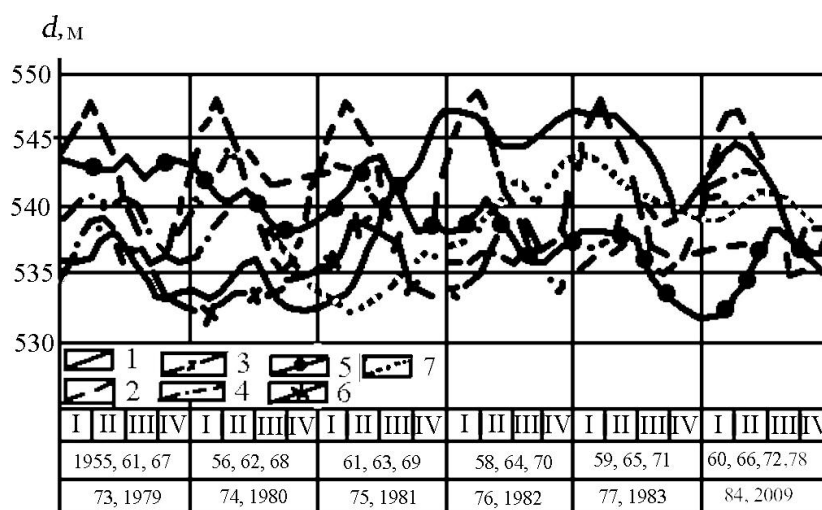


Рис. II.7. График уровня режима Тбилисского водохранилища
 1 – 1955 ÷ 1960 гг.; 2 – 1961 ÷ 1962 гг.; 3 – 1967 ÷ 1972 гг.; 4 – 1973 ÷ 1978 гг.; 5 – 1979 ÷ 1985 гг.;
 6 – проектный график; 7 – 2009 г.

Средневзвешенный расчетный уровень воды в водохранилище определяется по формуле:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n H_i t_i}{nT}, \quad (II.4)$$

где H_i – уровни воды в водохранилище в разные периоды, t_i – время стояния уреза в отдельных интервалах, n – число случаев изменения уровня, T – период осреднения.

Площадь водного зеркала и объем водохранилища на отдельных отметках определяются по зависимостям:

$$W = K_w \cdot H^{a_p}, \quad F = K_w^{a_p} \cdot a_p H^{a_p-1}, \quad (II.5)$$

где K_w – размерный коэффициент объема, $K_w = 1,6 - 2,5$; a_p – коэффициент рельефа, $a_p = 0,48 - 0,98$ (рис. II.8; табл. I.3.2.4).

Площадь зеркала горного водохранилища на данной отметке определяется по формуле:

$$F = K_w \cdot a_p \cdot H^{a_p-1} \quad (II.6)$$

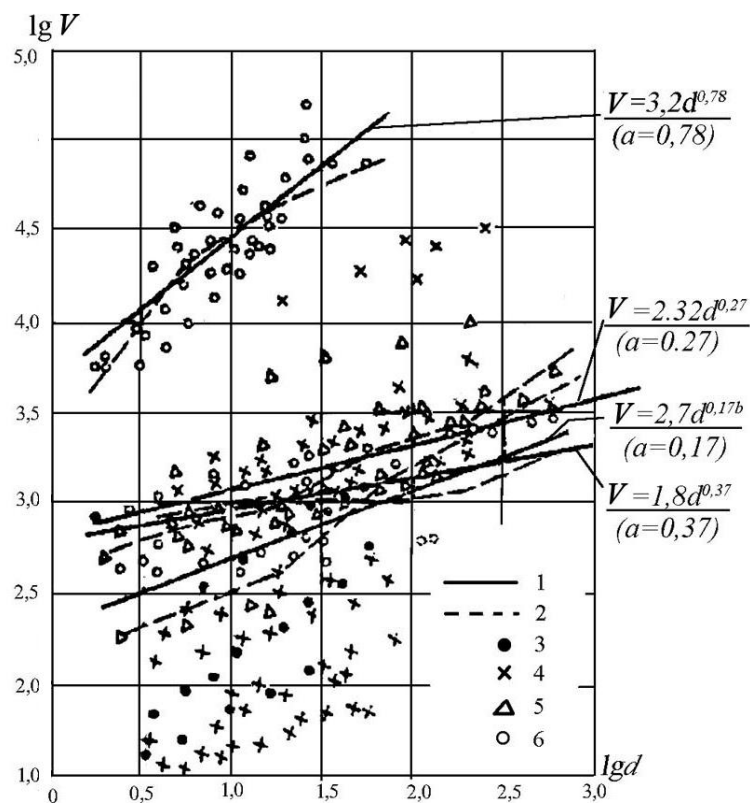


Рис. П.8. Зависимость объема (V) горного водохранилища от глубины (d) наполнения и коэффициента рельефа (a_p)

8. Специфика ветрового режима на горных водохранилищах заключается в большой изменчивости во времени по силе и направлению, а также в развитии значительных скоростей, обусловленных рельефом местности. Преобладающие скорости ветров достигают 15-20 м/сек, пиковые 30-40 м/сек.

9. При продвижении волны вверх по откосу высота ее увеличивается, достигнув критической глубины – волна забурунивается, гребень волны, получающий все большую крутизну, опрокидывается и волна разрушается. На крутых склонах горных водохранилищ *трехмерные* волны при выходе на глубины склонов с крутизной $m \geq 5$ не успевают перестраиваться в двухмерные, хотя форма и величина их трансформируется. Поэтому в этих условиях необходимо ввести характеристики, позволяющие произвести пересчет трехмерного волнения в эквивалентное ему двухмерное волнение.

Исследования на ряде горных водохранилищ показали, что характер волнения на уменьшающихся глубинах горных водохранилищ приближается к монохроматическому. Для практических расчетов взаимосвязь между характеристиками трехмерного и эквивалентного им элементам волн (h_i, λ_i) двухмерного волнения в зоне трансформации волн производится с помощью расчетных коэффициентов K_h, K_λ (табл. П.4).

Таблица П.4

Значение коэффициентов K_h, K_λ

Обеспеченность %	0,1	1	2	5	10	20	30	40	50	70
K_h	0,83	0,71	0,69	0,63	0,59	0,53	0,52	0,48	0,43	0,39
K_λ	1,04	0,88	0,84	0,76	0,71	0,60	0,58	0,54	0,49	0,40

Поле волн в мелководной зоне горных водохранилищ осложняется такими эффектами, как *отражение* волн от откоса, *дифракция* и *рефракция* волн.

– *Отражение* волн от откоса начинает проявляться при крутизне откоса $ctg \alpha \leq 4,7$.

Полное отражение волн определяется по критерию Мунка-Вимбуша с учетом второго приближения Стокса:

$$tg a_{cr} \geq \sqrt{2\pi^2 \frac{h_d}{\lambda_d} (1 + \chi h_d)}, \quad (II.7)$$

где $\chi = f(\tau, h_d)$.

В области волновой тени расчет дифракции производится с вводом повышающего коэффициента.

Рефракция волн наиболее резко сказывается в зоне трансформации и затем – в зоне обрушения и в прибойной зоне. Пересчет элементов волн в зоне трансформации в зависимости от угла подхода фронта волн к берегу производится с помощью коэффициента (K_s), значения которого приводятся в таблице II.5.

Таблица II.5

Значения коэффициентов K_s

α°	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
K_s	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,94	0,90	0,84	0,79	0,71

Крутые склоны горных водохранилищ обуславливают резкое увеличение глубин, что создает особые условия развития волновых процессов по 4-м зонам (рис. II.9): первая зона (зона трансформации волн) – расположена между глубинами $0,6\lambda_d > d_i > d_{cr}$, это зона действия статических нагрузок; вторая зона (зона обрушения волн) – расположена между глубинами $d_{cr} \geq d_i = \Delta_{фны}$, это зона действия динамических нагрузок; третья зона (зона волнового нагона) – расположена между глубинами $\Delta_{фны} = d_i \leq h_{вол}^{set}$; четвертая зона (прибойная) – расположена между глубинами $h_{рунуп} \geq d_i > h_{вол}^{set}$. При этом в связи со значительными колебаниями уровня воды в горных водоемах граница между зонами колеблется по откосу в зависимости от колебания уровня воды в водоеме.

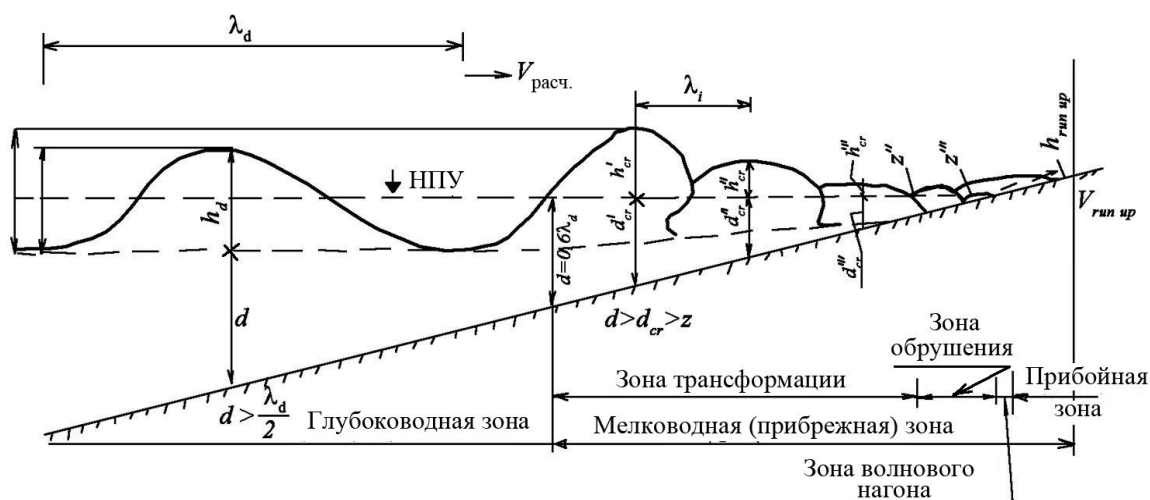


Рис. II.9. Зоны формирования волн на откосе горных водохранилищ

Крутизна откоса при $\alpha < 6^\circ$ в зоне трансформации практически не влияет. Увеличение уклона дна ($\alpha > 6^\circ$) в зоне трансформации способствует меньшей потере и рассредоточения энергии. В этой зоне происходит уплотнение волновой энергии, при этом высота растет, крутизна волны также увеличивается. Влияние увеличения уклона дна заметно на глубинах близких к зоне обрушения и в прибойной зоне. Волна в зоне обрушения при больших уклонах теряет больше энергию (высоту), в результате чего она находится в критическом состоянии.

Наиболее сильно сказывается увеличение уклона в прибойной зоне, где происходит смена циркуляционных течений, сопровождающих трансформацию волн. Здесь попутное течение способствует уменьшению высоты волны.

Шероховатость и пористость откоса – один из важнейших факторов, влияющих на изменение элементов волн на мелководье. Волна, попавшая в район мелководья, вследствие трения о шероховатое дно, уменьшает скорость своего движения. В зоне трансформации шероховатый склон способствует увеличению крутизны волны, ее высоты, а также уменьшению устойчивости волны. В зоне обрушения, потерявший устойчивость гребень волны обрушается, причем обрушение волн наступает раньше при больших значениях элементов, повышающих шероховатость откоса. В этих зонах влияние шероховатости дна оценивается соотношением высот волн на шероховатой и гладкой поверхности: $K_r^1 = \frac{h_{шер}}{h_{глад}}$, значения которого увеличиваются с уменьшением глубины и увеличением абсолютных размеров элементов повышающих шероховатость склона.

В прибойной зоне, где глубины гораздо меньше, прибойная волна под действием большего действия шероховатого дна может полностью гаситься и приобрести вид ныряющего или скользящего потока. Гашение высоты происходит на откосе при $tga \leq 10^{-3} \sqrt{2/3d_{cp}}$, где d_{cp} – средневзвешенный диаметр элементов шероховатости. Элементы шероховатости, оказывая "тормозной" эффект на прибойной поток, вызывают уменьшение скорости вскачивания волн и высоты наката на откос, волновой нагон при этом – максимален. В этой зоне влияние шероховатости оценивается коэффициентом шероховатости (соотношение высот наката волн на шероховатый и гладкий откос) $K_r = \frac{(h_{runup})_{шер}}{(h_{runup})_{глад}}$.

Накатывающий и скатывающий поток с откоса – сравнительно быстрый процесс, поэтому значение коэффициента шероховатости здесь больше, чем, например, для волн цунами – волн длинных и нескоротечных.

Т.о., обилие факторов, подлежащих учету при прогнозе элементов волн в различных зонах в условиях горных зон, обуславливает сложность расчетов и требует выделения особо важных и менее важных факторов.

Задача была решена на основе системного анализа гидрологических процессов [Иорданишвили И.К., 2000, 2001] с использованием центроидного метода [Окунь Я., 1976]. На основе банка данных волновых процессов на горных водохранилищах были составлены факторные матрицы с реализацией программы Microsoft Windows и выявления активных действующих факторов для каждого исследуемого процесса.

10. Особенности климатических показателей горных водохранилищ. Влияние климата на характер формирования системы "горные водохранилища – окружающая среда"

выражается в изменении количественных характеристик природных процессов на водохранилищах, расположенных в различных климатических зонах.

Территория Грузии характеризуется большим разнообразием – от климата вечных снегов и ледников до влажного субтропического и степного континентального. Значительные различия в высотах и пересеченности местности обуславливают разнообразие в величинах климатических показателей. Величина изменения температур зависит не только от абсолютной отметки местности, но и от формы рельефа. Средний из абсолютных минимумов температуры воздуха изменяется от 0° до 30°С, а максимум – от 12°С до 40°С. Продолжительность безморозного периода изменяется от 200 до 310 дней.

Насыщенность ветрами различных зон различна. Общий перенос воздушных масс происходит с запада на восток. Возмущающее действие поверхности и неравномерный нагрев суши и морей (Черного и Каспийского), горных плато и долин вносит нарушения в перенос воздушных масс в нижних слоях атмосферы и способствует развитию местных термических циркуляций, осложняющих ветровой режим. Характерными для региона (за исключением Колхидской низменности) являются горно-долинные ветры, достигающие больших скоростей – до 30-40 м/сек.

Вертикальная зональность в регионе выражена резко, что определяет необходимость подразделения территории на зоны: равнинную, предгорий, горную и межгорных впадин,

Детальные исследования, связанные с анализом климатических показателей, зональных условий и степени их воздействия стимулируют развитие отдельных процессов. К примеру, обводнение пород, их выветриваемости, развитие гидрографической сети и др. способствуют развитию гравитационных процессов, при исследовании которых необходим детальный анализ геологической обстановки и района высоких склонов.

Влияние горных водохранилищ на климатические показатели распространяется на небольшую территорию, равную площади водного зеркала водохранилища. Наблюдаются различия в природных поясах и зонах. Так, в зоне недостаточного увлажнения влияние положительное, но имеет меньшее значение, чем в зонах избыточного увлажнения.

Масштабы изменения климата существенно зависят от рельефа, параметров водоема и объема водной массы. Так, весной и летом горные водохранилища оказывают охлаждающее влияние на прибрежные территории, осенью – часто тепляющее.

11. Особенности береговых и седиментационных процессов на горных водохранилищах имеют специфический характер (рис. II.10). Образования аккумулятивного характера в прибрежной зоне редки. Вследствие большой крутизны склонов и периодического изменения уровней воды наносные отложения сносятся вниз по профилю ко дну или к подошве склона, что определяет интенсификацию заиления и занесения чаши водоемов. Вследствие изменчивости силы и направлений ветров, а также изрезанности береговой полосы, на горных водохранилищах не формируются явно выраженные вдольбереговые потоки наносов. Благодаря насыщенности горных водотоков наносами, интенсивность накопления отложений в верхнем бьефе высока.

Исследования интенсивности и характера развития процессов наносонакопления в водохранилищах Грузии дали возможность определить основные показатели развития этих процессов (рис. II.10; табл. II.6).

Распределение отложений по дну также различно. Так в Тбилисском водохранилище отложения скапливаются, в основном, во впадинах озер, в Сионском – вершина отложений

располагается у реки Укугмрти и выклинивается на расстоянии 2,5 км от плотины высотой заиления до 20,0 м, причем общая длина призмы отложений составляет 6,5 км. В Ткибульском водохранилище дно повысилось, а вдоль берегов образовались отмели. В Ладжанурском – слой наносов на дне у плотины достигает наибольшей мощности (до 45 м). На всех водоемах зафиксировано постепенное смещение отложений в сторону плотины. На Жинвальском водохранилище высота заиления 30,0 м, на Ингурском водохранилище высота заиления у плотины 40,0 м. Заиляющие потоки наблюдаются на водоемах с мелкими ($d < 0.02$ мм) илистыми наносами (Ладжанурское, Храмское, Сионское). Поскольку уклоны дна водохранилищ достаточно велики, движения этих потоков продолжается и после прохождения паводковых пиков рек (рис. II.11–II.20; табл. II.6).

Гуматское и Варцихское водохранилища почти полностью заилены.

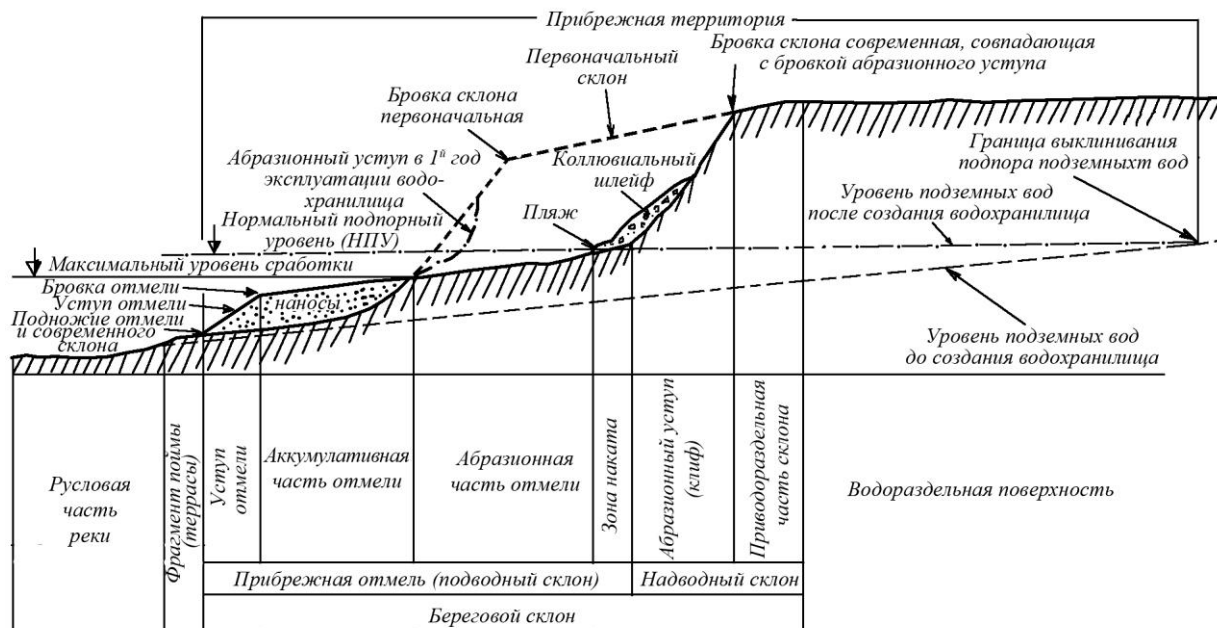


Рис. II.10. Схема строения прибрежной территории горных водохранилищ

Таблица II.6

Основные показатели занесения горных водохранилищ Грузии (к 2011 г.)

№	Название водохранилища	Полный объем водохранилища ($V_{полн}$), млнм ³	Год ввода в эксплуатацию	Отметка НПУ водохранилища, м	Длина (L), км	Ширина (B), км	Максимальная глубина в-ща, Н, м	Площадь зеркала в-ща при НПУ, км ²	Накопление наносов в год W_H/t , млн. м ³ /год	Общий объем наносов к 2011 г. (W_H), млнм ³	$\frac{W_H}{V_{полн}}$	Высота занесения у плотины, м	Тип водохранилища по заилению
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	Храмское	312,0	1949	1512,0	14,0/3,5	25,0	34,0	0,20	6,2	0,019	3,5	I	
2	Тбилиское	215,0	1956	548,0	9,2/2,0	45,0	11,8	0,20	6,5	0,03	5,0	I	
3	Шаорское	71,0	1955	1132,0	7,5/3,0	12,3	13,2	0,05	1,6	0,02	8,0	I	
4	Жинвальское	520,0	1985	810,0	12,0/1,0	98,0	11,52	2,5	65,0	0,12	30,0	II	

Таблица II.6 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	Сионское	325,0	1963	1068,0	11,5/2,0	68,0	11,4	0,77	24,75	0,077	20,0	II
6	Алгетское	65,0	1983	792,5	4,2/1,2	72,0	2,3	0,13	3,7	0,06	10,0	II
7	Ингурское	1092,0	1978	510,0	30,0/1,6	230,0	13,48	3,73	123,0	0,11	40,0	II
8	Ладжанурское	24,6	1960	494,0	3,2/0,45	67,8	1,4	0,64	20,8	0,83	45,0	III
9	Варцихское	14,6	1976	87,0	4,0/3,0	8,0	5,07	0,12	14,6	1,0	8,0	III
10	Гуматское	39,0	1958	200,0	8,0/0,6	30,0	2,4	0,05	39,0	1,0	30,0	III

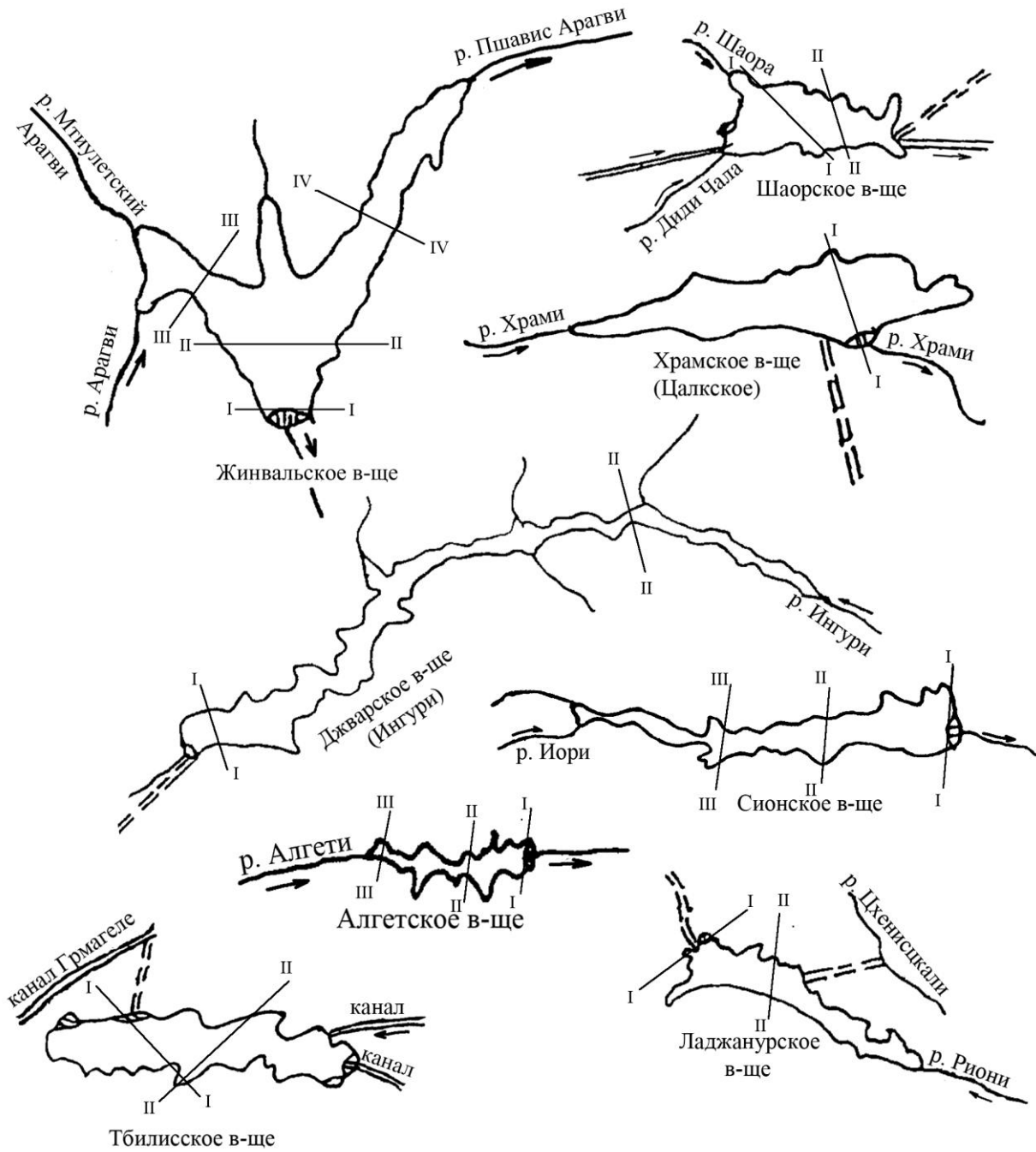


Рис. II.11. Схема расположения поперечников для замеров заиления на Жинвальском, Шаорском, Храмском, Ингурском, Сионском, Алгетском, Тбилисском и Ладжанурском водохранилищах

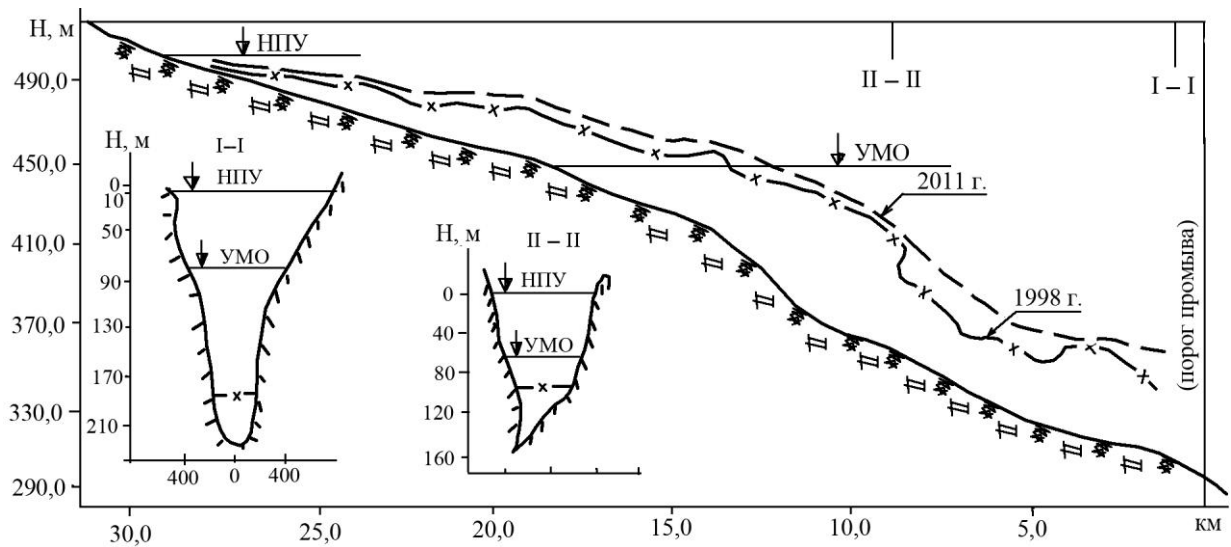


Рис. II.12. Заиление на Ингурском водохранилище

— x — 1988 г. - - - 2012 г.

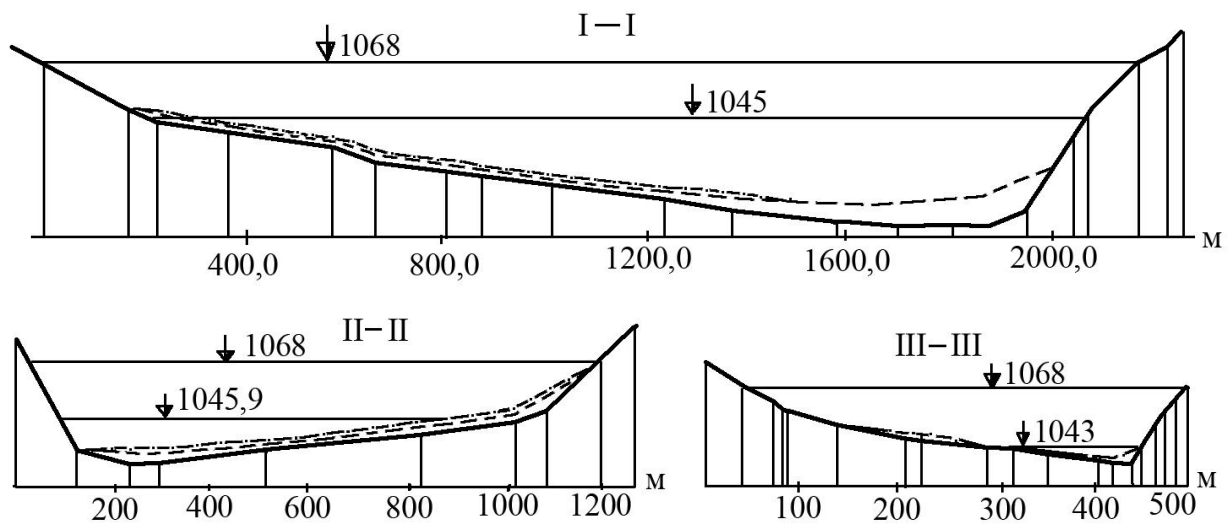


Рис. II.13 Заиление на Сионском водохранилище

— проектное; - - - 1990 г. - • - • - 2011 г.

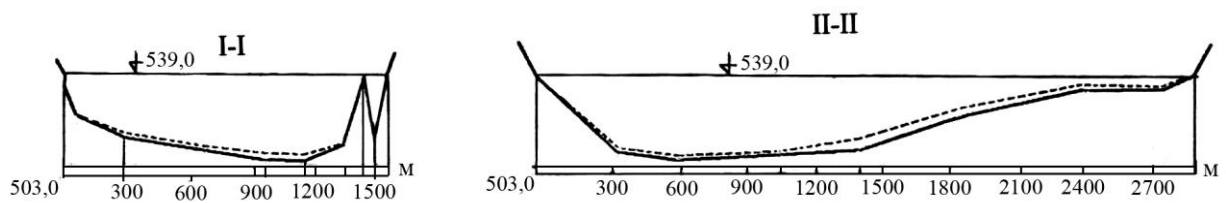


Рис. II.14. Заиление на Тбилисском водохранилище

— проектное; - - - 2011 г.

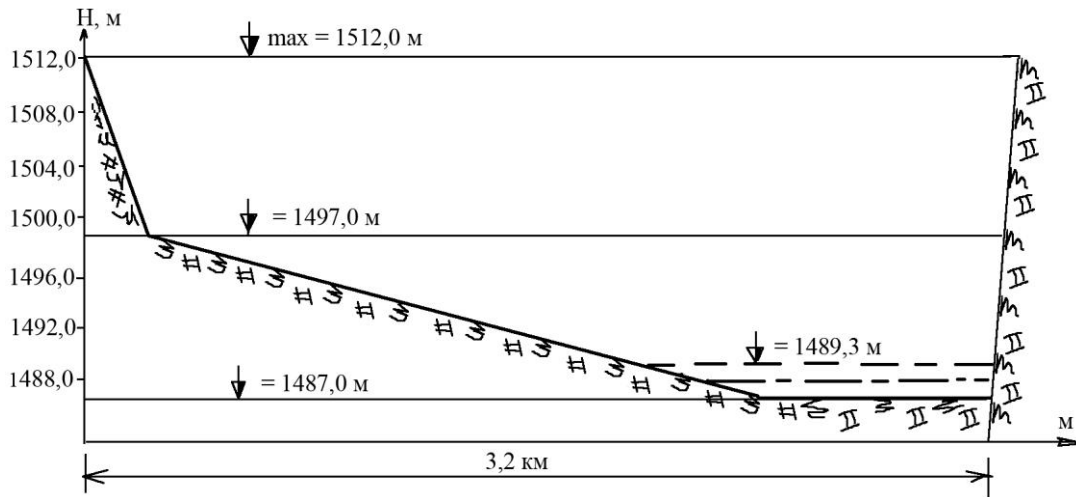


Рис. П.15. Заиление на Храмском (Цалкском) водохранилище
 — — — — — проектное; — • — • — 1995 г., — — — — — 2011 г.

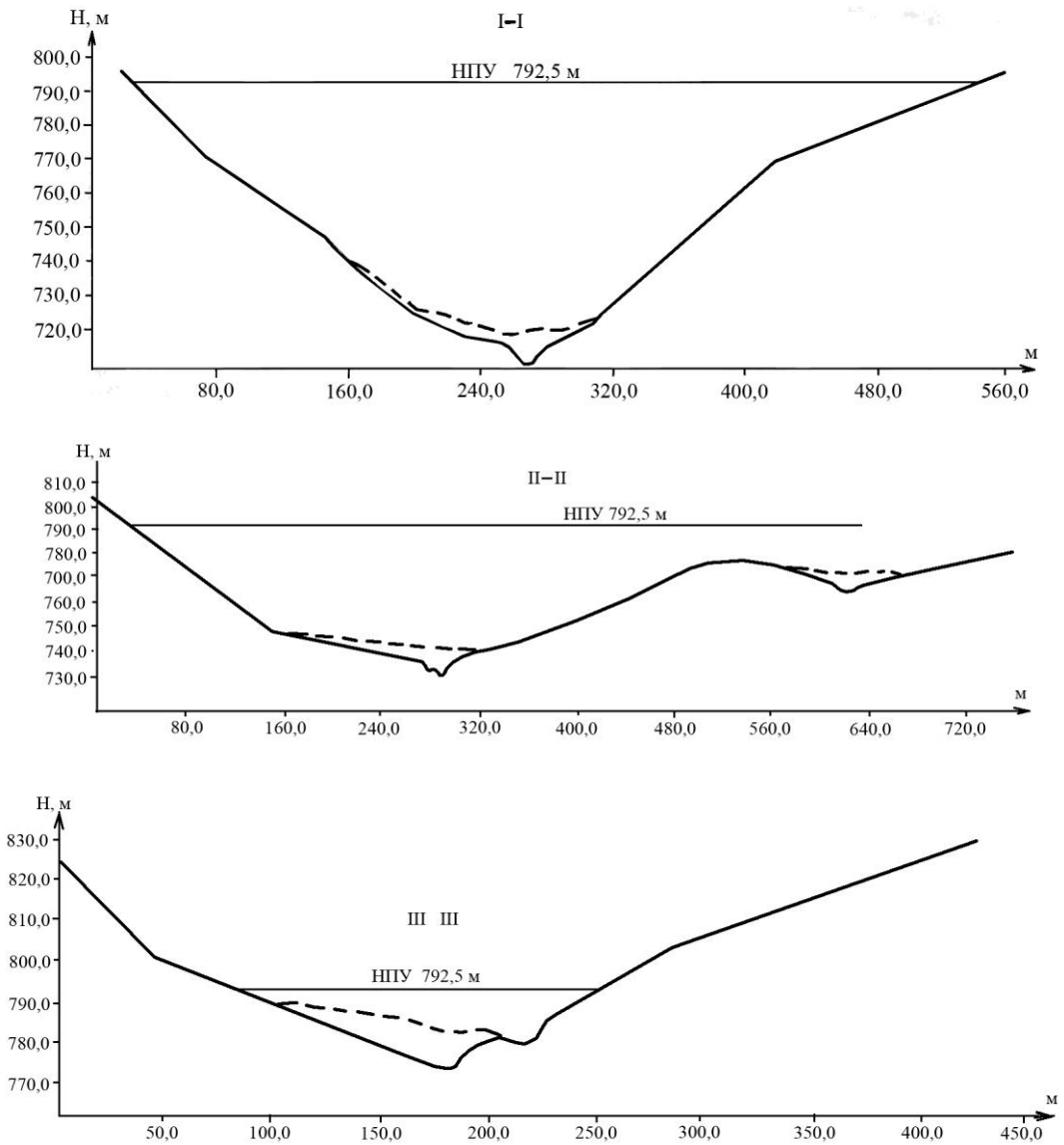


Рис. П.16. Заиление на Алгетском водохранилище
 — — — — — проектное; — — — — — 2011 г.

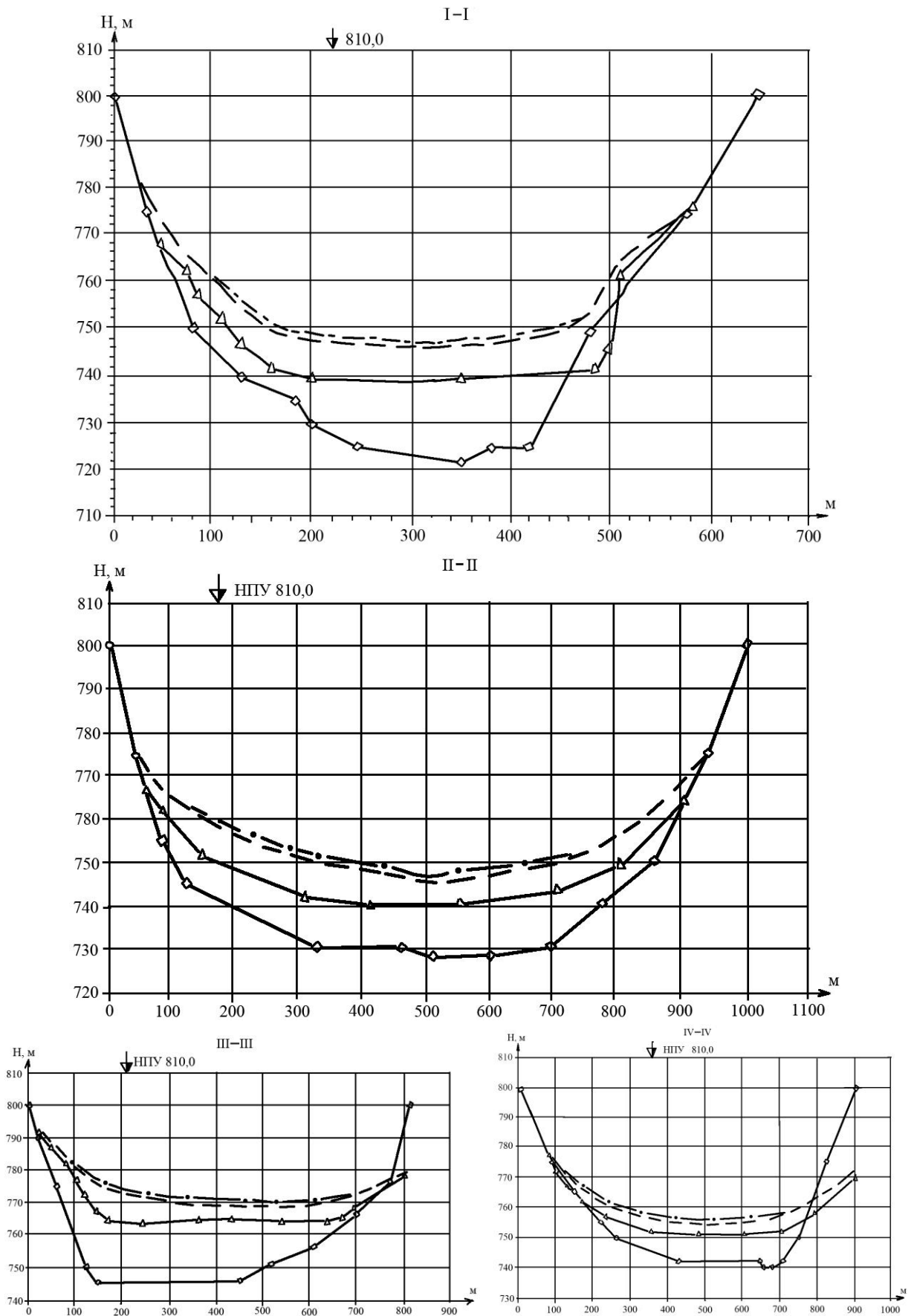


Рис. II.17. Заиление на Жинвальском водохранилище
 — о — проектное; — ▽ — 2003 г.; — — — 2010 г.; — • — 2011 г.

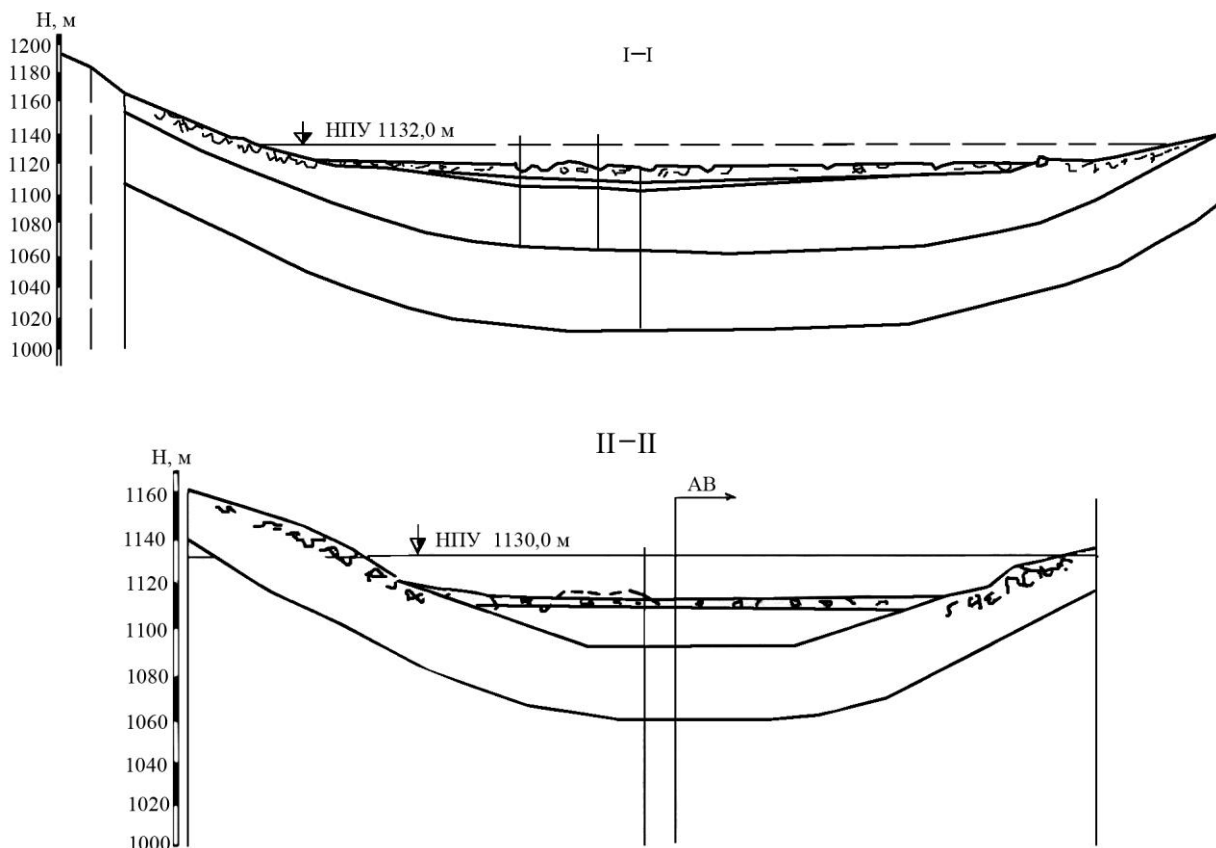


Рис. II.18. Заиление на Шаорском водохранилище
 — проектное; - - - 2011 г.

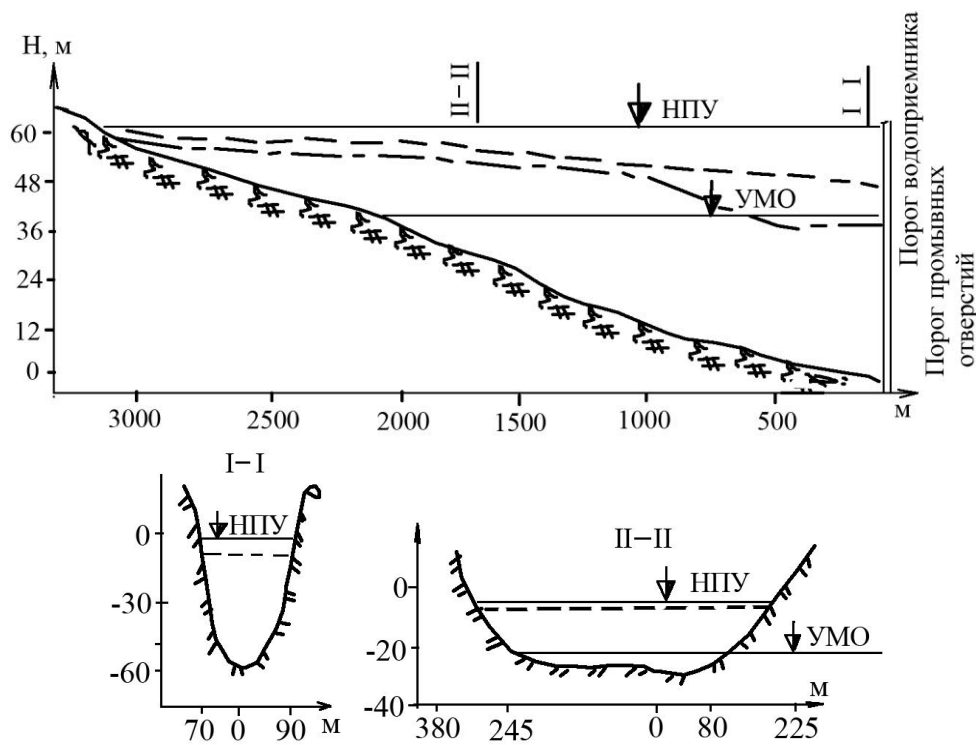


Рис. II.19 Заиление на Ладжанурском водохранилище
 — • — 1985 г., - - - 2011 г.

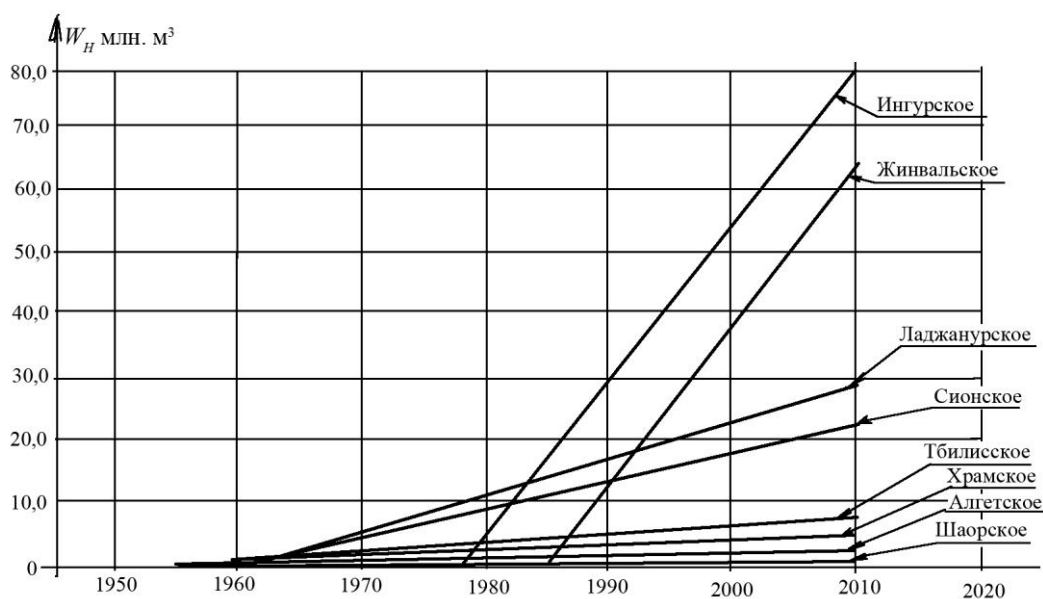


Рис. 11.20. Изменение объема заиливания на ряде водохранилищ Грузии

12. Ледовые явления на берегах горных водохранилищ, сопровождаемые сработкой уровня, почти совсем не изучены. В опубликованных работах, в основном, рассматриваются особенности ледяного покрова на равнинных водохранилищах и некоторые данные о разрушении берегов при торошении льда. В этом случае основным фактором, влияющим на переработку берега, является вспахивающее действие льда при воздействии волн насыщенных его осколками. Влияние этого фактора сказывается, в основном, на переработке берегов сложенных четвертичными отложениями. Для берегов сложенных коренными породами более существенным является ледовая абразия, связанная с вертикальным перемещением ледяного покрова и воздействием замерзающей воды в порах и трещинах.

Как показывают наблюдения на горных водохранилищах водохранилища (Храмское, Шаорское, Сионское), кромка льда у уреза прочно смерзается с породами берега, причем максимальная ее толщина приурочена к прибрежной зоне.

Опускание ледяного покрова при сработке сопровождается возникновением растягивающих напряжений, под действием которых происходят разрывы покрова у берега. В случае, когда прочность сцепления грунта меньше прочности смерзания его со льдом, деформации сдвига развиваются в толще грунта, ниже зоны его промерзания и вызывают скалывание отдельных блоков породы.

Аналогичная картина наблюдается на Сионском водохранилище, где в наиболее холодные зимы толщина льда у берега достигает 30 см, а сработка уровней в период ледостава доходит до 6-10 м.

Деформации увеличиваются при увеличении трещиноватости и пористости породы, т.к. прочность смерзания возрастает с увеличением раздробленности породы, а отслоение блоков от массива облегчается в связи с расширением замерзающей в порах и трещинах воды.

III. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДОХРАНИЛИЩНЫХ СИСТЕМ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

III.1. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕТРО-ВОЛНОВОГО РЕЖИМА НА ГОРНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ

В условиях горных регионов при обработке показателей ветрового режима необходима их градация по группам $V_c = 15-20$ м/сек, $20-25$ м/сек, $25-30$ м/сек, $30-35$ м/сек и $35-40$ м/сек.

При определении элементов ветровых волн и волнового нагона на горных водохранилищах обеспеченности расчетного шторма должны приниматься с учетом класса сооружения, а именно: для сооружения I и II классов обеспеченность не более 2%, а для III и IV класса – не более 4÷5%.

Для определения достоверности волновых характеристик необходим учет изменения скорости ветра над водной поверхностью при проявлении экранирующего эффекта высоких склонов на водохранилищах горных регионов. Скорость ветра над водной поверхностью водохранилищ (V_B) может быть определена по формуле: $W_B = V_C K_w$, где значение переходного коэффициента K_w определяется по графику (рис. III.1.1).

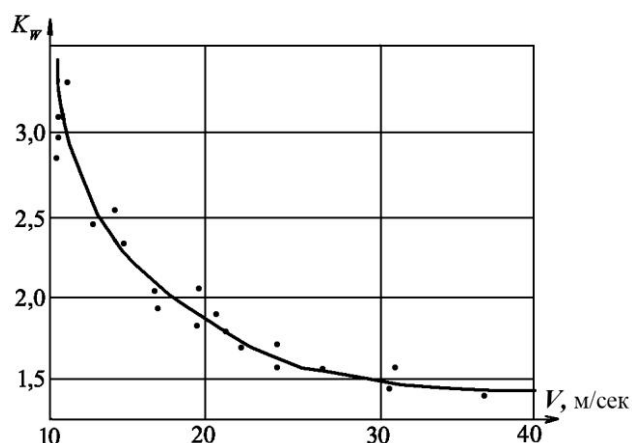


Рис. III.1.1. Определение скорости ветра над водной поверхностью

При расчетах элементов волн на откосе следует выделить четыре основные зоны:

- глубоководную, в пределах глубин $H > 0,5\lambda_d$;
- мелководную, глубиной $0,5\lambda_d \geq H > d_{кр}$;
- прибойную, в пределах которой начинается и завершается разрушение волн;
- приурезовую или зону наката, глубиной менее $H_{кр}$.

Для обеспечения точности расчетов в состав волновых характеристик должны входить определения: элементов волн на глубокой воде, на мелководье, в приурезовой прибойной зонах; ветро-волнового нагона; суммарной энергии волнения на подходе к береговому откосу.

Анализ материалов натуральных исследований на горных водохранилищах Грузии, позволил установить, зависимость высоты волн (\bar{h}_e) от скорости ветра (v_c) и длины разгона (D_p):

$$\bar{h}_g = A_g v_C^{1,2} H^{0,4}, \quad (\text{Ш.1.1})$$

где A_g – корректирующий коэффициент, определяемый морфологическими показателями водохранилища, который в условиях горных регионов может быть представлен в виде $A_g = (0,022 \div 0,016) \cdot a_p$. Значение A_g , в зависимости от коэффициента рельефа (a_p), может быть определено по таблице Ш.1.1.

Таблица Ш.1.1

Соотношение корректирующих коэффициентов A_g от a_p

a_p	0,78	0,51	0,37	0,27	0,16
A_g	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018

Период и длина волны могут быть определены по зависимостям:

$$T = 4,08 \bar{h}_d^{0,59}; \quad \bar{\lambda}_d = \frac{0,42 T^2}{2\pi}. \quad (\text{Ш.1.2})$$

Профиль волн на горных водоемах отличается от трохоида более острыми вершинами и пологими подошвами. Наибольшие отклонения наблюдаются при больших скоростях ветров, в связи с повышением нерегулярности волнового режима. Это положение определяет также неполное соответствие теоретической зависимости наблюдаемому в натуре соотношению периода и длины волны.

По данным наблюдений при увеличении длины разгона и уменьшении скорости ветра *пологость* волны увеличивается. Нерегулярность в развитии волнового режима на горных водоемах проявляется достаточно явно. Элементы волн в непрерывных их группах изменяются в значительных пределах.

Обеспеченность высот волн увязывается с медианными значениями высот волн (\bar{h}). На основе обработки материалов наблюдений на ряде водохранилищ Грузии построены обобщенные графики зависимости относительных высот волн (h/\bar{h}) от их обеспеченности ($P\%$), которые могут быть использованы для расчетов степени нерегулярности волнения на водоемах горного типа в условиях малых разгонов ($L < 7$ км) и больших скоростей ветра (v_C до 35÷40 м/сек) (рис. Ш.1.2). Характер распределения высот волн описывается кривой Пирсона 3-го типа.

Отношение средней высоты трехмерной волны (\bar{h}_T) к средней высоте волны (\bar{h}) при различной обеспеченности волнения ($P\%$) может изменяться в пределах от 1,07 до 1,75:

Распределение относительных высот волн

$P\%$	0,1	1,0	5,0	10	20	30	50	70	90
\bar{h}_T / \bar{h}	1,07	1,10	1,14	1,18	1,2	1,23	1,3	1,42	1,73

При сработке уровня воды в горных водохранилищах распределение высот волн выравнивается, спектр сужается, и характер волнения приближается к монохроматическому (рис. Ш.1.3).

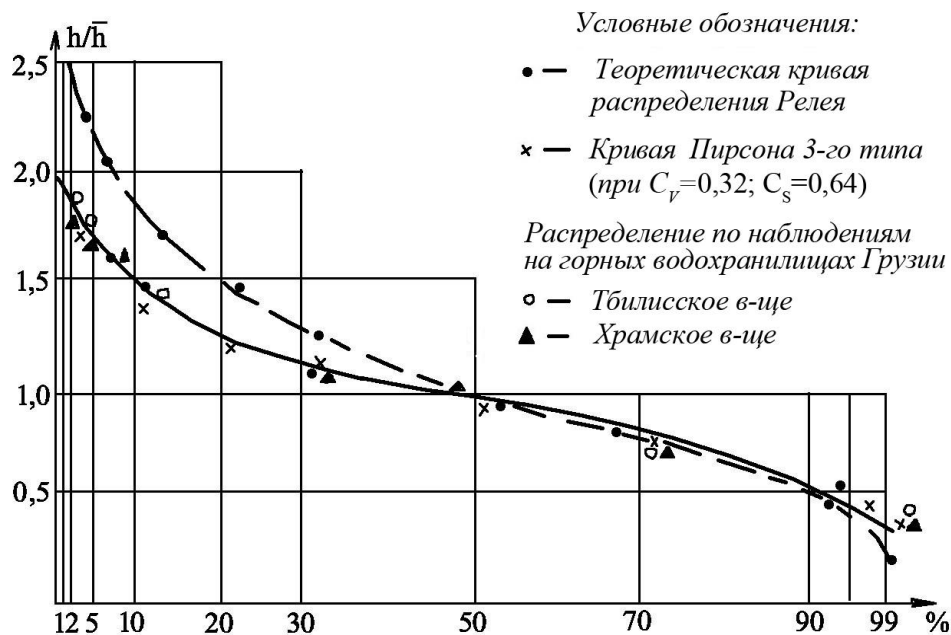


Рис. III.1.2. Распределение относительных высот волн на горных водохранилищах и сопоставление с теоретическими



Рис. III.1.3. Изменение распределения относительных высот волн с изменением относительной глубины в месте замеров (средненные данные). Обозначение: $h_x = h / H$

Значение пределов изменения пологости волн (λ/h) на горных водохранилищах при различной обеспеченности — $\frac{\lambda}{h} = 6 \div 20$ (рис. III.1.4).

Обеспеченность периода волн на горных водохранилищах достаточно близко сходится с данными на равнинных водохранилищах (рис. III.1.5).

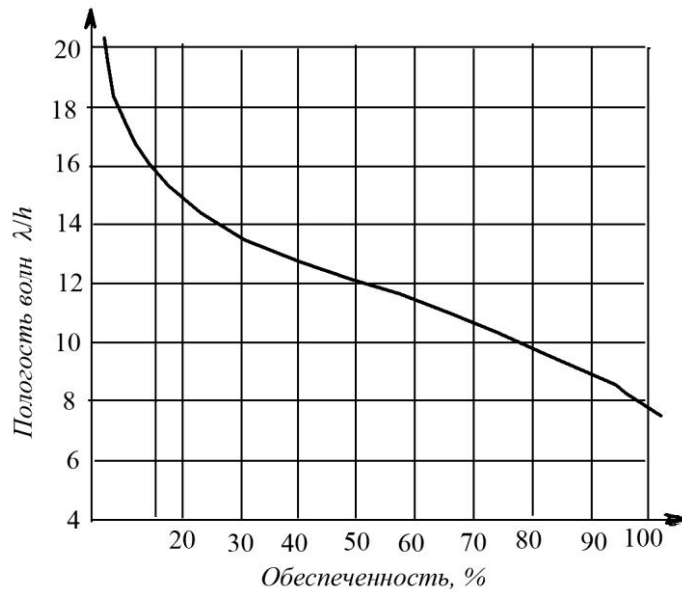


Рис. III.1.4. Осредненная эмпирическая кривая обеспеченности пологости волн на горных водохранилищах

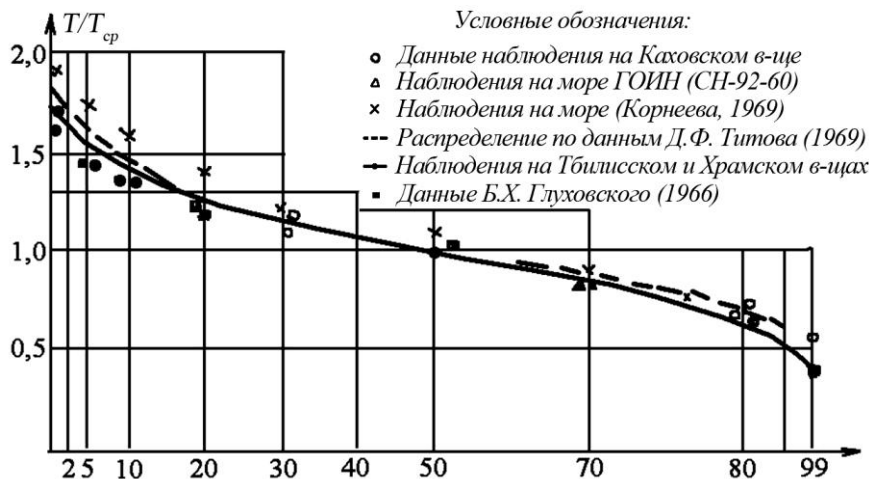


Рис. III.1.5. Распределение относительного периода волн на горных водохранилищах и сопоставление с характером распределения на других водоемах и теоретическими данными

Обобщающие графики распределения относительных элементов волн (высоты, периода, пологости) рекомендуется для расчета на горных водохранилищах в условиях малых разгонов ($L \leq 5$ км) и больших скоростей ветра ($v_C < 34$ м/сек). Большая изменчивость направления и силы ветра препятствует формированию установившегося волнения. Наибольшей нерегулярностью отличается нарастающее волнение.

Распределение высот волн в прибрежной зоне с достаточной точностью аппроксимируется зависимостью Б.Х.Глуховского, которая имеет вид:

$$F(K_h) = \exp \left[- \frac{\pi}{4 \left(1 + \frac{h_x}{\sqrt{2\pi}} \right)} \left(\frac{h}{h} \right)^{\frac{2}{1-h_x}} \right], \quad (\text{III.1.3})$$

где $h_x = h/H$; а при $H = 2h$ (на границе обрушения волн):

$$F\left(\frac{h}{h}\right) = \exp\left[-\frac{\pi}{4.8} \left(\frac{h}{h}\right)^4\right], \quad (\text{Ш.1.4})$$

Высоту волн i -той обеспеченности определяют умножением средней высоты волны на коэффициент "К" (табл. Ш.1.2), установленный по замерам на горных водохранилищах в условиях разгонов менее 10 км и скоростях ветра более 25 м/сек.

Таблица Ш.1.2

Распределение относительных элементов волн

Расчетный элемент волны	Относительное значение элемента волн при различной степени обеспеченности									Примечание
	1%	2%	5%	10%	20%	30%	50%	70%	95%	
Длина волны	1,82	1,69	1,61	1,50	1,32	1,13	0,98	0,70	0,41	
Период волны	1,64	1,59	1,49	1,38	1,22	1,10	0,96	0,82	0,38	
Высота волны при $h_d/H = 0,05$	2,12	1,97	1,88	1,77	1,48	1,23	0,95	0,61	0,23	Макс.
	1,59	1,48	1,43	1,35	1,25	1,13	0,97	0,71	0,45	Мин.
	1,79	1,68	1,57	1,47	1,31	1,18	0,96	0,81	0,38	Сред.
при $h_d/H = 0,25$	2,01	1,87	1,71	1,55	1,36	1,21	0,98	0,77	0,49	Макс.
при $h_d/H = 0,50$	1,63	1,51	1,46	1,37	1,25	1,16	1,01	0,86	0,63	Макс.

В береговой зоне горных водохранилищ с изменением угла наклона берега и уменьшением глубины меняется как характер поверхности волн, так и их трансформация [Иорданишвили И.К., 2004].

На основе проведенных исследований предложены прогностические зависимости для предвычисления элементов волн по выделенным зонам (рис. П.1.9).

В зоне трансформации с учетом превалирующих факторов высота волны n -ой обеспеченности ($h_{i,n}$) определяется по зависимости:

$$h_{i,n} = h_d \cdot f(h_i/h_d) \cdot K_r \cdot K_n, \quad (\text{Ш.1.5})$$

где $f(h_i/h_d) = K \cdot f(\lambda_d/h_d) \cdot f(m) \cdot f(d/\lambda_d)$ рассчитывается по формулам (табл. Ш.1.3), вспомогательным графикам (рис. Ш.1.6) и номограммам (рис. Ш.1.7); значения "К" берутся по таблице Ш.1.4, K_r – коэффициент шероховатости, K_n – коэффициент обеспеченности.

Длина и период волны в зоне трансформации для условий горных водохранилищ принимаются равным таковым на глубоководье:

$$\lambda_i = \lambda_d, \quad t_i = t_d \quad (\text{Ш.1.6})$$

В зоне обрушения – критическая глубина воды (d_{cr}) рассчитывается по зависимости:

$$d_{cr} = \lambda_d \cdot f(d_{cr}/d_d) \cdot a_z \cdot K_r, \quad (\text{Ш.1.7})$$

где $f(d_{cr}/\lambda_d) = K \cdot f(m) \cdot f(h_d/\lambda_d)$ рассчитываются по формулам (табл. Ш.1.5), вспомогательным графикам (рис. Ш.1.8) или номограммам (рис. Ш.1.9); значения "К" берутся по таблице Ш.1.6; $a_z = 1,5$ – масштабный коэффициент; K_r – коэффициент шероховатости.

Таблица III.1.3

Эмпирические формулы высоты волны при ее трансформации

$\frac{h_d}{\lambda_d}$	m	$\frac{h}{h_d} = k \cdot f\left(\frac{d}{\lambda_d}\right) \cdot f(m) \cdot f\left(\frac{h_d}{\lambda_d}\right)$
1	2	3
0,03÷0,05	9,51÷6,31	$h/h_d = 0,8[-144,7(d/\lambda_d)^2 + 16,7(d/\lambda_d) + 0,8] \cdot [-7375,9(1/m)^3 + 2711,3(1/m)^2 - 300,8(1/m) + 144] \cdot [457,1(h_d/\lambda_d)^2 - 43,6(h_d/\lambda_d) + 2,2]$
0,03÷0,05	6,30÷3,08	$h/h_d = 0,8[558,4(d/\lambda_d)^2 - 77,2(d/\lambda_d) + 3,8] \cdot [567,9(1/m)^3 - 422,3(1/m)^2 + 101,4(1/m) - 6,7] \cdot [240,8(h_d/\lambda_d)^2 - 21,7(h_d/\lambda_d) + 1,6]$
0,03÷0,05	3,07÷0,9	$h/h_d = 0,7[-61,3(d/\lambda_d)^2 + 1,1(d/\lambda_d) + 1,5] \cdot [1,1(1/m)^3 - 9,0(1/m)^2 + 5,7(1/m) + 0,3] \cdot [288,3(h_d/\lambda_d)^2 - 26,9(h_d/\lambda_d) + 1,8]$
0,06÷0,1	9,5÷0,9	$h/h_d = 0,7[-0,5(d/\lambda_d)^2 + 0,8(d/\lambda_d) + 1,7] \cdot [-0,4(1/m)^2 - 0,3(1/m) + 1,1] \times [500,0(h_d/\lambda_d)^2 - 80,0(h_d/\lambda_d) + 4,2]$

Таблица III.1.4

Значения корректирующих коэффициентов "К" при расчете высоты трансформации волны

Расчетный элемент	(ctg α)		
	9,51÷6,31	6,30÷3,08	3,07÷1,54
h	0,8	0,8	0,7

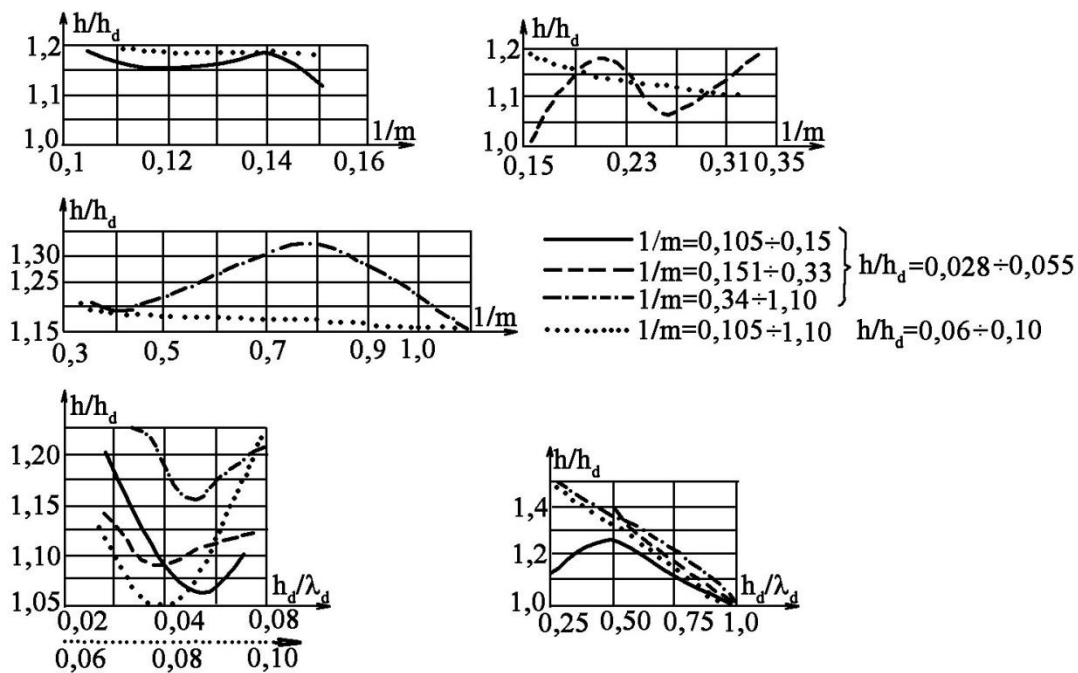


Рис. III.1.6. Расчетные графики высоты волны при ее трансформации

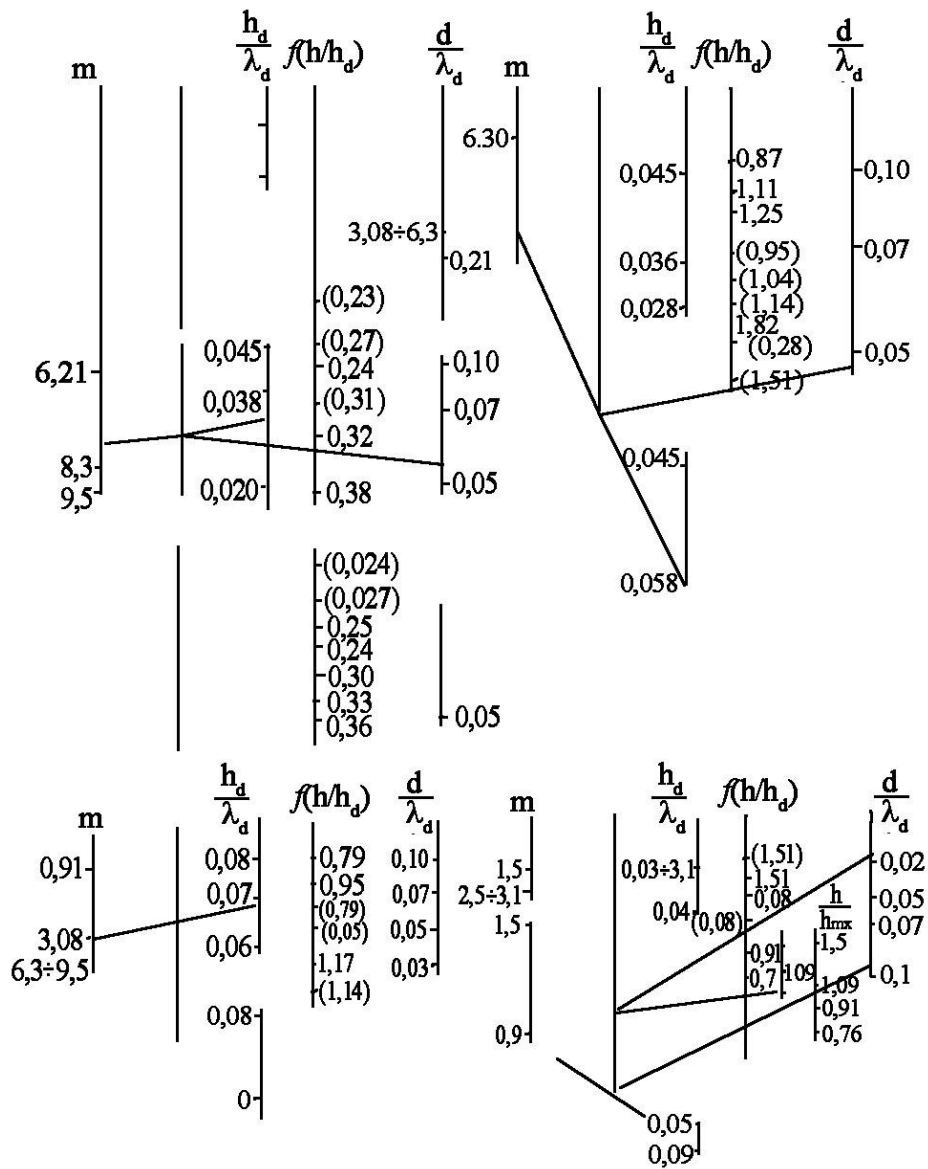


Рис. III.1.7. Номограмма для расчета – $f(h_i / h_d)$

Таблица III.1.5

Расчетные формулы критической глубины (d_{cr})

$\frac{h_d}{\lambda_d}$	m	$\frac{d_{cr}}{\lambda_d} = k \cdot f_1(m) \cdot f_2\left(\frac{h_d}{\lambda_d}\right)$
1	2	3
0,03÷0,055	9,51÷6,31	$d_{cr}/\lambda_d = 7,0[-0,8(1/m)^2] \cdot [35,1(h_d/\lambda_d)^3 + 44,8(h_d/\lambda_d)^2 - 3,6(h_d/\lambda_d) + 0,1]$
0,03÷0,05	6,30÷3,08	$d_{cr}/\lambda_d = 7,0[-0,8(1/m)^2] \cdot [35,1(h_d/\lambda_d)^3 + 44,8(h_d/\lambda_d)^2 - 3,6(h_d/\lambda_d) + 0,1]$
0,03÷0,05	3,07÷1,54	$d_{cr}/\lambda_d = 3,0[0,1(1/m)] \cdot [-87,8(h_d/\lambda_d)^3 + 27,2(h_d/\lambda_d)^2 - 2,2(h_d/\lambda_d) + 0,1]$
0,06÷0,1	9,51÷1,54	$d_{cr}/\lambda_d = 2,9[1,7(1/m)^2 - 0,6(1/m) + 0,2] \cdot [-31,2(h_d/\lambda_d)^2 + 5,2(h_d/\lambda_d) - 0,2]$

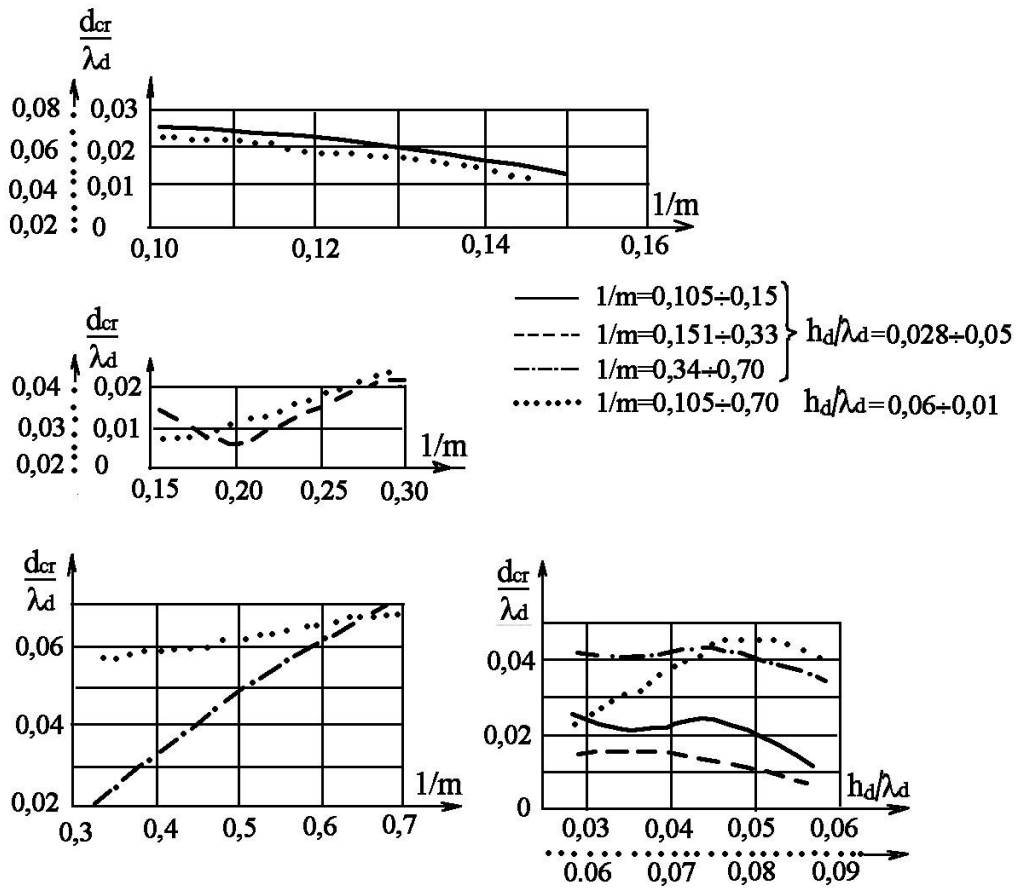


Рис. III.1.8. Вспомогательные графики для расчета критической глубины (d_{cr})

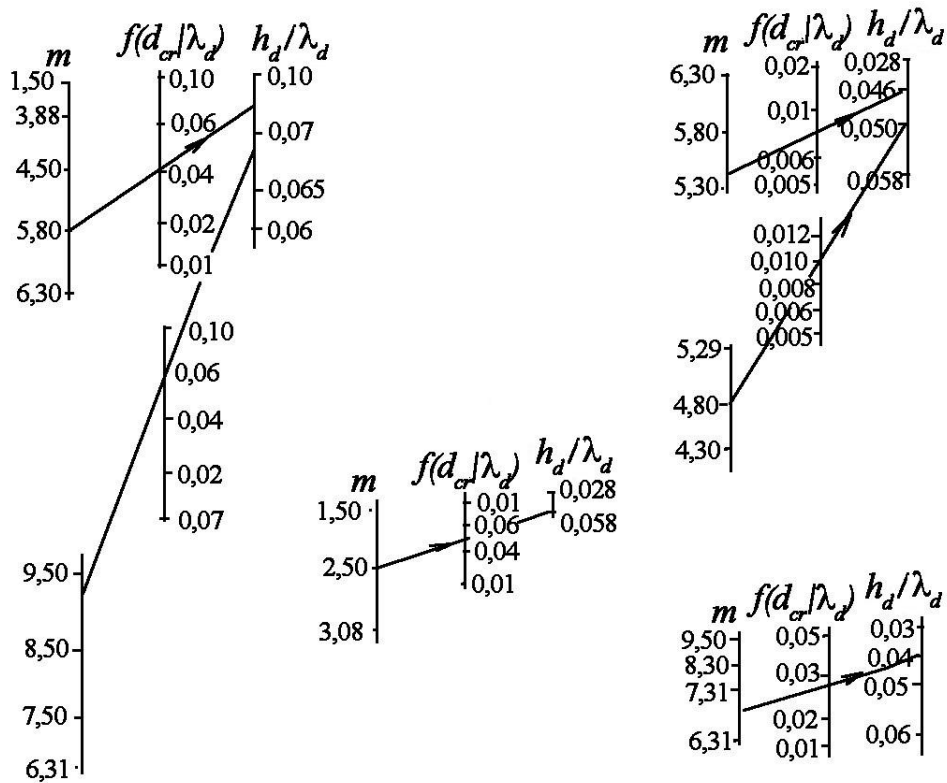


Рис. III.1.9. Расчетные номограммы $f(d_{cr}/\lambda_d)$

Таблица Ш.1.6

Значения корректирующих коэффициентов "К"
для расчета критической глубины (d_{cr})

$\begin{matrix} h_d/\lambda_d \\ m \end{matrix}$	0,028	0,06	0,036	0,07	0,045	0,08	0,054	0,1
9,51	1,50	0,5	4,1	0,56	6,3	0,66	15,0	1,2
6,30	1,80	–	5,2	–	14,2	–	13,4	–
3,07	0,90	–	1,8	–	3,4	–	5,5	–
3,14	6,80	–	11,6	–	1,7	–	4,3	–
6,30	–	2,7	–	3,0	–	2,9	–	3,0
4,71	23,0	–	32,0	–	1,8	–	1,6	–
2,36	3,90	–	6,2	–	0,7	–	2,1	–
7,12	4,10	–	1,2	–	10,0	–	9,4	–
3,73	5,50	–	1,8	–	1,0	–	16,8	–
3,08	–	1,8	–	2,5	–	3,3	–	4,9
1,88	2,70	–	0,9	–	4,3	–	3,4	–
6,31	19,0	–	9,6	–	5,0	–	0,9	–
3,08	12,0	–	8,4	–	5,1	–	5,0	–
1,54	3,10	6,2	3,5	4,6	3,3	3,2	0,9	5,9

Критическая высота волны (h_{cr}) рассчитывается по зависимости:

$$h_{cr} = h_d f(h_{cr}/h_d) a_z K_r, \quad (\text{Ш.1.8})$$

где $f(h_{cr}/h_d) = K \cdot f(m) \cdot f(h_d/\lambda_d)$ рассчитываются по формулам (табл. Ш.1.7), вспомогательным графикам (рис.Ш.1.10) или номограммам (рис.Ш.1.11); значения "К" берутся по таблице Ш.1.8; $a_z = 1,5$ – масштабный коэффициент; K_r – коэффициент шероховатости.

Таблица Ш.1.7

Расчетные формулы критической высоты (h_{cr})

$\frac{h_d}{\lambda_d}$	m	$\frac{h_{cr}}{h_d} = k \cdot f_1(m) \cdot f_2\left(\frac{h_d}{\lambda_d}\right)$
0,03÷0,055	9,5÷6,31	$h_{cr}/h_d = 1,8[-2,5(1/m)+0,9] \cdot [428,9(h_d/\lambda_d)^2 - 40,5(h_d/\lambda_d) + 1,5]$
0,03÷0,05	6,30÷3,08	$h_{cr}/h_d = 1,9[37,8(1/m)^2 - 17,4(1/m) + 2,3] \cdot [-94,3(h_d/\lambda_d)^2 + 8,4(h_d/\lambda_d) + 0,4]$
0,03÷0,05	3,07÷1,54	$h_{cr}/h_d = 1,1[0,9(1/m) + 0,42] \cdot [-34792,6(h_d/\lambda_d)^3 + 4225,9(h_d/\lambda_d)^2 - 168,3(h_d/\lambda_d) + 3,1]$
0,06÷0,1	9,5÷1,54	$h_{cr}/h_d = 1,3[2,8(1/m)^2 - 0,5(1/m) + 0,5] \cdot [162,5(h_d/\lambda_d)^2 - 16,3(h_d/\lambda_d) + 1,1]$

Таблица III.1.8

Значения корректирующих коэффициентов (K) для критической высоты (h_{cr})

$m \backslash h_d/\lambda_d$	0,028	0,06	0,036	0,07	0,045	0,08	0,054	0,1
9,51	1,2	1,2	1,9	1,4	2,0	1,5	2,1	1,7
6,30	1,08	—	2,1	—	2,4	—	2,3	—
3,07	0,78	—	1,1	—	1,32	—	1,4	—
3,14	2,1	—	2,1	—	1,2	—	1,8	—
6,30	—	1,7	—	1,5	—	1,12	—	1,7
4,71	3,3	—	2,1	—	1,4	—	1,7	—
2,36	1,4	—	1,24	—	0,82	—	1,1	—
7,12	1,8	—	1,3	—	1,8	—	2,1	—
3,73	2,1	—	1,2	—	2,1	—	2,0	—
3,08	—	1,3	—	1,1	—	0,85	—	1,15
1,88	1,1	—	0,65	—	1,35	—	1,4	—
6,31	1,8	—	2,3	—	1,8	—	1,1	—
3,08	2,3	—	2,2	—	1,8	—	1,3	—
1,54	1,48	0,85	1,5	1,65	1,2	1,6	0,7	1,1

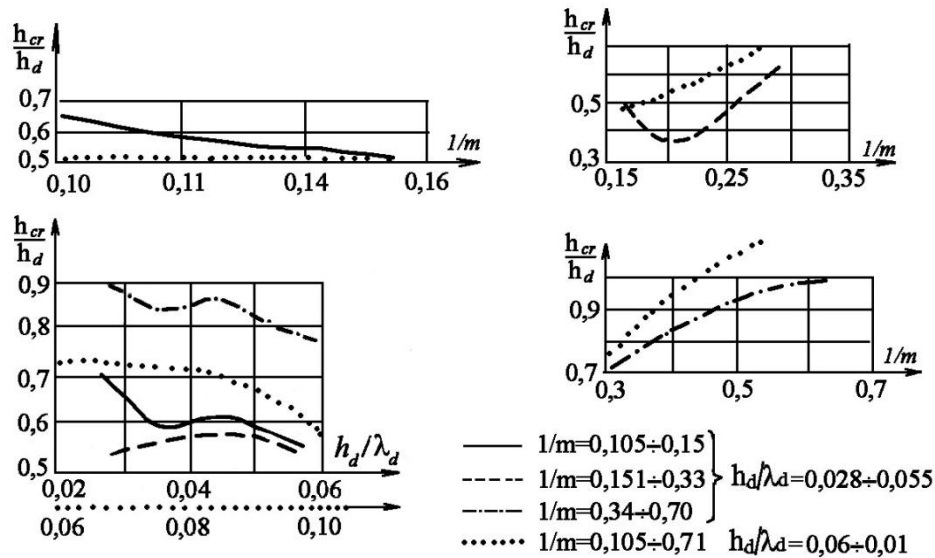


Рис. III.1.10. Вспомогательные графики для расчета критической высоты

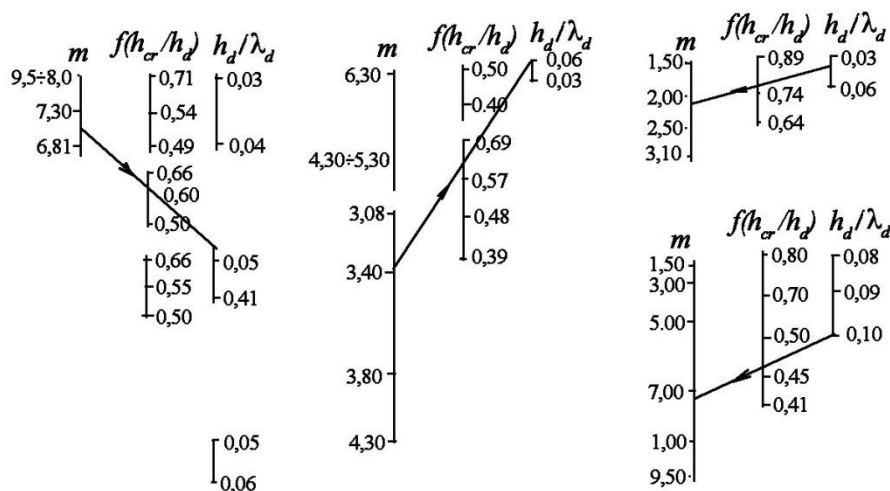


Рис. III.1.11. Номограммы для расчета $f(h_{cr}/h_d)$

Глубина обрушения волн (z) рассчитывается по зависимости:

$$z = h_d \cdot f(z/h_d) \cdot a_z \cdot k_z, \quad (\text{Ш.1.9})$$

где $f(h_{cr}/h_d) = K \cdot f(m) \cdot f(h_d/\lambda_d)$ рассчитывается по таблице Ш.1.9, вспомогательным графикам (рис. Ш.1.12) или номограммам (рис. Ш.1.13); значения "K" берутся по таблице Ш.1.10; $a_z = 1,5$ – масштабный коэффициент; k_r – коэффициент шероховатости.

Таблица Ш.1.9.

Формулы для расчета глубины обрушения волны (z)

h_d/λ_d	m	$Z/h_d = k \cdot f_1(m) \cdot f_2(h_d/\lambda_d)$
0,03÷0,055	9,5÷6,31	$Z/h_d = 1,0 [630,1(1/m)^2 - 167,0(1/m) + 12,3] \cdot [898,4(h_d/\lambda_d)^2 - 92,5(h_d/\lambda_d) + 3,2]$
0,03÷0,05	6,30÷3,08	$Z/h_d = 1,2 [-5,2(1/m)^2 - 1,8(1/m) + 0,7] \cdot [1081,7(h_d/\lambda_d)^2 - 99,9(h_d/\lambda_d) + 2,9]$
0,03÷0,05	3,07÷0,9	$Z/h_d = 1,1 [-1,4(1/m)^2 + 1,5(1/m) + 0,5] \cdot [16,8(h_d/\lambda_d)^2 - 1,8(h_d/\lambda_d) + 1,0]$
0,05÷0,1	9,5÷0,9	$Z/h_d = 1,2 [-1,4(1/m)^2 - 2,0(1/m) + 1,3] \cdot [-37,5(h_d/\lambda_d)^2 + 5,2(h_d/\lambda_d) + 0,6]$

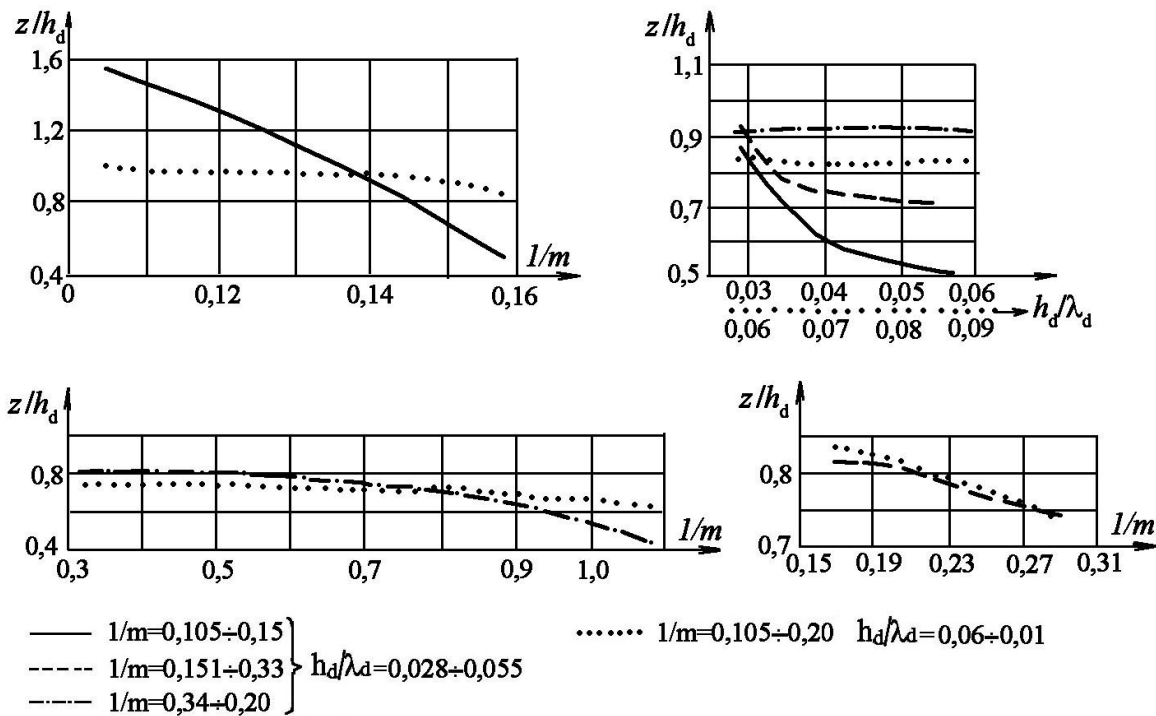


Рис. Ш.1.12. Вспомогательные графики для расчета глубины обрушения волны (z)

В прибойной зоне высота наката (h_{runup}) рассчитывается по зависимости:

$$h_{runup} = h_d \cdot k_r \cdot k_{СКВ} \cdot f(h_{runup}/h_d) \cdot a_{runup}, \quad (\text{Ш.1.10})$$

где $f(h_{runup}/h_d) = k \cdot f(m) \cdot f(h_d/\lambda_d)$ рассчитывается по таблице Ш.1.11, вспомогательным графикам (рис. Ш.1.14) или номограммам (рис. Ш.1.15); значения "K" берутся по таблице Ш.1.12); k_r – коэффициент шероховатости; $K_{СКВ}$ – коэффициент сквозности; $a_{runup} = 0,8$ – масштабный коэффициент.

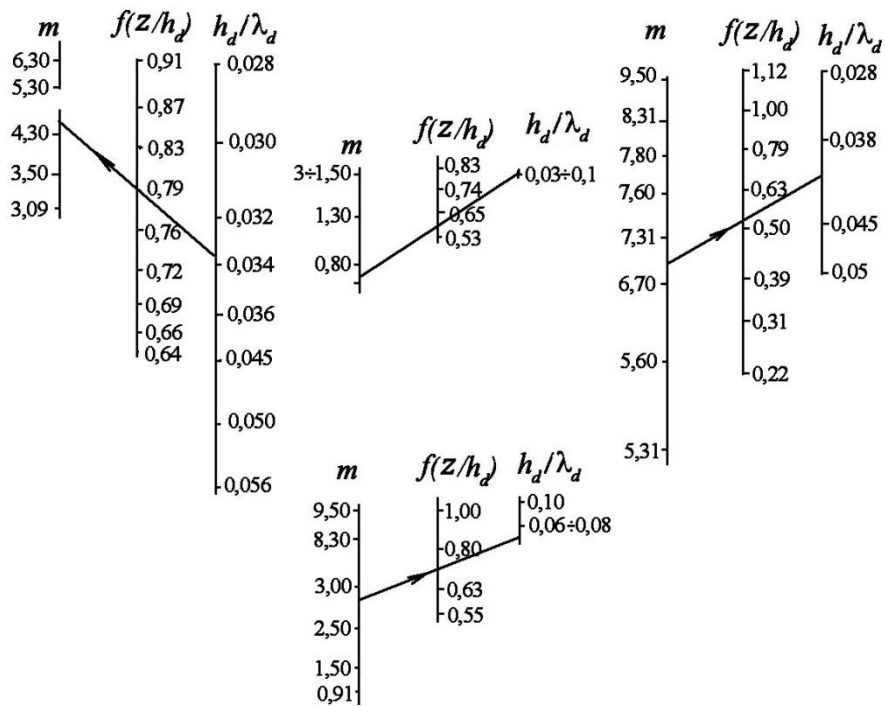


Рис Ш.1.13. Расчетные номограммы $f(z/h_d)$

Таблица Ш.1.10

Значения корректирующих коэффициентов для расчета критической глубины (z)

$h_d/\lambda_d \backslash m$	0,028	0,06	0,036	0,07	0,045	0,08	0,054	0,1
9,51	1,01	1,4	1,14	1,1	1,0	1,2	1,00	1,1
6,30	1,30	—	1,40	—	1,2	—	1,123	—
3,07	1,58	—	1,34	—	1,0	—	1,08	—
3,14	1,00	—	0,90	—	1,1	—	1,10	—
6,30	—	0,1	—	0,90	—	1,38	—	1,3
4,71	1,30	—	1,25	—	1,24	—	1,30	—
2,36	1,40	—	0,90	—	0,96	—	1,10	—
7,12	0,96	—	1,10	—	0,98	—	1,10	—
3,73	1,28	—	1,48	—	1,20	—	1,30	—
3,08	—	0,26	—	0,68	—	1,26	—	1,3
1,88	0,60	—	1,10	—	1,24	—	1,70	—
6,31	1,20	—	0,98	—	0,96	—	0,95	—
3,08	1,06	—	1,30	—	1,20	—	1,40	—
0,9	1,00	0,18	1,10	0,16	1,10	1,04	1,10	1,2

Скорость вската волн (V_{runup}) на откосы рассчитывается по зависимости:

$$V_{runup} = f(V_{runup}) \cdot a_v, \quad (Ш.1.11)$$

где $f(V_{runup}) = k \cdot f(d) \cdot f(k_r) \cdot f(h_d) \cdot f(m)$ рассчитываются по таблице Ш.1.13, вспомогательным графикам (рис. Ш.1.16); значения "К" берутся по таблице Ш.1.14); k_r – коэффициент шероховатости; $a_v = 1,25$ – масштабный коэффициент.

Скорость ската волн с откоса рассчитывается по зависимости:

$$V_{rundown} = V_{runup} / 1,3, \quad (Ш.1.12)$$

Таблица III.1.11

Формулы для расчета высоты наката волн на гладкие откосы

m	$h_{runup}/h_d = k \cdot f_1(m) \cdot f_2(h_d/\lambda_d)$
$9,51 \div 6,31$	$h_{runup}/h_d = 1,0[-801,1(1/m)^2 + 207,8(1/m) - 11,1] \cdot [1301(h_d/\lambda_d)^2 - 132,0(h_d/\lambda_d) + 4,1]$
$6,30 \div 3,08$	$h_{runup}/h_d = 0,5[1763,8(1/m)^3 - 1309,0(1/m)^2 + 318,7(1/m) - 2,28] \times$ $\times [658(h_d/\lambda_d)^2 - 98,2(h_d/\lambda_d) + 4,6]$
$3,07 \div 0,90$	$h_{runup}/h_d = 0,4[-47,3(1/m)^3 + 103,2(1/m)^2 - 68,0(1/m) + 15,8] \times$ $\times [2393,6(h_d/\lambda_d)^2 - 223,3(h_d/\lambda_d) + 7,2]$

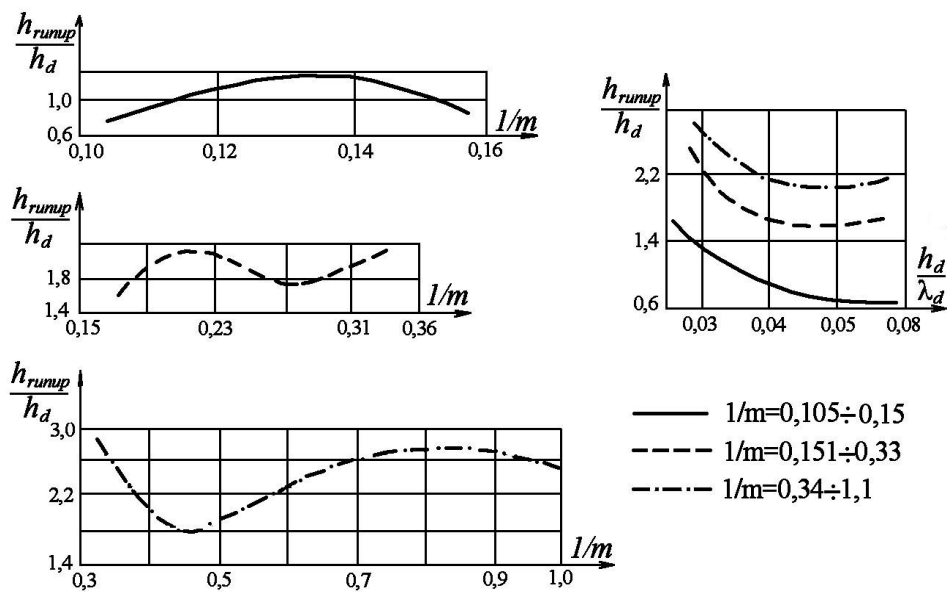


Рис. III.1.14. Вспомогательные графики для расчета высоты наката волн на откос

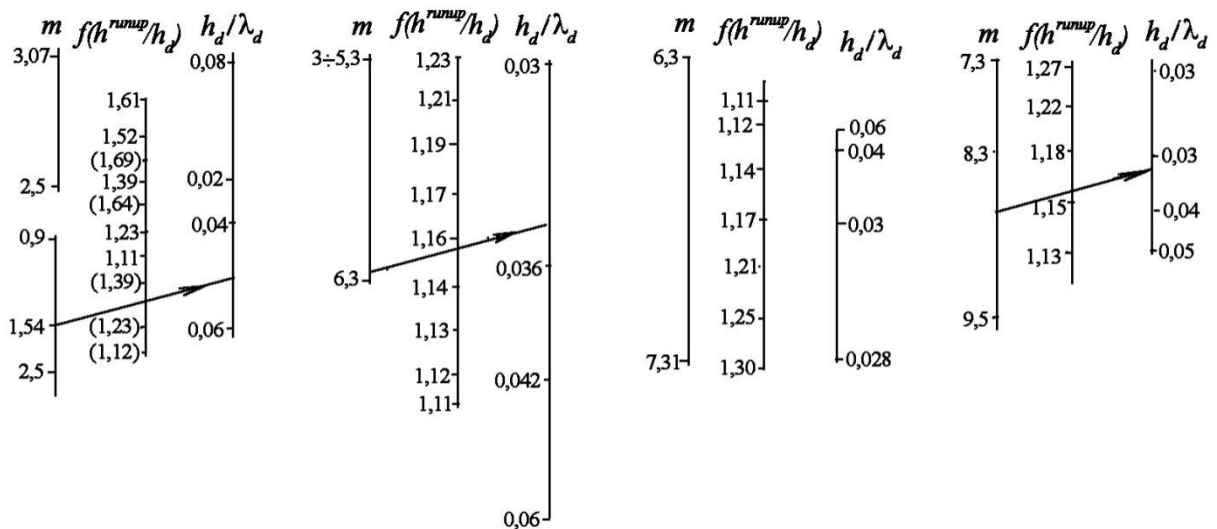


Рис. III.1.15. Номограмма для расчета функции $f(h_{runup}/h_d)$

Таблица III.1.12

Значения корректирующих коэффициентов "K"
для расчета высоты вската волн на откосы h_{runup}

h_d/λ_d m	0,028	0,036	0,045	0,054
9,51	1,24	1,16	0,93	0,94
6,30	0,32	0,56	0,40	0,45
3,07	0,50	0,44	0,40	0,35
8,14	0,67	1,02	1,16	1,30
4,71	0,42	0,51	0,65	0,58
2,36	0,50	0,32	0,40	0,49
7,12	1,14	1,20	0,96	0,81
3,73	0,60	0,56	0,46	0,51
1,88	0,46	0,50	0,38	0,34
6,31	1,16	0,78	1,06	1,10
3,08	0,28	0,53	0,69	0,62
1,54	0,33	0,40	0,49	0,45

Таблица III.1.13

Формулы для расчета скорости вската волн на откос (V_{runup})

m	$V_{runup} = k \cdot f(d) \cdot f(k_r) \cdot f(h_d) \cdot f(m) \cdot f(h/\lambda)$
1	2
9,5÷6,1	<p>Выше спокойного уровня</p> $V_{runup} = \left[4,33 \left(0,3 - \frac{L_i}{\sqrt{1+m^2}} \right) \right] \cdot [-0,24 + 3,11k_r - 1,67k_r^2] \cdot [0,5 + 3,5h_d - 4,36h_d^2] \times$ $\times [12,57 - 222,48(1/m) + 1068,18(1/m)^2] \cdot [-1,50 + 0,35(\lambda_d/h_d) - 0,01]$
9,5÷6,1	<p>Ниже спокойного уровня</p> $V_{runup} = 0,58[1,3 + 10,8z_i] \cdot [-0,24 + 3,11k_r - 1,67k_r^2] \cdot [0,5 + 3,5h_d - 4,36h_d^2] \times$ $\times [12,57 - 222,48(1/m) + 1068,18(1/m)^2] \cdot [-1,50 + 0,35(\lambda_d/h_d) - 0,01(\lambda_d/h_d)^2]$
6,15÷3,1	<p>Выше спокойного уровня</p> $V_{runup} = 0,76 \left[1,67 \left(0,6 - \frac{L_i}{\sqrt{1+m^2}} \right) \right] \cdot [0,50 + 1,70k_r - k_r^2] \cdot [1,1 + 1,25h_d - 1,25h_d^2] \times$ $\times [0,90 + 8,78(1/m) - 15,69(1/m)^2] \cdot [0,65 + 0,28(\lambda_d/h_d) - 0,01]$
6,15÷3,1	<p>Выше спокойного уровня</p> $V_{runup} = 0,76 \left[1,67 \left(0,6 - \frac{L_i}{\sqrt{1+m^2}} \right) \right] \cdot [0,50 + 1,70k_r - k_r^2] \cdot [1,1 + 1,25h_d - 1,25h_d^2] \times$ $\times [0,90 + 8,78(1/m) - 15,69(1/m)^2] \cdot [0,65 + 0,28(\lambda_d/h_d) - 0,01]$
6,15÷3,1	<p>Ниже спокойного уровня</p> $V_{runup} = 0,76[1,0 + z_i] \cdot [0,50 + 1,70k_r - k_r^2] \cdot [1,1 + 1,25h_d - 1,25h_d^2] \times$ $\times [0,9 + 8,78(1/m) - 15,69(1/m)^2] \cdot [-0,65 + 0,28(\lambda_d/h_d) - 0,01(\lambda_d/h_d)^2]$

Таблица III.1.13 (продолжение)

1	2
3,0÷0,9	<p>Выше спокойного уровня</p> $V_{runup} = 0,85 \left[0,92 \left(1,2 - \frac{L_i}{\sqrt{1+m^2}} \right) \right] \cdot [0,52 + 1,71k_r - 0,97k_r^2] \cdot [0,84 + 1,75h_d - 1,87h_d^2] \times$ $\times [0,88 + 0,90(1/m) - 0,54(1/m)^2] \cdot [0,86 + 0,04(\lambda_d/h_d) - 0,01(\lambda_d/h_d)^2]$
3,0÷0,9	<p>Ниже спокойного уровня</p> $V_{runup} = 0,85 [1,1 + 3,0z_i] \cdot [0,52 + 1,71k_r - 0,97k_r^2] \cdot [0,84 + 1,75h_d - 1,87h_d^2] \times$ $\times [0,88 + 0,90(1/m) - 0,54(1/m)^2]$

Таблица III.1.14

Корректирующие коэффициенты "K"
при расчете скорости наката волн на откос (V_{runup})

—	0,47	1,28	—
—	0,57	—	—
—	0,71	0,66	—
0,61	—	0,37	0,54
0,51	—	1,20	0,74
0,56	—	1,03	0,86
0,54	0,50	—	0,73
0,77	—	—	0,33
0,56	1,68	—	0,36
—	0,44	0,54	0,38
—	0,40	0,78	1,54
0,92	0,50	0,88	1,42

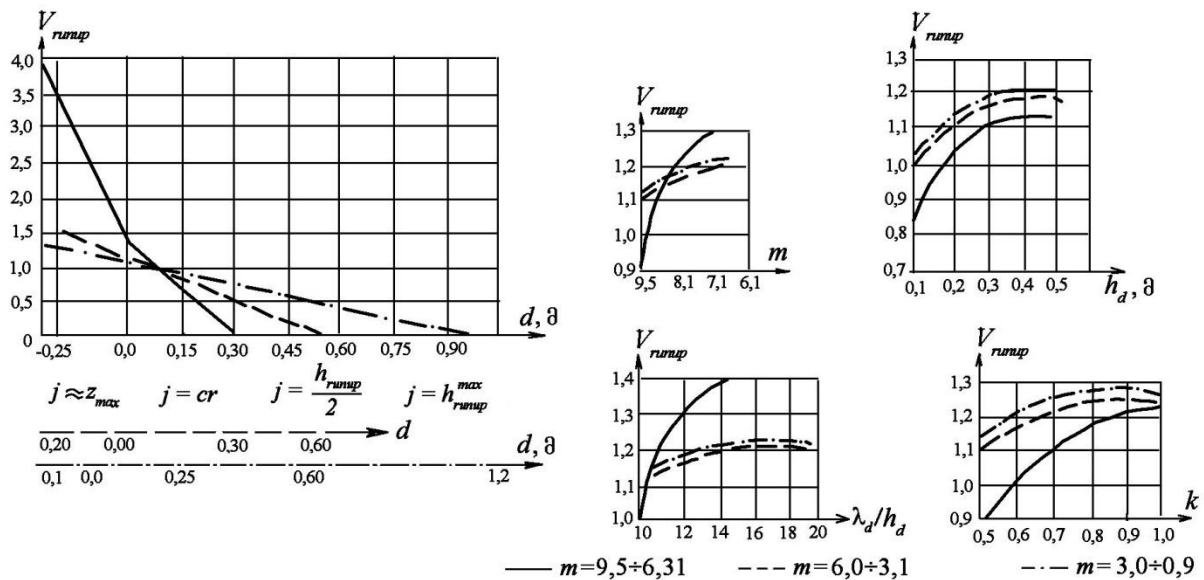


Рис. III.1.16. Вспомогательные графики для расчета скорости наката волн на откосы (V_{runup})

III.2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАНЕСЕНИЯ ГОРНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ ГРУЗИИ

Строительство подпорных сооружений на горных реках ведет к существенному изменению гидрологического режима. Одним из основных последствий является изменение условий транспорта и осаднения речных наносов, обуславливающие заиление (III зона) и занесение (I и II зона) котловин горных водохранилищ (рис. III.2.1).

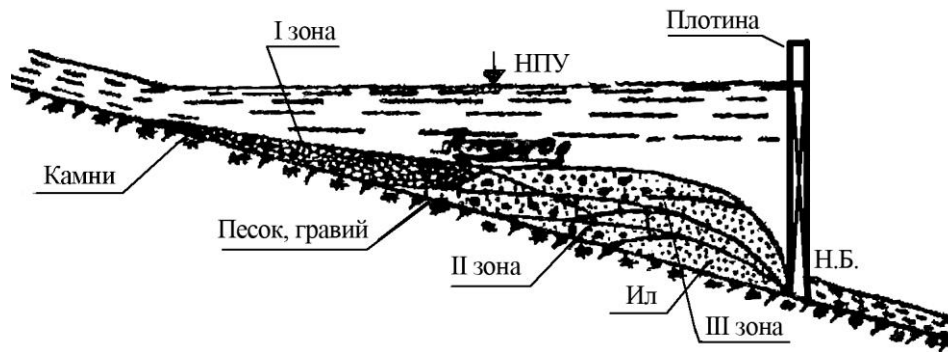


Рис. III.2.1. Схема заиления и занесения горных водохранилищ

Процессы осадконакопления на горных водохранилищах по характеру их развития и интенсивности различны и зависят от региональных условий объекта, характера регулирования стока и конструктивных особенностей гидроузла. На горных водохранилищах различного типа изменяются как набор факторов, так и количественные показатели основных составляющих баланса наносов. Относительная заиляемость определяется по формуле:

$$K_n = \frac{W_n}{V_{полн}}, \quad (III.2.1)$$

где W_n – общий объем наносов в водохранилище, $V_{полн}$ – полный объем водохранилища.

Значения K_n на горных водохранилищах велики (табл. II.6).

Горные водохранилища, как правило, через определенное время теряют часть своего объема (см. гл. II).

Движение и накопление наносов на горных водохранилищах носит специфический характер. Образования аккумулятивного характера, в основном, отсутствуют. Снос размываемой породы вследствие большой крутизны склонов и периодического спада уровней, оттягивающих наносы вниз по профилю происходит в глубины ко дну или к подошве склона.

Вследствие большой изменчивости силы, направления ветра и изрезанности береговой полосы на горных водохранилищах не формируется явно выраженный вдольбереговой поток наносов, во-первых, ввиду относительно кратковременного действия ветра, в течение которого не успевает сформироваться поток наносов; во-вторых, из-за крутизны склонов, обеспечивающих снос наносов ко дну; в-третьих, за счет большой изрезанности берега, обеспечивающей перехват наносов бухтами и заливами.

Т.о., при формировании берегов горных водохранилищ вдольбереговое перемещение наносов не имеет первенствующего значения, что подтверждается данными натурных исследований формирования берегов на ряде горных водохранилищ Грузии.

Анализируя вопросы движения и накопления наносов на горных водохранилищах,

особое внимание необходимо уделять формированию самой чаши водохранилища. Если на равнинных водохранилищах материалом отложений, в основном, являются продукты абразии и разрушения берегов, то на горных водохранилищах основными являются выносы рек, балок и оврагов, впадающих в водоем. Благодаря большой насыщенности горных водотоков наносами, происходит достаточно быстрое накопление отложений в верхнем бьефе сооружений (например, водохранилища Ладжанури, Варцихе и Гумати).

Отложения, скапливающиеся в верхних бьефах головных узлов на горных водотоках, включают как взвешенные, так и донные наносы. Характер и скорость протекания процесса накопления изменяется в зависимости от количества и фракционного состава наносов, влекомых рекой и изрезанности прилегающего района балками и оврагами.

Выделение характерных групп водохранилищ по количеству и крупности донных наносов хорошо согласуется с морфологической классификацией долин водотоков, поскольку морфологические условия, уклоны русел рек и крутизна склонов долин водотоков (зависящая от литологии пород) определяют, в основном, характер твердого стока (его объем и фракционность).

Согласно анализа исследований Л.Г.Гвелесиани, 1968; В.И. Кутовая, 1981; Н.Г. Варазшвили, 2002 и нашим исследованиям, интенсивность и характер процесса, а также соотношение в отложениях материалов разрушения берегов и выносов, впадающих в водоем водотоков, зависит от региональных особенностей водохранилищ.

Распределение отложений по дну водохранилищ различно. Так, в Тбилисском водохранилище наносы скапливаются, в основном, во впадинах озер. В Сионском – вершина отложений располагается у р. Укугмрти и выклинивается на расстоянии 2,5 км от плотины, причем общая длина призмы составляет 6,5 км. В Ткибульском водохранилище дно повысилось на несколько метров, а вдоль некоторых берегов образовались отмели. В Ладжанурском – слой наносов достигает наибольшей мощности в каньонной части на расстоянии 3,2 км от устья р. Ладжанури. На всех водоемах зафиксировано постепенное перемещение отложения к створу плотины, что можно увязать с действием придонных мутьевых потоков. Поттки такого типа наблюдаются, в основном, в водоемах с мелкими ($d = 0,02$ мм) илистыми наносами (Ладжанурское, Храмское, Сионское), причем, поскольку уклоны дна водохранилищ достаточно велики, движение этих потоков продолжается и после прохождения паводковых пиков питающих их рек.

Причиной интенсивного заиления горных водохранилищ служит обильный твердый сток горных рек, обвалы, оползни, продукты переработки берегов водохранилищ, золотый процесс и селевые выносы.

Предотвращение заиления водохранилищ возможно проведением комплекса инженерных противоэрозионных и почвозащитных мероприятий, значительно сокращающих количество поступающих в него наносов; пропуском паводков при сниженных уровнях в верхнем бьефе или суспензионных течений по дну водохранилища; гидравлических промывов.

Основой методов расчетов заиления горных водохранилищ служит баланс между поступающими в водохранилище и уносящимися из него наносами (расходная часть), разность которых и дает объем заиления. Поступающая часть наносов оценивается по данным твердого стока рек и других видов продуктов разрушения горных пород, поступающих в водохранилище. Расходную часть баланса наносов можно определить двумя способами: 1) по транспортирующей способности потока в конечном створе водохранилища и 2) по количеству

уносимых в нижний бьеф наносов. В расходную часть баланса наносов входят члены, учитывающие удаление наносов искусственным путем – средствами гидромеханизации, гидравлическим промывом, пропуском суспензионных течений.

При первом способе расчетов необходимо располагать обширными гидрологическими данными о внутригодовом гидрографе реки, мутностях реки, соответствующих каждому расходу воды, гранулометрическом составе стока наносов и уровненом режиме водохранилища.

Второй способ позволяет при минимуме информации проследить за динамикой заиления водохранилища и определить срок его службы. Основным источником (80-90%) заиления горных водохранилищ является сток взвешенных наносов [Jordanishvili I.K, 2009; Иорданишвили И.К. ,2010; ობრცახობზოგლო ო.კ., 2011].

Твердый материал, поступающий в водохранилище, является продуктом механического разрушения горных пород. Поступающие в водохранилище материалы представляют собой дисперсную систему, состоящую из продуктов разрушения горных пород различных размеров – от тысячной доли миллиметра до десятка сантиметров и более. Объемы материалов делятся на две группы: уносимые из водохранилища и оседающие в нем. В общем виде балансовое уравнение динамики заиления горных водохранилищ записывается в виде:

$$\frac{dW_3}{dt} = W_m \left(1 - \frac{W_3}{W_{np}} \right) + W_k - W_y, \quad (\text{III.2.2})$$

где W_3 – объем заиления водохранилища, м³; W_{np} – предельный объем заиления, м³; W_m и W_k – соответственно среднегодовые суммарные объемы, поступающих в водохранилище мелкодисперсных (с индексом "м") и крупных частиц (с индексом "к"), м³/год; W_y – суммарные объемы частиц уносимые в нижний бьеф.

Балансовые уравнения с учетом изменения полезного объема водохранилища в результате отложения наносов и гидравлических промывок имеют вид:

1. Объем сброса воды через промывные отверстия за i -й интервал времени:

$$V_i = f(H_1, H_2, V_{omb}), \quad (\text{III.2.3})$$

где H_1, H_2 – уровни воды в водохранилище к началу и в конце промывки, м; N_{omb} – объем воды, проходящей через промывные отверстия, м³.

2. Объем выноса наносов через промывные отверстия за i -тый интервал времени:

$$W_{nani} = f(H_1, H_2, V_{omb}). \quad (\text{III.2.4})$$

Объем сброса воды через водослив:

$$V_{c6i} = 0, \text{ если } (V_{ni} + W_{pi} - U_i - V_{ni} - V_i - V_{ki}) > 0; \quad (\text{III.2.5})$$

$$V_{c6i} = V_{ni} + W_{pi} - U_i - V_{ni} - V_i - V_{ki}, \quad (\text{III.2.6})$$

где V_{c6i} – объем сброса воды через водослив за i -й интервал времени; V_{ni} – объем воды в водохранилище на начало i -го интервала времени; W_{pi} – расчетный приток воды к водохранилищу за i -тый интервал времени; U_i – объем водоподачи в оросительную систему за i -тый интервал времени; V_{ni} – объем потерь на испарение в водохранилище на конец i -го интервала времени; V_{ki} – объем воды в водохранилище на конец i -го интервала времени.

3. Объем прихода наносов к водохранилищу за i -тый интервал времени:

$$W_{прнан.i} = k_{cp} W_{pi}, \quad (III.2.7)$$

где k_{cp} – средняя концентрация наносов, кг/м³.

4. Объем сброса взвешенных наносов через водослив за i -тый интервал времени:

$$W_{сб.нач.i} = k_{сб} V_{сб.i}, \quad (III.2.8)$$

где $k_{сб}$ – концентрация взвешенных наносов.

5. Изменение объема наносов, отложившихся в полезной емкости водохранилища за i -тый интервал времени:

$$\Delta V_{нан.i} = W_{нан.i} - W_{сб.нач.i} - W_{нан.i} \quad (III.2.9)$$

6. Объем водохранилища при НПУ:

$$V_{НПУki} = V_{НПУni} + \Delta V_{нан.i}, \quad (III.2.10)$$

где $V_{НПУni}, V_{НПУki}$ – полезный объем водохранилища на начало и конец i -того интервала времени.

7. Искомый объем воды в водохранилище на начало i -того интервала времени:

$$V_{ki} = V_{НПУki}, \quad \text{если } (V_{ni} + W_{pi} - U_i - V_{ni} - V_i) > V_{НПУki}, \quad (III.2.11)$$

$$V_{ki} = V_{УМО}, \quad \text{если } (V_{ni} + W_{pi} - U_i - V_{ni} - V_i) < V_{УМО}, \quad (III.2.12)$$

$$V_{ki} = (V_{ni} + W_{pi} - U_i - V_{ni} - V_i), \quad \text{если } V_{НПУ} > (V_{ni} + W_{pi} - U_i - V_{ni} - V_i) > V_{УМО}, \quad (III.2.13)$$

где $V_{НПУ}$ – полезный объем водохранилища на конец i -того интервала времени;

$V_{УМО}$ – мертвый объем водохранилища.

8. Фактическая водоотдача водохранилища за i -тый интервал времени:

$$U_{факт} = V_{ni} - V_{ki} - W_{pi} - V_{ni} - V_{сб.i} - V_i \quad (III.2.14)$$

9. Дефицит водоотдачи за i -тый интервал времени:

$$V_{деф.i} = U_i - U_{факт} \quad (III.2.15)$$

10. Баланс воды в водохранилище:

$$V_{ni} - V_{ki} - W_{pi} - U_{факт.i} - V_{ni} - V_{сб.i} - V_i = 0. \quad (III.2.16)$$

При каждой промывке через донные отверстия удаляется часть отложившихся наносов, и это следует повторять до тех пор, пока не будет восстановлен приемлемый полезный объем, либо осаждение и вынос наносов не будут сбалансированы во времени.

Балансовый метод расчетов по календарному году для лет разной статистической водности позволит соединить достоинства двух основных подходов – календарного и вероятностного – при расчетах режима работы водохранилища с учетом водности года, его полезного объема перед началом паводка, а также возможности проведения серии последовательных промывок.

Для установления характеристик наносов требуется определение как гранулометрического состава, так и объемного веса наносов. В условиях горных и предгорных регионов точность промеров снижается, в связи со значительной неравномерностью твердого и жидкого стока, слабой их корреляции и затруднениями при отборе проб в условиях значительных скоростей горных рек и водотоков, что требует периодического повтора замеров. При известной гранулометрии отложений, объемный вес скелета отложений взвешенных наносов может быть определен по формуле:

$$\gamma_{ск} = 1,68m_1 + 1,652m_2 + 1,208m_3 + 1,065m_4 + 0,727m_5 \text{ т/м}^3, \quad (III.2.17)$$

где m – часть i -той фракции по грансоставу, причем $\sum_{i=1}^s = 1,1$ (первая фракция – d_1 более 1 мм, вторая – $1 < d_2 < 0,2$ мм; третья – $0,2 < d_3 < 0,05$ мм; четвертая – $0,05 < d_4 < 0,01$ мм; пятая фракция – $d_5 < 0,01$ мм).

При отсутствии 1-ой и 2-ой фракции объемная масса отложений определяется по зависимости:

$$\gamma_{ск} = 1,8m_2 + 1,3m_3 + 1,4m_4 + 0,85m_5 \text{ т/м}^3. \quad (\text{III.2.18})$$

В состав характеристик *жидкого стока* включаются: определение среднегодового и среднемноголетнего стока, внутригодовое его распределение, а также экстремальные величины стока с оценкой параметров боковой приточности. При расчетах необходимо отдельное рассмотрение генезиса поступающих в водохранилище наносов:

- твердого стока рек, впадающих в водохранилище;
- выносов временно действующих водотоков, оврагов, балок и т.д.;
- материалов берегообрушения и непредвиденных сбросов различного характера.

В состав характеристик *твердого стока* должны быть внесены: определение нормы стока наносов, расчет стока взвешенных наносов, расчет влекомых наносов и транспортирующей способности потока.

При расчетах характеристик заиления чаши за норму жидкого стока принимаются среднемноголетние данные. Расчетным считается средний за период половодья расход воды для среднего по водности года, поскольку такой расход создает определенную проточность потока по бьефу и характеризует наносодерживающую способность водохранилища.

За норму стока взвешенных наносов принимается среднемноголетнее значение по ряду наблюдений за период 25 лет или сток среднемноголетнего по водности года.

Сток взвешенных наносов может быть определен по регрессионным уравнениям по отдельным регионам или картам мутности и эрозионного районирования.

Сток влекомых наносов определяется, согласно аналогам, в зависимости от степени горности района расположения водохранилища. Согласно анализу материалов по различным регионам, в среднем, может быть принято соотношение расходов донных наносов к общему (в %): в предгорных регионах – от 5 до 15%; горно-предгорных – от 3 до 20%; в горных – от 12 до 50%; в высокогорных – от 45 до 70%.

Согласно соотношению типов наносов, определяется интенсивность развития процессов заиления и занесения. При этом в процессе занесения учитывается практически 90-100% поступивших в водохранилище наносов, а в процессе заиления – в зависимости от соотношения крупности наносов и скоростей продольных течений в водоеме.

Данные натурных замеров твердого стока, аккумулированного в водохранилищах Грузии, приводятся в таблице III.2.6.

Объем стока наносов, представленный частицами менее 0,001 мм, в условиях горных регионов, исключается из баланса наносов, поскольку эти частицы транспортируются во взвешенном состоянии и сбрасываются в нижний бьеф гидроузла.

В прогностические расчеты должны быть включены: определение времени, требуемого для заполнения чаши или срока службы водохранилища; установление распределения отложений по дну водоема по мощности и составу; определение границ зоны затопления при изменении кривой подпора в результате занесения и заиления чаши; оценка эффективности защитных мероприятий, обеспечивающих снижение интенсивности развития процесса

накопления наносов.

На основе анализа натуральных исследований по заилению горных водохранилищ Средней Азии, Азербайджана и Грузии, выявлено, что процесс заиления горных водохранилищ подразделяется на две стадии (рис. III.2.2).

Первая стадия характеризуется монотонным заилением, т.е. полным отложением наносов в водохранилище. Продолжительность первой стадии развития процесса отложения наносов определяется по зависимости:

$$T_1 = \frac{V_{полн} - 0,33W_p}{W_n}, \quad \text{III.2.19}$$

где $V_{полн}$ – объем водохранилища; W_n – общий объем наносов; $W_p = L\omega_p$, где ω_p – бытовая площадь сечения речного русла при руслоформирующем расходе $Q_{p.ф}$, L – длина русла.

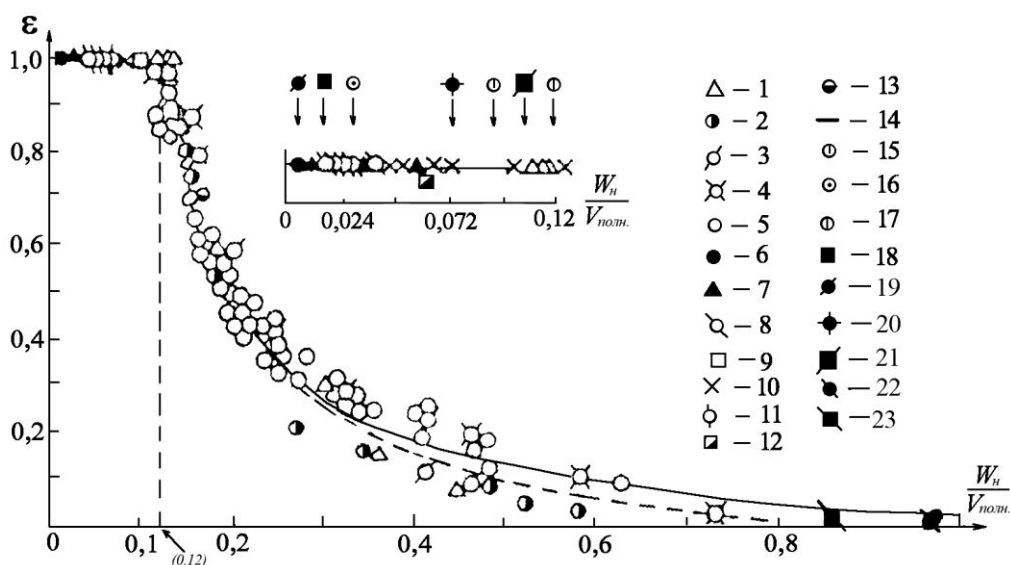


Рис. III.2.2. График занесения горных водохранилищ в течение первой (I) и второй (II) стадии заилениа

1. Фархадский бьеф, 1949 г.; 2. То же, 1951 г.; 3. То же, 1952 г.; 4. Хашрауский бьеф; 5. Лабораторные данные; 6. Каракумское водохранилище; 7. Ташкерпринское водохранилище; 8. Тедженское водохранилище, 1950-1959г.; 9. Боз-Суйский бьеф; 10. Лабораторный бьеф №1; 11. Остинское водохранилище (США); 12. Боусенское водохранилище; 13. Учкурганское водохранилище; 14. Теоретическая кривая; 15. Сионское водохранилище, 2011 г.; 16. Тбилисское водохранилище, 2011 г.; 17. Жинвальское водохранилище, 2011 г.; 18. Храмское водохранилище, 2011 г.; 19. Шаорское водохранилище; 20. Алгетское водохранилище, 2011 г.; 21. Джварское (Ингурское) водохранилище, 2011 г.; 22. Ладжанурское водохранилище, 2011 г.; 23. Варцихское, Гуматское водохранилища, 2011 г.

В первой стадии (I), в зависимости от степени заилениа ($W_n/V_{полн}$), значение степени "осветления" постоянно ($\varepsilon = W_{расч} / W_n = 1,0$). В предельном случае при полном заилениа водохранилища $\varepsilon \rightarrow 0$ (рис. III.2.2; III.2.3; III.2.4).

Показатель перехода от первой стадии (I) заилениа во вторую стадию (II) является соотношение $W_n / V_{полн} \leq 0,12$, или $V_{полн} \geq 8,22 W_n$. [Варазашвили Н.Г.,1986; Артамонов К.Д., 1974; Гвелесиани Л.Г., 1968; Джарбашян Э.Г., 1970; Iordanishvili I., 2009; Иорданишвили И.К. ,2010; სარდაბოშვილი ი.კ., 2011; Кутовая В.И.,1981; Лапшенков В.С., 1975; Малков А.Б., 1964; Скрыльников В.А.,1988; Шамов Г.Н.1932].

Во второй стадии происходит вынос части наносов в нижний бьеф, вследствие увеличения транспортирующей способности речного потока, обусловленной уменьшением площади сечения при заполнении чаши наносами.

Региональные особенности горных водохранилищ определяют степень интенсивности и характер распределения отложений в чаше, поэтому необходимо выполнение прогнозов с проведением типизации водоемов по основным признакам в зависимости от интенсивности процесса осадконакопления.

Детальный прогноз заиления горных водохранилищ выполняется по трем их типам: 1) внеуровневые (наливные) водоемы; 2) средне-напорные котловинные; 3) высоконапорные долинные. Прогноз выполняется по эмпирическим зависимостям и опорным кривым соответственно типу водохранилища (рис. III.2.3; III.2.4).

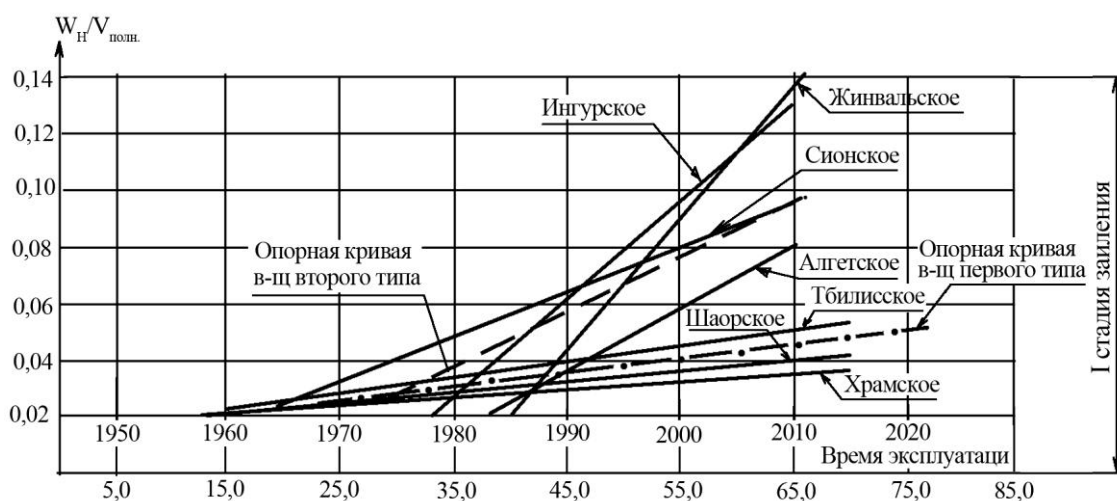


Рис. III.2.3. Графики интенсивности заиления первого и второго типов горных водохранилищ Грузии, находящихся к 2011 г. в первой (I) стадии заиления

— . — опорный график заиления водохранилищ первого типа (Тбилиское, Храмское, Шаорское); — — — опорный график заиления водохранилищ второго типа (Жинвальское, Сионское, Алгетское).

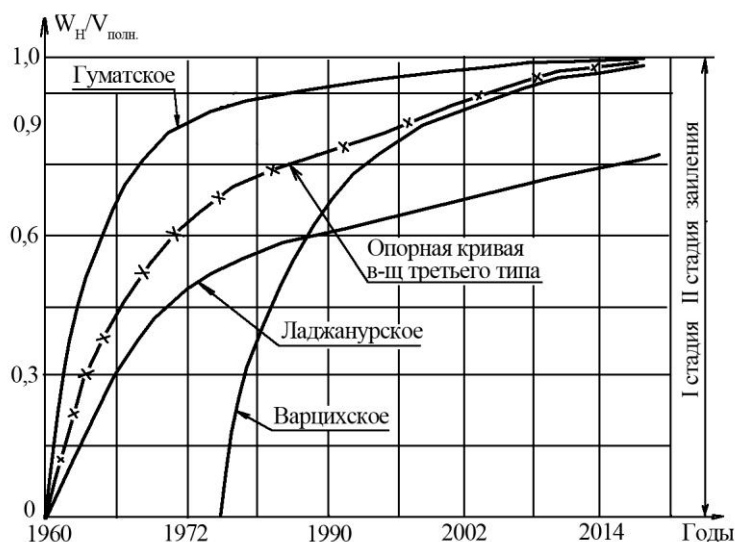


Рис. III.2.4. Графики интенсивности заиления третьего типа горных водохранилищ Грузии, находящихся к 2011 г. во второй (II) стадии

— x — опорная кривая заиления водохранилищ третьего типа (Варшихское, Гуматское, Ладжанурское)

Первый тип водохранилища – малой заиляемости. Источники осадконакопления – мелкие наносы, поступающие из подводящих каналов и материалы эрозионно-абразионных процессов береговой зоны небольшой интенсивности в связи с небольшой крутизной береговых склонов. В основном, заиляются устьевые участки водохранилища. Объем отложений наносов определяется по опорной кривой первого типа (I) или по зависимости:

$$W_n = 0,0005 V_{\text{полн}} t_I, \quad (\text{III.2.20})$$

где $V_{\text{полн}}$ – полный объем водохранилища, млн. м³; t_I – расчетный период, в годах; W_n – объем наносов за расчетный период, млн. м³ (до второй стадии заиления, т.е. $W_n / V_{\text{полн}} \leq 0,12$), t_I – период заиления водохранилищ первого типа, находящихся в первой стадии заиления. Соответственно, период заиления водохранилищ первого типа (до второй стадии заиления $W_n \leq 0,12 V_{\text{полн}}$) рассчитывается обратным ходом:

$$t_I = W_n / 0,0005 V_{\text{полн}}, \text{ лет} \quad (\text{III.2.21})$$

К первому типу (малой и средней заиляемости) водохранилищ относятся Тбилисское, Шаорское, Храмское водохранилища (рис. III.2.3; табл. II.6). Как правило, первый тип водохранилищ – наливные, внеуровневые и озерные.

Во втором типе водохранилищ влияние отложения наносов будет сказываться наиболее сильно, способствуя формированию береговых отмелей и снижая пределы колебания уровней. Учет этого явления необходим и при назначении нижней границы береговых откосных креплений, которая в этих условиях может быть перемещена вверх по склону. Ко второму типу относятся горные водохранилища, в которых доля эрозионных и склоновых процессов составляет 85-95%. В этих водохранилищах интенсивно развиваются оба процесса – заиление и занесение. Объем отложений наносов в водохранилищах второго типа (до второй стадии заиления) определяется по опорной кривой второго типа (рис. III.2.3) или по зависимости (до $W_n \leq 0,12 V_{\text{полн}}$):

$$W_n = 0,0025 V_{\text{полн}} * t_I, \quad (\text{III.2.22})$$

где t_I – период заиления водохранилища, находящегося в первой стадии заиления.

Ко второму типу водохранилищ относятся Сионское, Жинвальское, Алгетское и Джварское водохранилища. Соответственно, период заиления водохранилищ второго типа до достижения предельного состояния (до второй стадии заиления $W_n \leq 0,12 V_{\text{полн}}$) рассчитывается обратным ходом:

$$t_I = W_n / 0,0025 V_{\text{полн}}, \text{ лет} \quad (\text{III.2.23})$$

К третьему типу относятся малопроточные водохранилища, в заполнении чаши которых принимают участие все виды наносов: речные, эрозионные, берегообрушение.

Объем отложений наносов определяется по опорной кривой третьего типа (рис. III.2.4) или по степенной зависимости:

$$W_n = 0,1 V_{\text{полн}} * t^{0,5} \quad (\text{III.2.24})$$

К третьему типу интенсивно заиляемых горных водохранилищ относятся Гуматское, Варцихское, Ладжанурское (рис. III.2.4).

Соответственно, период заполнения водохранилищ третьего типа рассчитывается обратным ходом:

$$t^{0,5} = 10,0 W_n / V_{\text{полн}}, \quad \text{лет} \quad (\text{III.2.25})$$

III.3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ БЕРЕГОВ ГОРНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Процессы формирования береговой зоны начинаются с началом заполнения водоема.

При развитии волновых процессов энергетическое воздействие на берега усиливает первоначальные процессы, связанные с водой. Для первой стадии переработки характерна важная особенность, а именно: деструктивные процессы возникают вначале в пределах отдельных наиболее уязвимых участков, и далее охватывают все новые пространства.

Под переформированием береговых склонов водохранилищ следует понимать комплекс современных деформационных процессов (абразия, размывы, оползневые смещения, обвалы, осыпи и т.п.), в результате которых создаются новые формы рельефа, и изменяется общий ландшафт речной долины, обусловленного также воздействием водных масс (волны, течения, агрессивное воздействие воды и др.).

Сложность и многофакторность процесса переформирования берегов водохранилищ обуславливает проведение широких исследований по рассматриваемой проблеме. Становление проблемы приурочено к 1935-1936 гг. Начало изучения положено акад. Ф.П. Саваренским и за период своего развития прошло, в основном, четыре этапа, различающихся по характеру подхода к проблеме:

– Первый этап (до 1950 г.) характеризовался сугубо геологическим подходом и анализом развития береговой зоны равнинных водохранилищ, что в последствии не получило подтверждения.

– Второй этап исследований (до 1960г.) характеризовался интенсивным исследованием берегов равнинных водохранилищ и разработкой методики прогноза с различных позиций. В этот период были заложены основы, которые в ряде случаев используются до настоящего времени (Вендров С.Л., Золотарев Г.С., Качугин Е.К., Кондратьев Н.Е., Пышкин Б.А. и др.).

– Третий этап (до 1975г.) характеризовался разработкой основных теоретических положений динамики берегов и реализации материалов, накопленных в результате натуральных наблюдений (Варазашвили Н.Г., Григорьева О.Г., Епишин В.П., Максимчук В.Л., Печеркин И.А., Судольский А.С., Финаров Д.П., Широков В.Т. и др.).

– Четвертый этап характеризовался тщательным изучением определённых факторов (с использованием основ факторного анализа): нестационарности уровня режима с учетом региональных характеристик объектов и уточнением методик прогноза, на основе статистической обработки данных натуральных наблюдений (рис. III.3.1; табл. III.3.1).

Таблица III.3.1

Прогнозные группы для определённого типа водохранилищ

№	Группа водохранилищ	Амплитуда колебания уровня воды, в м (A)	Скорость перемещения уреза, ($V_{ур}$) м/сутки	Морфометрический показатель, H^2/F	Показатель рельефа (среденный) " α "
1	Квазистационарные	менее 6 м	до 0,03	$8 \cdot 10^{-9} \div 3 \cdot 10^{-7}$	0,84
2	Нестабильные	6÷20	0,03÷0,08	$3 \cdot 10^{-7} \div 3 \cdot 10^{-5}$	0,57
3	Средней сработки	20÷50	0,08÷0,50	$3 \cdot 10^{-5} \div 3 \cdot 10^{-4}$	0,36
4	Быстрорабатываемые	50÷100	0,50÷1,5	$3 \cdot 10^{-4} \div 8 \cdot 10^{-3}$	0,27
5	Интенсивно срабатываемые	более 100	более 1,5	менее $8 \cdot 10^{-3}$	0,12

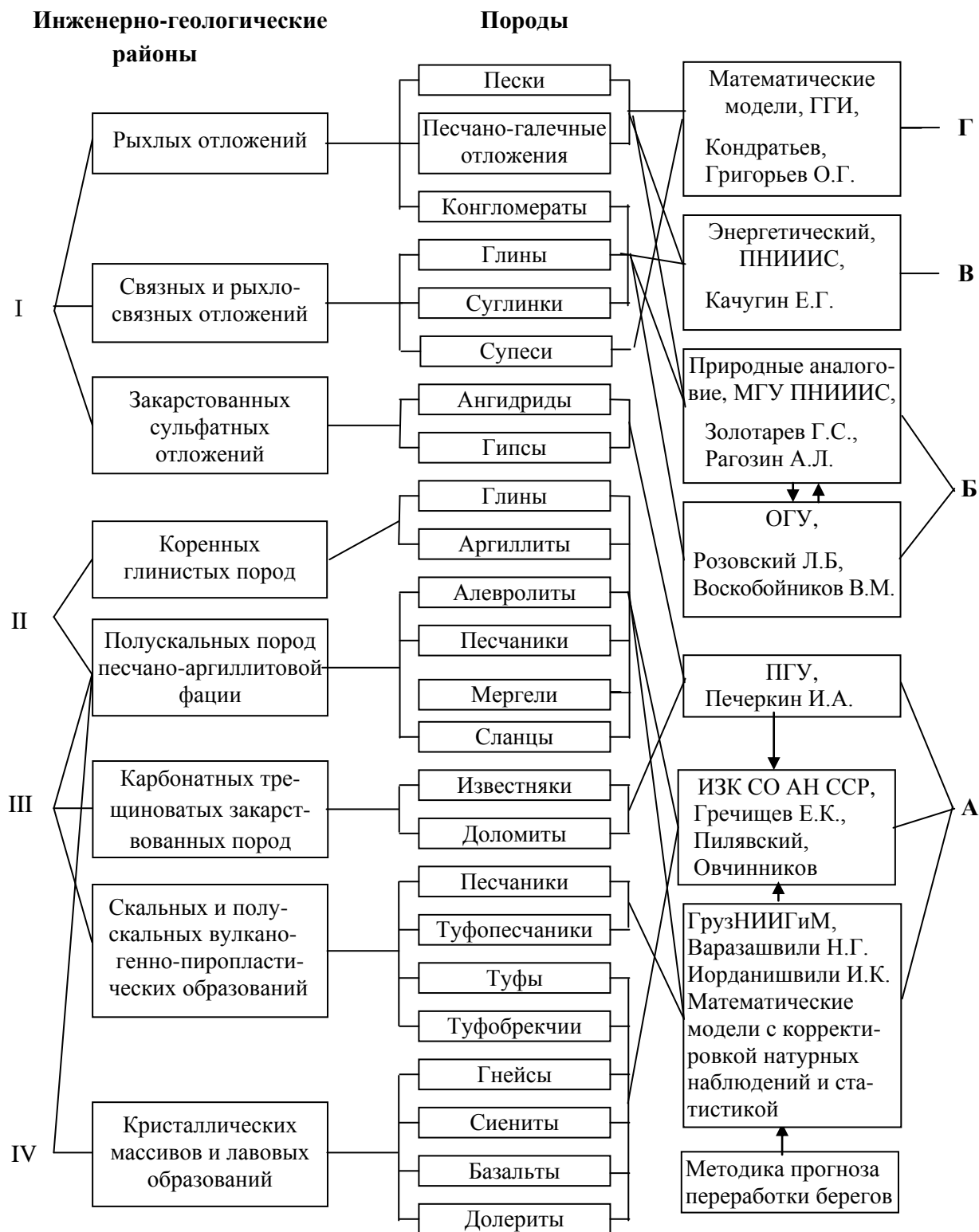


Рис. III.3.1 Блок-схема применимости методов прогноза переработки берегов в зависимости от типа водохранилища и берегового склона

Обозначения: Тип водохранилища и зональность: I – квазистабильные; $A < 6$ м, $V_y < 0,03$ м/сек, равнинные; II – нестабильные; $A = 5 \div 20$ м, $V_y = 0,03 \div 0,08$ м/сек, предгорные; III – средней сроботки, $A = 20 \div 50$ м, $V_y = 0,008 \div 0,5$ м/сек, горные; IV – быстро-србатываемые, $A = 50 \div 100$ м, $V_y = 0,5 \div 5$ м/сек, высокогорные.

(А – Математические модели с корректировкой натурных наблюдений и статистикой, Б – Природные аналогии, В – Энергетический, Г - Математические модели)

Общий интегральный прогноз выполняется по основным элементам системы, с учетом комплексного влияния сложившейся береговой обстановки на расчетный отрезок времени. *На горных водохранилищах*, даже в пределах одного склона, может потребоваться применение различных методик прогнозирования, поскольку наблюдается изменение характера процесса, как по протяженности склона, так и по его высоте, вследствие изменения геоморфологической ситуации и значительных изменений уровня воды.

Последовательность выполнения прогнозирования на горных водохранилищах следующая:

1. Определение общего направления развития береговых процессов согласно особенностям инженерно- геологической ситуации;
2. Анализ истории развития склонов с выявлением древних форм развития рельефа;
3. Генетическая классификация береговых склонов с установлением границ распространения различных типов по периметру водохранилища, по высоте склона в пределах колебания уровня воды в водоеме;
4. Количественная оценка объемов разрушений и отложений по высоте и по протяженности склона, с учетом генетических типов береговых откосов (денудационно-абразионные, закарстованные, абразионно-размываемые и аккумулятивные).

Отдельные типы берегов требуют использования различной *методики прогнозирования* и различного набора исходных данных, а именно:

1. Основной расчетной характеристикой при определении зоны переформирования склона на *денудационно-абразионных* берегах является скорость выветривания с учетом циклического водонасыщения и высыхания пород в зоне сработки уровня воды в водохранилище,
2. Формирование обвалов и оползней в *скальных и полускальных породах* высоких склонов горно-складчатых областей, которое обуславливается преимущественно геологической ситуацией.
3. Развитие процесса переформирования *закарстованных берегов* достаточно надежно описывается зависимостями: $S = \alpha T^{0,97}$ – отступление кромки откоса и $Q = 2,58h T^{0,9}$ – объем обрушения, в которых параметр (α) зависит, в основном, от количества нерастворимых примесей в составе пород и требует специального определения.

При построении абразионного профиля на горных водохранилищах наиболее прогрессивной является методика расчета по предельным состояниям.

В состав прогноза переформирования береговых склонов горных водохранилищ следует включать основные данные по всем процессам: абразия, оползни, осыпи, просадки, карст и др., типизация которых выполняется на основе инженерно-геологической классификации береговых склонов.

В состав первичных прогнозов должны быть включены: условия формирования ветро-волнового и урванного режимов, а также изменения свойств и состояния береговых грунтов в условиях попеременного их увлажнения и высушивания в процессе эксплуатации водохранилища.

Изменение *свойств грунтов* определяется по схеме типа $y = ae^{-bt} + ce^{-dt}$, в которой y – один из показателей породы, требующий определения. Первое слагаемое характеризует скорость перемещения уровня воды, а второе определяет количество и продолжительность циклов водонасыщения-высыхания, при изменениях уровня воды в водохранилище в процессе его эксплуатации.

В состав покомпонентных прогнозов должно включаться:

– установление общих по участку количественных показателей переработки берегов (объемов разрушений, аккумуляции и отступление бровки откоса) и основных элементов профиля переработки с учетом генезиса береговых процессов. К примеру:

– на абразионных берегах: крутизны береговой отмели, глубины размыва, высоты обрывов, отступление берега;

– на оползневых берегах – объем тела оползня, мощность слоя смешения и скорость перемещения массива.

Осредненные качественные показатели переформирования берегов водохранилищ могут быть приняты на основе определения количественных данных натурных замеров на ряде водохранилищ горных регионов Грузии (табл. III.3.2).

Таблица III.3.2

Генетические типы берегов горных водохранилищ Грузии

Подтипы берегов	Виды берегов
1	2
I. Гидрогравитационные берега	
Денудационные	Слабоденудированные Сильноденудированные
Оползневые	Детрузивные (блоковые) Деляпсивные (пластичные)
Обвально-осыпные	–
Суффозионно-просадочные	–
Карстовые	Коренные Просадочные
II. Абразионные берега	
Денудационные (Коренные)	Слабоперерабатываемые Среднеперерабатываемые Сильноперерабатываемые
Размываемые (связные и рыхло-связные)	Поверхностного смыва Слабоперерабатываемые Среднеразмываемые Интенсивно-размываемые
Обвально-осыпные	Глыбовые Просадочные
Оползневые	Постояннодействующие Периодической подвижки
Карстовые	–
III. Аккумулятивные берега	
Талассогенные	Пляжевые
Флювиогенные	Осушки Илисто-ваттовые Устьевые

Таблица III.3.2 (продолжение)

1	2
IV. Нейтральные берега	
Приглубые	Коренные
Отмельные	
Фитогенные	
V. Лагунные берега	
VI. Заболоченные берега	
Поверхностные	Травянистые
	Грунтовые
Глубокозаболоченные	Кустарниковые

Характеристика сопротивляемости береговых грунтов размыву определяется в зависимости от типа грунта:

1) В **несвязных песчаных грунтах** расчет выполняется по средневзвешенному диаметру $d_{cp} = \frac{\sum d_i p_i}{\sum p_i}$. В мелкофракционных грунтах ($d < 0,25$ мм) в расчет должна вводиться

усталостная прочность на разрыв, устанавливаемая по зависимости: $C_y^p = \frac{175}{10^{10} d}$.

2) При сложении берегов **глинистыми связными породами** за исходные показатели должны приниматься: C_y^H – нормативная усталостная прочность грунта на разрыв, которая зависит от величины среднего значения сцепления поверхностного слоя водонасыщенного грунта, при полной влагоемкости, как средневзвешенное по ряду замеров $C_y^c = 0,035C$, где

$$C = \frac{\sum n_i C_i}{n}.$$

В расчетах средний диаметр отрывающихся агрегатов (d_{cp}) может быть принят равным $d_{cp} = 3 \div 5$ мм, K_0 – коэффициент однородности глинистых грунтов, характеризующий отклонение показателей сцепления от средних величин $K_0 = 1 - \frac{a_1 \sigma}{C}$, $a_1 \cong 2 \div 65$; $\sigma = \sqrt{\frac{n_i (C_i - C)^2}{n}}$,

(в среднем $K_0 \cong 0,4$);

3) При сложении берегов **полускальными и скальными породами** требуются данные по прочностным показателям пород, характеру цементации, направлению и крутизне падения слоев и развитию трещин различного характера.

При значительном тектоническом разрушении массивов пород, значение коэффициента размываемости должно быть увеличено в 1,5 ÷ 1,8 раза.

В случае **песчаных несвязных пород** основным в формировании береговых склонов является величина придонных волновых скоростей, играющих значительную роль в перемешивании жидкости, увеличивающей неоднородность волнового потока, а также взвешивание и перемещение частиц. Ведущими факторами выработки профиля берега являются *скорость осадения зерен грунта и свойство воды* реагировать на изменение фактора деформации.

При сложении откосов *крупнозернистыми грунтами* в движение частиц грунта включается сила тяжести, что существенно изменяет процесс выработки профиля.

Сработка уровней воды ведет, в основном, к изменению формы профиля откоса и увеличению объемов размыва.

В связных глинистых породах основным фактором являются свойства пород и их изменчивость при взаимодействии с водой, а именно связность и количественное соотношение минералогического состава. Разрушение откосов происходит за счет механического действия волн и размывающего действия волн прибойного потока. Размыв, аналогично несвязным грунтам, зависит от величины придонных скоростей и размера отдельностей – агрегатов.

Колебания уровней воды в водохранилище вносят как количественные, так и качественные изменения в развитие процесса формирования береговых склонов. Соответственно, основными показателями, определяющими количественные характеристики разрушения, являются величина связности грунта в состоянии полного водонасыщения и размер агрегатов грунта, отрывающихся в процессе размыва.

Наблюдения существенной переработки берегов, сложенных лессовидными породами и легкими суглинками при высоте волн, не превышающих 0,5÷0,6 м, с повторностью до 0,03%, при существенной динамичности уровня режима на водохранилищах Грузии объем размыва при сработке уровней в пределах 8-10м в среднем составляет до 25÷35 м³ на п.м. берега за год.

На склонах, сложенных коренными полускальными породами, основным является состояние пород с учетом направления падения слоев и развитие трещин напластования.

При направлении в сторону склона вопрос о возможности соскальзывания отдельных пачек пород приобретает реальное значение. Этот эффект увеличивается при увлажнении породы, особенно при периодическом изменении горизонта воды.

В породах с слабыми цементационными связями (слабые известняки, глинистые песчаники, мергели, глины и т.п.) в условиях колебания уровня воды в водоеме, интенсивно формируется процесс поверхностного выветривания и выщелачивания. Соответственно, основой расчетов являются тип и характер цементации, а также степень выветренности породы.

В прочных скальных породах попеременное увлажнение контактов и заполнителя трещин снижает их прочность, создавая ослабленные зоны сложного очертания. При этом изменение гидродинамического давления определяет периодическое скопление воды в глубоких трещинах, которое влияет на величину и распределение напряжений в массиве. В зоне выветривания, при последующем увлажнении, это условие определяет развитие обвально-осыпных и оползневых явлений. Особое значение это явление приобретает при быстрой сработке уровней воды в водоеме.

Прогнозы размывов определяются типом пород и генетическим типом береговых склонов:

а) На денудационно размываемых берегах интенсивность развития определяется процессами выветривания с последующим смывом выветренного слоя. Основными расчетными показателями принимаются – скорость выветривания и показатель сохранности. Снижение интенсивности развития процесса определяется крупностью отдельностей разрушенных пород, выполняющих роль защитной отмостки. Крупность обломков может быть определена по формуле:

$$d_{cp} \geq 0,22A \frac{\gamma_1 K_\phi}{\gamma_1 - \gamma} \cdot \frac{m_0 \sqrt{m^2 - 1}}{mm_0} h \left(\frac{0,156\sqrt{\lambda}}{m\sqrt{n}} + 1 \right), \quad (\text{Ш.3.1})$$

где γ_1 и γ – удельные веса грунта и воды; K_ϕ – коэффициент формы обломков; $m = ctg \alpha$;

h, λ – высота и длина волны; n – коэффициент шероховатости откоса.

б) Развитие гравитационных смещений обуславливается характеристиками пород, тектоничностью, соотношением между ориентацией и крутизной склона, разрывов, складок. Возможность развития гравитационных склоновых процессов необходимо учитывать при крутизне склонов больше 12° .

Интенсивность гравитационных смещений находится в прямой корреляции с динамикой уровня режима водохранилища.

Коэффициент устойчивости откоса может быть определен по зависимости:

$$K_{уст} = \frac{\sum P \cos \alpha_i tg \varphi_i n + \sum C_i}{\sum P_i \cos \alpha_i}, \quad (\text{Ш.3.2})$$

где P – давление воды в т/м²; α_i – угол наклона откоса; φ – угол внутреннего трения; n – коэффициент шероховатости откоса; C_i – сцепление.

в) При наличии в отложениях легкорастворимых пород выделяются три стадии развития процессов активной суффозии, активного карста и суффозии и "стационарного" карста. Интенсивность процесса определяется степенью растворимости пород;

– при сложении берегов *гипсом* объем разрушений (Q_p) с 1 п.м. за срок (t_i), при средней высоте берега (H_{cp}) может быть определен по формуле: $Q_p = V_s t_i^{0,9} H_{cp}$, а скорость переработки (V_s) и отступление берега (S_p) за заданный срок, по зависимостям:

$$V_n = \frac{Q_p}{t_p}, \quad S_p = V_n t_i^{0,9} \quad (\text{Ш.3.3})$$

– при сложении берегов растворимой *сульфатной породой*, переслаивающейся с плохо растворимой породой (известняки, мергели), размеры переработки (Q_p) и отступление бровки берега (S_p) определяются по формулам:

$$Q_p = Q_0 + Q_r \ln \frac{t+t_p}{t_p} \quad \text{и} \quad S_p = S_0 + S_r \ln \frac{t+t_p}{t_p}, \quad (\text{Ш.3.4})$$

где S_0 – отступление бровки в метрах и Q_0 – объем размыва в первый год создания водохранилища, S_r и Q_r – те же показатели в условиях сложения берегов гипсом, t_p – время растворения 1 тонны гипса с одного погонного метра.

– в *закарстованных берегах*, сложенных сульфатными породами определение величины отступления берега или обрыва может быть установлено по зависимости $S = 2,587 \cdot T^{0,91}$, п объем обрушений – по формуле $Q = 2,58h_s T^{0,91}$.

В *карбонатных породах* интенсивность процесса снижается, и отступление бровки откоса может быть установлено по зависимости $S_k = 0,627 \cdot T^{0,87}$.

г) Формирование абразионно-размываемых берегов определяется условиями взаимодействия волнового потока и сопротивляемости пород размыву. Основными положениями методики прогнозирования являются: дифференцированный расчет по определению

морфологических элементов профиля разрушения, учет изменчивости во времени волнового воздействия согласно распределению квазистационарных функций и увязка с показателями уровня режима.

Зависимости по установлению углов откоса отмели должны включать значение параметров волн. За исходный профиль на каждом расчетном уровне принимается профиль, выработанный в предыдущем цикле абразии.

Согласно вышеуказанному, выделяются *три основных позиции расчета*:

I – при квазистационарном режиме, т.е. при медленном перемещении уреза с амплитудой колебания не более 6 м в годовом разрезе;

II – при неравномерном перемещении уровня воды (на высоту не более 10 м), с продолжительной стабилизацией уреза на отдельных высотных отметках;

III – при равномерном перемещении уреза в пределах призмы регулирования.

I. Для первой позиции при однородности геологического строения берега по высоте склона и незначительной сработке уровня воды в водохранилище (не более 6 м), за расчетный может быть принят уровень воды не менее 60% обеспеченности в годовом разрезе, при условии, что стояние его на этой отметке соответствует периоду действия штормов господствующего направления.

Переработка абразионных и абразионно-обвальных берегов определяется по формуле:

$$Q_p = EK_{\text{раз}} K_{\delta} t_{\delta}^B, \quad (\text{III.3.5})$$

где E – среднемноголетняя энергия волнения, K_{δ} – коэффициент высоты берега, $K_{\text{раз}}$ – коэффициент размываемости (табл. III.3.3, III.3.4; рис. III.3.2).

Таблица III.3.3

Значение коэффициентов K_{δ} и $K_{\text{раз}}$

№№ п/п	Класс пород	$K_{\text{раз}}$, м ³ /п.м.	K_{δ}
1	Очень легко размываемые породы	0,0065÷0,003	0,03
2	Легко размываемые породы (пески, суглинки, супеси со щебнем)	0,003÷0,001	0,035
3	Средней размываемости (тяжелые суглинки, озерные глины и др.	0,001÷0,0005	0,04
4	Трудноразмываемые (галечники, песчаники, глины)	менее 0,0005	0,05

Таблица III.3.4

Значение коэффициентов размываемости горных пород ($K_{\text{раз}}$) при воздействии волн

№№ п/п	Характеристики горных пород	Характер цементации	Пористость или трещиноватость	Характер размокания-разрушения	Коэфф. размываемости $K_{\text{раз}}$
1	2	3	4	5	6
1	Суглинок легкий, сильно загипсованный $C=0,06-0,01$ кг/см ²	–	Макропористый, $\Pi=48,6\%$	С момента затопления водой образец распадается и проваливается через сетку	до 0,0032

Таблица III.3.4 (продолжение)

1	2	3	4	5	6
2	Суглинок легкий, с редкой белоглазкой, $C = 0,09 \div 0,11$ кг/см ²	–	Макропористый, $\Pi = 40,6\%$	Через 5 мин. после затопления – трещины, через 15 мин. образец рассыпается на куски	до 0,0070
3	Суглинок тяжелый, местами плотный, комковатый, $C = 0,12 \div 0,18$ кг/см ²	–	Средней пористости $\Pi = 37,8\%$	Через 5 мин – изменений нет, через 8 мин (образец залит доверху) – вертикальные трещины, через 30 мин – бесформенная масса	до 0,0033
4	Песчаник граувакковый, неравномерно зернистый	Контактно – пористый глинисто-хлоритовый	Трещины, прямолинейные, отдельности 8×12 и 5×3 см	На второй день – распад до 2% по весу	до 0,0003
5	Песчаник граувакковый, крупнозернистый	Порово-контактный, хлоритово-карбонатный	Трещины и прослойки 3-4 мм. Слои до 50 см	Через 1 день раскрошилось до 56% по весу	до 0,00061
6	Песчаник граувакковый, сильно выветренный	Порово-хлоритовый	Сеть мелких трещин, прожилки окисления	За три часа распался на мелкие куски	до 0,00108
7	Песчаник тонкослоистый, рыхлый, сильно выветренный	Порово-хлоритовый	Сильно трещиноватый. Отдельности до 2-3 см	Через 15 мин превращается в бесформенную массу. Влажность глинистой части до $39 \div 46\%$	до 0,0042
8	Пачки пород – песчаники граувакковые, аргиллиты толстослоистые	–	Слои $0,4 \div 5,0$ см	Через час раскрошилось до 39% по весу	до 0,00097
9	Аргиллиты тонкослоистые	–	Слои $0,4 \div 5,0$ см	Через 32 мин образец разваливается на мелкие части	до 0,0039
10	Песчаники толстослоистые	Базальтный	Криволинейные трещины, заполненные гипсом	В сухом состоянии крепкие, увлажненные растрескиваются	до 0,0002
11	Песчаники аркозовые толсто слоистые	Базальтный	Крупные трещины, аполненные гипсом	В воде не размокает. Разрушение в натуре – разлом на крупные глыбы по трещинам.	до 0,0003

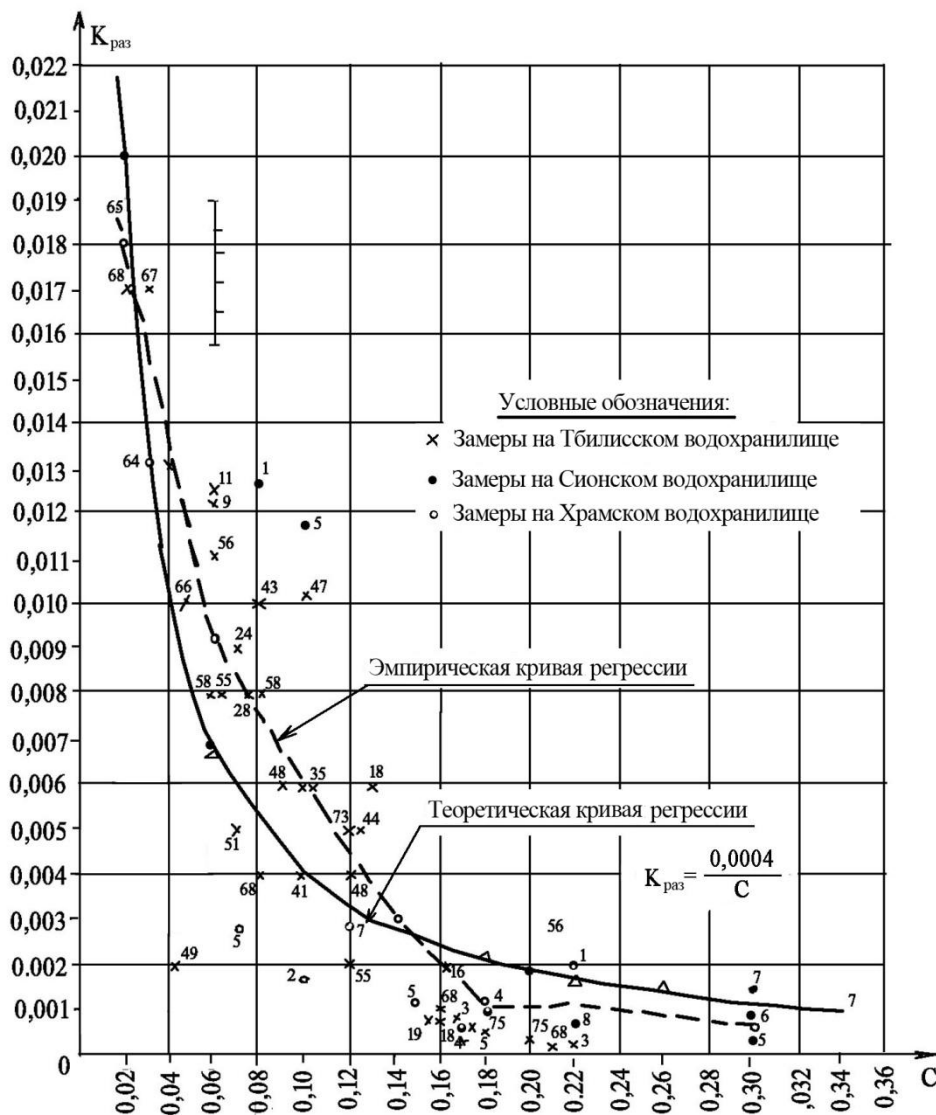


Рис. III.3.2 Зависимость коэффициента размываемости $K_{раз}$ от сцепления породы C , ($K_{раз} = 0,004/C$)

Форма профиля определяется графически путём нанесения на исходный профиль между нижним и верхним пределами размыва объема выработки грунта, площадью равной объему размыва (Q) и ограниченной уклонами надводной и подводной отмелей, определяемых на основе аналогий.

При сработке уровня воды более 10 м и при неоднородном строении береговых склонов используется метод Варазашвили Н.Г., учитывающий время воздействия волн, характер и скорость перемещения уровня воды в водохранилище [Варазашвили Н.Г., 2002].

II. Для второй позиции расчетов в условиях скачкообразного перемещения уровня воды до 10 м в водоеме с периодической стабилизацией на отдельных высотных отметках расчет выполняется последовательно на отдельных отметках стабилизации уровня воды по ходу перемещения уреза с определением на каждом уровне морфологических элементов профиля размыва: нижний предел размыва – a_2 ; осредненный угол устойчивого откоса отмели – $ctg \alpha$; верхний предел размыва – a_1 .

Построение прогнозируемого профиля производится по ходу перемещения уровня

воды в водохранилище с привязкой к расчетному горизонту. При этом за исходный, на каждом расчетном уровне, принимается профиль, выработанный в предыдущем цикле абразии.

Верхний предел размыва по профилю склона (a_1) на абразионных берегах зависит от высоты наката волн на откос ($h_{\text{нпир}}$) и волнового нагона ($h_{\text{в.н.}}$):

$$a_1 = h_{\text{чипир}} + h_{\text{в.н.}} \quad (\text{Ш.3.6})$$

(откладывается вверх по откосу от уровня воды, принятого при расчетах).

Нижний предел размыва (a_2) определяется в зависимости от типа грунта:

для несвязных грунтов:

$$a_2 = 0,08\bar{\lambda} \cdot \text{arcsch} \left[\frac{0,16\gamma n_u \bar{h}^2}{m_p \gamma_1 d_{\text{cp}} \cdot \bar{\lambda}} \right] \quad (\text{Ш.3.7})$$

для связных грунтов:

$$a_2 = 0,08\bar{\lambda} \cdot \text{arcsch} \left[\frac{0,825\gamma n_u \bar{h}^2}{m_p \bar{\lambda} (\gamma_1 d'_{\text{cp}} + 1,25K_0 C_y^H)} \right], \quad (\text{Ш.3.8})$$

где параметры волны (\bar{h} и $\bar{\lambda}$) определяются с учетом степени их трансформации в расчетном створе; γ_1 и γ – удельные веса агрегата грунта и воды; n_u коэффициент перегрузки, учитывающий изменение размывающей способности потока под влиянием пульсационного характера скоростей или другие случаи превышения нагрузок над расчетными значениями, $n_u = \frac{V'_{\Delta \text{max}}}{V'_{\Delta}}$, для волновых потоков можно принять $n_u = 0,4$; m_p – коэффициент условий работы, учитывающий влияние неучтенных в расчетах факторов (табл. Ш.3.5); d_{cp} – средний диаметр отдельностей (агрегатов) грунта в мм; K_0 – коэффициент однородности глинистых грунтов, характеризующий отклонение показателей сцепления от средних величин (в среднем $K_0 = 0,4$), [Мирцхулава Ц.Е. 1974]).

Таблица Ш.3.5

Значения коэффициентов работы m_p

Связные грунты Условия работы	m_p	Несвязные грунты Условия работы	m_p
1	2	3	4
Наличие наносов в коллоидальном состоянии более 0,1 кг/м ³	1,30	Откосы, сложенные песком $d = 0,25 \div 0,10$ мм	1,30
		То же при $d = 1,0 \div 3,0$ мм	1,50
Наличие крупных фракций наносов, корродирующих откос	0,75	Откосы, сложенные гравием $d = 3,0 \div 10$ мм	1,40
Дно и откосы покрыты растительностью	1,10	То же при $d = 10 \div 30$ мм	1,20
Периодическое увлажнение при колебаниях уровня воды в районах с сухим климатом	0,20	Откосы, сложенные галькой	1,10
То же в районах с влажным климатом	0,60	Каменистые откосы	1,00

Очертание динамического профиля равновесия, на отметках длительной стабилизации уровня воды, определяется в зависимости от свойств грунтов, согласно формулам:

для несвязных грунтов при наличии крупных фракций ($d > 0,25\text{мм}$):

$$\frac{m - m_0}{mm_0} = \frac{0,16\gamma n_u h^2}{m_p \lambda \gamma_1 d_{cp} sh(2RH)} \quad (\text{Ш.3.9})$$

при мелкофракционном грунте ($d < 0,25\text{мм}$):

$$\frac{m - m_0}{mm_0} = \frac{1}{\gamma_1 d_{cp}} \left[\frac{2,6\gamma h^2}{\lambda sh(KH)} - 2C_y^H K_0 \frac{m_p}{n_u} \right]; \quad (\text{Ш.3.10})$$

при связном глинистом грунте:

$$\frac{m - m_0}{mm_0} = \frac{0,035}{\gamma_1 d_{cp}} \left[\frac{7,35\gamma h^2 n_u}{\lambda m_p sh(2KH)} - K_0 C_y^H \right]. \quad (\text{Ш.3.11})$$

Ш. Для третьей позиции расчетов при непрерывном перемещении уровня воды крутизна подводной отмели устанавливается по зависимости:

$$\Delta m_n = m_{n+1} - m_n = 0,23 \frac{d_{cp}}{a_2} \left(\frac{V_{\Delta\Phi}^2}{V_{\Delta\delta}^2} - 1 \right) K_y t_i^{0,62} e^{-0,11x}, \quad (\text{Ш.3.12})$$

где соотношение фактических и допускаемых придонных скоростей $\left(\frac{V_{\Delta\Phi}}{V_{\Delta\delta}} \right)^2$ может быть определено по формуле:

$$\left(\frac{V_{\Delta\Phi}}{V_{\Delta\delta}} \right)^2 = \frac{2,16n_u h^2}{\lambda m_p (\gamma_1 d_{cp} + 1,25K_0 C_y^H) sh(2kH)} \quad (\text{Ш.3.13})$$

K_y – коэффициент сработки уровня воды:

$$K_y = 1 - \frac{V_{yp}}{V_{раз}} = 1 - \frac{\Delta h_{yp}}{\Delta h_{раз}}, \quad \text{где } \Delta h_{раз} = a_2 \left(1 - \frac{m_n}{m_{n+1}} \right), \quad (\text{Ш.3.14}).$$

a_2 и m_{n+1} определяются при условии стабильности уровня воды.

Отступление бровки откоса (Δb_i) за время (Δt_i) определяется по уравнению:

$$\Delta b_i = 0,23 d'_{cp} \Delta t \left[\left(\frac{V_{\Delta\Phi}}{V_{\Delta\delta}} \right)^2 - 1 \right] \quad (\text{Ш.3.15})$$

Аналогично определяются и остальные элементы.

Построение расчетного профиля размыва производится в привязке к намеченному расчетному уровню, согласно вычисленным элементам профиля размыва: ($a_2; a_1; \Delta m; \Delta b_i$). Интегральный (конечный) профиль размыва получается автоматически, как сумма частных его изменений. Крутизна надводного склона принимается равной естественному откосу грунта в водонасыщенном состоянии. Крутизна подводной отмели ниже предела размыва, при формировании аккумулятивной призмы, определяется по аналогам.

За основные расчетные горизонты принимаются:

- нормальный подпертый горизонт (НПУ), от которого вверх откладывается величина верхнего предела размыва (a_i);
- уровень мертвого объема (УМО), от которого вниз откладывается величина нижнего

предела размыва (a_2);

– промежуточные расчетные горизонты, согласно графику обеспеченности стояния уровня воды (25, 50 и 75% обеспеченности).

Время, необходимое для стабилизации процесса может быть определено по формуле:

$$t_{\text{ст}} = \frac{52,2a_2(m - m_{\text{ис}})}{\left[\left(\frac{V_{\Delta\Phi}}{V_{\Delta\delta}} \right)^2 - 1 \right] d'_{\text{сп}}} \quad \text{в часах.} \quad (\text{III.3.16})$$

Коэффициент 52,2 имеет размерность времени, m – крутизна отмели в равновесном профиле.

В случае, когда время воздействия волн принятой обеспеченности на заданной отметке меньше времени стабилизации процесса ($t_{\text{ст}}$), изменение крутизны подводной отмели за время стабилизации уровня на заданной отметке может быть представлено зависимостью:

$$\Delta m_n = m_{n+1} - m_n = \frac{0,23\Delta t_n d'_{\text{сп}}}{a_2} \left[\left(\frac{V_{\Delta\Phi}}{V_{\Delta\delta}} \right)^2 - 1 \right], \quad (\text{III.3.17})$$

в которой Δt_n – время воздействия волны на заданном уровне в часах.

При непрерывном перемещении уровня воды расчетное уравнение представлено в виде:

$$m_n = \frac{0,23\Delta t_n d'_{\text{сп}} K_t}{a_2} \left[\left(\frac{V_{\Delta\Phi}}{V_{\Delta\delta}} \right)^2 - 1 \right], \quad (\text{III.3.18})$$

где

$$K_t = 1 - \frac{V_{\text{yp}}}{V_{\text{раз}}} = 1 - \frac{\Delta h_{\text{yp}}}{\Delta h_{\text{раз}}}, \quad (\text{III.3.19})$$

где $\Delta h_{\text{раз}} = a_2 \left(1 - \frac{m_n}{m_{n+1}} \right)$, Δh_{yp} – вертикальное перемещение уреза за расчетный период, Δh_p

– глубина размыва в расчетном створе за расчетный период, где a и m_{n+1} определяются в условиях стабилизации уровня.

Соотношения фактической и допускаемой придонных скоростей в волновом потоке могут быть определены по уравнению:

$$\frac{V_{\Delta\Phi}^2}{V_{\Delta\delta}^2} = \frac{2,615a_u^2 n_u h_b^2}{Lm_p (\gamma d'_{\text{сп}} + 1,25K_0 C_y^H) sh(2kH)}, \quad (\text{III.3.20})$$

где a_b – коэффициент, учитывающий крутизну волн (табл. III.3.6), а H – глубина воды в расчетном створе.

Таблица III.3.6

λ/h	10	15	20	25
a_b	0,55	0,65	0,75	0,90

Осредненные данные для расчета переработки берегов горных водохранилищ, полученные на основе натуральных исследований на водохранилищах Грузии приведены в таблице III.3.7.

Таблица III.3.7

**Параметры переработки берегов горных водохранилищ за 10-ти летний период
(при равномерной циклической сработке до 20-25 м)**

Генетический тип берега	Подтип берега	Виды берегов	Характеристика комплекса береговых грунтов в зоне переработки	Параметры исходного профиля берега		Параметры прогнозируемого профиля берега			
				высота берега, м	крутизна откоса в град.	перемещение бровки откоса, м	углы откоса, градус		Объем разрушений
							в зоне сработки	в зоне наката воды	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Гравитационно-денудационные	Денудационные берега	Слабо денудированные	Долериты мелкокристаллические, сильно трещиноватые, четвертичные	до 60	25-75	1,0	20-70	–	–
		Сильно денудированные	Андезитобазальты сильно-трещиноватые, плиоценовые.	5-10	30-65	2,0	30-65	–	–
			Разнозернистые песчаники и трещиноватые известняки мелового и третичного возраста.	30-60	35-40	2,6	20-40	–	0,47
			Тонкослоистые глинистые песчаники.	20-40	25-50	3,0	7-10	12-18	2,29
			Средние и тонкослоистые песчаники и алевролиты эоцена.	15-30	10-20	10-18	6-9	8-14	16,5
	Флишевые отложения верхнего эоцена (песчаники, алевролиты, аргиллитоподобные глины)	10-20	12-25	10-30	5-8	6-10	38,0		
	Оползневые	Детрузивные (блоковидные)	Делювиальные суглинки (верхнечетвертичные)	15-50	20-40	20-28	5-9	6-10	101,0
		Деляпсивные (пластичные)	Песчаники с прослоями сланцеватых глин, глины сланцеватые и мергелистые (Майкоп)	10-25	18-35	10-25	18-35	1,8-2,5	72,5
		Оползні-потоки	Озерно-речные пролювиальные суглинки (средне и верхнечетвертичные)	8-20	20-25	Скорость перемещения до 3 м/год			
		Мелкофракционные	Мелкофракционные суглинки и суглинисто-обломочные наносы (среднечетвертичные)	15-20	20-60	15-20	12-15	13-18	61,5
	Крупнофракционные	Флишевые отложения (песчаники глины тонкослоистые, в эоцен)	12-20	10-18	12-25	8-12	8-15	35,6	
Абразионные	Коренные	Карстово-просадочные	Слоистые слабонергелистые трещиноватые известняки (баррем)	2-5	более 25	до 0,3	–	–	–
		Суффозионно-просадочные	Гипсовые лессовидные суглинки	10-25	8-25	30-42	6-10	7-13	214,0

Таблица III.3.7 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Абразионные	Коренные	Слабоперерабатываемые	Сильно выветренные лавовые отложения (четвертичные долериты)	до 50	20-70	до 0,4	20-70	–	3,20
		Среднеперерабатываемые	Сильно трещиноватые андезиты	5-10	37-70	до 0,3	30-60	–	0,60
			Трещиноватые разнo-зернистые песчаники (эоцен)	30-50	28-40	0,6	15-25	20-40	3,7
		Сильно перерабатываемые	Глинистые песчаники (эоцен)	20-40	15-40	0,9	8-10	9-15	7,6
			Тонкослоистые песчаники и алевролиты (переслаивание)	10-25	10-25	3,8	6-12	7-15	155,0
Абразионные	Размываемые	Поверхностного смыва	Почвенно-суглинистые, суглинистые и галечные отложения	3	6-5	2,0-3,0	3-5	5-9	30,00
		Слаборазмываемые	Суглинистые и валунно-галечные	3-5	10-16	3,0-10	6-10	11-13	9,5
		Средне-размываемые	Делювиальные суглинки Слабосцементированные конгломераты галечно-валунные и щебенисто-суглинистые отложения с включениями	15-50	20-40	10-20	10-13	12-30	53,0
				5-20	10-20	50	6-10	8-16	105,0
		Интенсивно-размываемые	Рыхло-связные отложения, лессовидные суглинки Делювиальные суглинки и суглинисто-обломочные аллювиальные отложения Озерно-речные суглинки нижнечетвертичные и среднечетвертичные Флишевые отложения верхнего эоцена Переслаивание суглинков разного состава и строения.	5-18	6-16	80-110	3-8	4-10	479,0
				15-45	20-40	20-30	8-10	10-13	116,5
				10-20	20-25	40-55	7-13	10-15	197,0
				12-23	15-28	до 10	5-10	8-15	135,0
				5-20	5-15	до 16	3-11	5-13	289,0
		Оползневые	Постоянно действующие Периодического действия	Делювиальные суглинки Песчаники с прослоями глин (пестроцветн. свита Майкопа).	10-40	15-45	50-20	3-6	8-10
10-30	18-35				до 35	10-18	10-20	78,0	
Делювиальные суглинки средне и верхнечетвертичные, пролювиальные суглинки, озерно-речные отложения, верхнечетвертичные	10-45			20-40	30-60	5-9	10-15	200-380	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в данной работе результаты исследований охватывают определенный круг вопросов, касающихся эко-эволюционных процессов горных водохранилищ Грузии. Проведенные исследования следует рассматривать как следующий этап на пути объяснения ряда явлений, свойственных горным водохранилищам.

Выпуск специальной технической литературы по горным водохранилищам весьма недостаточен и не соответствует современным требованиям.

Первые издания авторов – "Динамика внутриводоемных процессов горных водохранилищ Грузии", 2004 г. (на русском языке) и "Горные водохранилища Грузии и их воздействие на окружающую среду", 2010 г. (на грузинском языке), где систематизированы материалы различных исследований (в том числе исследований авторов) в области методики прогноза размеров и темпов переработки берегов горных водохранилищ и динамики волновых и седиментационных процессов – были с успехом использованы специалистами, работающими в области проектирования и эксплуатации. Прошло относительно немного времени с момента выхода их в свет, однако исследование динамики различных процессов в горных водохранилищах получили значительное развитие.

Собранные материалы позволили значительно развить отдельные вопросы, изложенные в первых изданиях, и заново описать некоторые новые положения.

Ряд вопросов, затронутые в настоящей работе, требует дальнейших исследований с целью получения строгих решений. Авторы полагают, что изложенные ими результаты исследований могут быть использованы для прогнозирования пути дальнейших исследований по данной проблеме.

Создание данной монографии продиктовано необходимостью строительства новых горных водохранилищ в Грузии и масштабными природными катаклизмами последних лет в виде наводнений, оползней, обрушений береговых откосов, заиления и занесения чаши водохранилищ, селевых потоков и возможных волн прорыва на плотинах, образованных наводнениями [Gavardashvili G.V., 2003, 2009, 2010, 2011; Gvelesiani T.L., 2009, 2010] и др., которые порой наносят непоправимый ущерб.

Стимулом издания книги являлись многочисленные публикации авторов в ведущих журналах России, НАН Грузии, международных научно-технических конференциях, за что авторы весьма благодарны членам редколлегии научных журналов и сборников докладов международных конференций .

Использованная литература

1. **Артамонов К.Ф., Крошкин А.Н., Бытров Н.Н.** Русловые наносохранилища на малых горных реках. //Ж. "Гидротехника и мелиорация", М., №6, 1974 г.
2. **Варазашвили Н.Г., Гобечия Г.Н.** Инженерно-экологические проблемы создания и эксплуатации водохозяйственных систем с водохранилищами в горных регионах. Тбилиси, "Мецниереба", 2002, 512 с.
3. **Варазашвили Н.Г., Гобечия Г.Н.** Особенности формирования водного хозяйства горных регионов. Тбилиси, "Мецниереба", 1996, 234 с.
4. **Воропаев Г.В., Авакян А.Б.** Водоохранилища и их воздействие на окружающую среду. М., "Наука", 1986, 367 с.
5. **Gavardashvili G.V., Ayyub B. M., Sobota J., Bournaski E., Arabidze V.** Simulation of Flood and Mud Flow Scenarios in Case of Failure of the Zhinvali Earth Dam. International Symposium (With the support of UNESCO) on FLOODS AND MODERN METHODS OF CONTROL MEASURES. 23-28 September 2009, Tbilisi, Georgia, pp.148-163.
6. **Гавардашвили Г.В.** Компьютерная имитация наводнения в случае разрушения ингурской плотины. Сборник Научных Трудов Института Водного Хозяйства Грузии, №65, Тбилиси, 2010, с. 42 – 52.
7. **Gavardashvili G.V.** Forecast of Flooded Territories By Flooding In Case of Possible Accident of Shaori Rockfill Dam. The International Conference on "Protection of Agrobiodiversity and Sustainable Development of Agriculture. November 24-25, 2010, Tbilisi, Georgia. pp.295-299.
8. **გავარდაშვილი გ.ვ.** ბუნებრივი და ტექნოგენური კატასტროფებისას მთის ლანდშაფტების უსაფრთხოების ღონისძიებები. თბილისი, „უნივერსალი“, 2011, 237 გვ.
9. **Gavardashvili G.V.** Mathematical Modelling of Flood Caused by Possible Failure of Lajanuri Dam. Collected Papers of Institute of Water Management of Georgian Technical University, N66, Tbilisi, 2011, pp.13-19.
10. **Gvelesiani T.L., Matcharadze G.T., Nonoev I.K., Nieto D. and Piccolo M.** Results of Geodynamic Investigation at Enguri HPP as Base of Predicting the Extreme Hydrodynamic Processes in the Reservoir and the Dam Safety. Georgian Engineering News. N1, 2003.
11. **Гвелесиани Т.Л.** Теория генерации волн в приложении к задачам гидроэкологии. Тбилиси, "Универсал", 2009, 245 с.
12. **Gvelesiani T.L.** Mathematical Models of Transient Waves Generation in Problems of Environment. Tel-Aviv, 2010, 216 p.
13. **Гвелесиани Л.Г., Шмальцель И.П.** Заиление водохранилищ ГЭС. Тбилиси, "Энергия", 1968.
14. **Джарбашян Э.Г., Саноян В.Г.** О заилении водохранилищ в горных условиях. /В кн. "Заиление водохранилищ и борьба с ним", М., 1970.
15. **Золотарев Г.С.** Инженерно-экологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработка. //Тр. лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР, 1956, т. 12, с. 84-96.
16. **Iordanishvili I.K.** Development of Wave Processes on "Bottom" Water of Mountain Reservoirs. //Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, Tbilisi, 2000, No. 2(162), pp. 309-311.
17. **Иорданишвили И.К.** Динамика внутриводоемных процессов горных водохранилищ Грузии. Тбилиси, "Мецниереба", 2004, 194 с. (монография).
18. **Iordanishvili I.K., Varazashvili N.G.** Distribution of Velocities of Running Up Flow on Slopes Affected by Waves. //XX Congress of the International Association for Hydraulic Research, Moscow, IAHR, USSR, 1983, v. VII, pp. 154-158.
19. **Иорданишвили И.К., Варазашвили Н.Г.** Справочник "Водоохранилища Закавказья". Книга 1. Водоохранилища Грузинской ССР, часть 1, М., ЦБНТИ, Госконцерн Водстрой, 1991, 62 с.
20. **იორდანიშვილი ი.კ., ივრიანიშვილი კ.თ.** საქართველოს მთის წყალსაცავები და მათი ზემოქმედება გარემოზე. თბილისი, "უნივერსალი", 2010, 340 გვ.
21. **Иорданишвили И.К., Вартанов А.М., Вартанов М.В.** Компьютерный расчет внутриводоемных процессов горных водохранилищ. //Сб. тр. Института водного хозяйства, №65, Тбилиси, 2010, с. 83-87.

22. იორდანიშვილი ი., იორდანიშვილი კ. აღმოსავლეთ საქართველოს ბუნებრივი წყლის ძირითადი მარაგისა და წყლის რესურსების ფორმირებისა და გამოყენების თავისებურებანი. თბილისი, 2008, 144 გვ. (მონოგრაფია).
23. იორდანიშვილი ი., იორდანიშვილი კ. დასავლეთ საქართველოს ბუნებრივი წყლის ძირითადი მარაგისა და წყლის რესურსების ფორმირებისა და გამოყენების თავისებურებანი. თბილისი, 2009, 158 გვ. (მონოგრაფია).
24. **Iordanishvili I., Iordanishvili K., Iremashvili I.** Assessments of Ecological Reliability of Mountain Reservoirs Given Increased Frequency of Floods (as exemplified by the Sioni Reservoir). //International Symposium on "Floods and Modern Methods of Control Measures". Tbilisi, Georgia, 2009, pp. 202-209.
25. იორდანიშვილი ი., იორდანიშვილი კ., ხოსროშვილი ე., ხუბულავა ი. გლობალური დათბობა და მისი შედეგები. //ქ. „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, თბილისი, 2008, №1-3 გვ. 70-75.
26. **Иорданишвили И.К.** Исследование гидродинамического режима мелководной зоны на горных водохранилищах. //Сб. тр. V конференции "Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей", М., 1999, с. 44-46.
27. **Иорданишвили И.К.** Особенности развития внутриводоемных процессов на горных водохранилищах. //Ж. "Водные ресурсы", т. 22, №6, М., 2000, с. 678-686.
28. **Иорданишвили И.К.** Возможности оптимального использования системного анализа при изучении гидрологических процессов в горных водохранилищах. //Ж. "Энергия", №1, Научно-исследовательский институт энергетики, Тбилиси, 2000, с. 96-99.
29. **Иорданишвили И.К.** Особенности режима мелководий горных водохранилищ Грузии. //Сб. тр. Института водного хозяйства и инженерной экологии "Экологическая устойчивость, безопасность, надежность", Тбилиси, 2003, с. 54-60.
30. **Иорданишвили И.К.** Оценка надежности крепления плотин и берегов горных водохранилищ. //Международный симпозиум по проблемам проектирования, строительства и эксплуатации ГТС, Тбилиси, ГТУ, 2000, с.147-149.
31. **Иорданишвили И.К.** Параметризация волновых процессов на горных водохранилищах. //Сб. тр. V конференции "Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей", М., 1999, с. 46-47.
32. **Иорданишвили И.К.** Системный подход к параметризации волновых процессов на горных водохранилищах. //Ж. "Гидротехническое строительство", №12, М., 2001, с. 16-31.
33. იორდანიშვილი ი. სისტემური ანალიზის გამოყენება ჰიდროელექტროსადგურების წყალსაცავებში ტალღების ჰიდრაულიკის შესწავლისას. //ქ. „ენერჯია“, №4/98, თბილისი, საქართველოს ენერჯეტიკის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი, 1998, გვ. 96-99.
34. **Иорданишвили И.К., Хосрошвили Е.З., Кикнадзе Х.Л.** Об одном подходе теоретического прогнозирования волн в прибрежной зоне горных водохранилищ. //Сб. тр. Института водного хозяйства Грузии, Тбилиси, 2007, с. 110-118.
35. **Иорданишвили-Радченко И.К.*)** Гидравлика элементов волн и берегозащит "Человек и биосфера". МАБ, проект №4, М., Гидрометеиздат, 1987, с. 10-12, 143-144.
36. **Иорданишвили-Радченко И.К.** Влияние шероховатости и сквозности откоса на высоту наката. //В кн.: "Тезисы юбилейной конференции молодых ученых, посвященной 50-летию основания ГрузНИИГиМ", Тбилиси, "Мецниереба", 1979, с. 42-44.
37. **Иорданишвили-Радченко И.К., Варазашвили Н.Г., Макацария А.П.** К вопросу выбора технико-экономических критериев оценки рентабельности водохранилищ горных зон. //В кн.: "Труды координационных совещаний по гидротехнике", вып. 107, "Водохранилища и их воздействие на окружающую среду", Л., "Энергия", 1976, с. 135-146.
38. **Иорданишвили-Радченко И.К., Варазашвили Н.Г.** Уточнение расчета трансформации волны на крутых склонах горных водохранилищ. //В кн.: "Труды координационных совещаний по гидротехнике", вып. 107, "Водохранилища и их воздействие на окружающую среду". Комплексное использование ГЭС и охрана окружающей среды". Л., "Энергия", 1979, с. 127-135.
39. **Иорданишвили-Радченко И.К.** Исследование изменения параметров волн в прибрежной зоне при большой крутизне берегов склонов. //В кн.: Республиканская научная конференция молодых

*) До 1972 г. труды И.К. Иорданишвили печатались с фамилией И.К. Радченко

- ученых и аспирантов. "Водохозяйственное строительство и мелиорация в Грузии. Тбилиси, 1981, с. 50-51.
40. **Иорданишвили-Радченко И.К.** Исследование искусственного повышения шероховатости поверхности откоса. //В кн.: "Берега водохранилищ", Иркутск, 1980, с. 143-144.
 41. **Иорданишвили-Радченко И.К.** К вопросу определения параметров волн в створе обрушения. //Сб. научных трудов "Вопросы гидромелиорации в Грузии", вып. 4, ГрузНИИГиМ, Тбилиси, 1977, с. 71-75.
 42. **Иорданишвили И.К., Иорданишвили К.Т., Иремашвили И.Р., Хосрошвили Е.З.** Экологическая надежность срока эксплуатации водохранилищ Грузии. //Межд. научно-техническая конференция "Устойчивое развитие и охрана окружающей среды". Груз. Техн. Университет, Тбилиси, 2010 г., с. 277-280.
 43. **იორდანიშვილი ი., იორდანიშვილი კ., ჭარბაძე ზ., ჯავახიშვილი ლ.** საქართველოს მთის წყალსაცავების სელდემენტაციური პროცესების ეკოლოგიური საიმედოობის შეფასება. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი, თბილისი, 2011 წ., 10 გვ.
 44. **Иорданишвили-Радченко И.К.** К вопросу уточнения зависимостей по расчету трансформации волн на откосе. //В кн.: V Республиканская научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов. Тбилиси, 1976, с. 514-515.
 45. **Иорданишвили-Радченко И.К.** Некоторые данные по разрушению одиночных волн на непроницаемых гладких откосах. //Сб. научных трудов "Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними", вып. 4, ГрузНИИГиМ, Тбилиси, 1978, с. 63-72.
 46. **Иорданишвили-Радченко И.К.** О некоторых аспектах расчета наката волн на крутые откосы. //В кн.: Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. 122, О., "Энергия", 1977, с. 207-212.
 47. **Иорданишвили-Радченко И.К.** Определение зоны активного воздействия волн на крутые откосы. //В кн.: Тезисы докладов научно-технического семинара "Проблемы исследований побережий водохранилищ в связи с их освоением для целей строительства и других нужд народного хозяйства", Пермь, 1977, с. 19-20.
 48. **Калашников В.И.** Тайны воды: реки, озера, моря и океаны. 2008.
 49. **Качугин Е.Г.** Геологическое изучение динамики берегов водохранилищ. М., "Наука", 1975.
 50. **Киладзе Р.М.** Гидравлика потока при прямом и обратном движении волны на откосе. //Сообщения Академии Наук Грузинской ССР, т. XXXIX, Тбилиси, 1965, с. 129-135.
 51. **Кутовая В.И.** Расчет заиления горных водохранилищ и мероприятия по уменьшению его объема. //Сб. Гидротехническое строительство и вопросы энергетики в горных условиях, М., "Энергоиздат", 1981.
 52. **Лапшенков В.С.** Прогнозирование заиления верхних бьефов гидроузлов. Борьба с наносами в водозаборных сооружениях оросительных каналов. М., 1975.
 53. **Малков А.Б.** Заиление Каракумского водохранилища. //"Гидропроект", М., 1964, №12.
 54. **Метревели Г.С.** Водоохранилища Закавказья. 1985, 131 с.
 55. **Окунь Я.** Факторный анализ. М., Статистика, 1976.
 56. **Пышкин Б.А.** Динамика берегов водохранилищ. Киев, "Наукова думка", 1973, 413 с.
 57. **Стокер Д.** Волны на воде. М., "Иностранная литература", 1959, 617 с.
 58. **Скрыльников В.А.** Расчет заиления водохранилищ. //Ж. "Гидротехническое строительство", №8, М., 1988, с. 30-33.
 59. **Финаров Д.П.** Динамика берегов и котловин водохранилищ ГЭС СССР. Л., "Энергия", 1974, 243 с.
 60. **Чоговадзе Г.И., Мгебришвили И.М., Ломов И.Е.** Ингурская гидроэлектростанция. М., "Энергоатомиздат", 1987, 200 с.
 61. **Шамов Г.И.** Заиление водохранилищ. М., "Гидрометеиздат", 1939.
 62. **Широков В.М.** Формирование берегов и ложа крупных водохранилищ Сибири. Новосибирск, "Наука", 1974, 172 с.
 63. **Широкова В.А. Фролова Н.Л.** Океаны и моря. М., "Академкнига", 2007.
 64. **ყრუაშვილი ი.** წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვა, თბილისი, 2008 წ., 320 გვ.

Ирина Константиновна Иорданишвили

Доктор технических наук, старший научный сотрудник Института Водного Хозяйства Грузинского Технического Университета, руководитель отдела водохранилищ и моря. Автор более 70 научных публикаций в отечественных и зарубежных научных журналах, в том числе 5 монографий.

Печатается в Российских журналах "Экологические системы и приборы", "Гидротехническое строительство", "Водные ресурсы", а также в "Сообщениях" НАН Грузии, тематических сборниках Института Водного Хозяйства Грузинского Технического Университета.

Константин Теймуразович Иорданишвили

Кандидат технических наук, научный сотрудник Института Водного Хозяйства Грузинского Технического Университета. Автор более 30 научных публикаций в отечественных и зарубежных научных журналах, в том числе три монографий (соавтор). Принимал участие в работе ряда международных конференций.