

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
РЕЖИМ ОЗЕР
И ВОДОХРАНИЛИЩ СССР**

**ВОДОХРАНИЛИЩА
СРЕДНЕЙ АЗИИ**

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ СССР

А. М. Никитин

ВОДОХРАНИЛИЩА СРЕДНЕЙ АЗИИ

Под редакцией
канд. геогр. наук Ю. Н. ИВАНОВА



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1991

Справочник-монография является первым обобщением материалов по гидрометеорологическому режиму водохранилищ Средней Азии, где рассматриваются вопросы изученности, типизации и распространения водохранилищ по территории Средней Азии, проведен морфометрический анализ их чаш, рассмотрен уровень и ледово-термический режим, выполнен расчет водных балансов водохранилищ и оценены их водные ресурсы, освещены вопросы динамики водных масс и заиления чаш водохранилищ, характеристика гидрохимического режима и оценка качества воды водохранилищ. Проведена оценка изменения водных запасов водохранилищ.

Рассчитан на специалистов-гидрологов, географов, гидротехников и работников водного хозяйства.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Средняя Азия, страна древнейшего орошаемого земледелия, в настоящее время испытывает острейший дефицит водных ресурсов, без покрытия которого немислимо дальнейшее развитие производительных сил региона.

Развитие орошаемого земледелия, интенсификация сельского хозяйства, освоение новых и улучшения мелiorативного состояния сельскохозяйственных земель обусловило все возрастающее использование водных ресурсов, их регулирование, переброску стока в районы орошения и создание больших и малых водохранилищ. Только за последние 30 лет на территории Средней Азии было введено в эксплуатацию около 40 водохранилищ.

Общий объем водных масс, заключенных в искусственных водоемах, оценивается в $61,6 \text{ км}^3$, что составляет около 50 % водных ресурсов рек Средней Азии и позволяет обеспечивать гарантированную отдачу стока рек в объеме 90 км^3 в год. Общая площадь водной поверхности водохранилищ оценивается в 3949 км^2 , что составляет 6 % площади орошаемых земель среднеазиатского региона.

При столь высокой зарегулированности стока в изменении его режима под влиянием хозяйственной деятельности среди прочих антропогенных факторов исключительно велика роль водохранилищ, вызывающих ряд не только количественных, но и качественных изменений показателей водных ресурсов. В гидрологическом аспекте влияние водохранилищ на естественный гидрологический режим водных систем проявляется в изменении уровня и ледово-термического режимов, внутригодового распределения жидкого и твердого стока, минерализации и ионного состава воды, гидробиологических показателей водоемов как сред обитания, процессов загрязнения и самоочищения вод.

Справочник-монография «Гидрометеорологический режим водохранилищ Средней Азии» представляет первое наиболее полное обобщение результатов наблюдений на водохранилищах, а также специализированных исследований, проведенных в основном в последнее двадцатипятилетие.

При написании справочника-монографии использованы «Материалы наблюдений на озерах и водохранилищах» — дополнение к гидрологическому ежегоднику, «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхности вод суши», отчеты специализированных исследований на озерной сети среднеазиатских республиканских управлений по гидрометеорологии, а также архивные материалы научно-исследовательских и проектно-изыскательских институтов, занимающихся вопросами проектиро-

вания и эксплуатации водных ресурсов Средней Азии.

Помимо материалов наблюдений, полученных на стационарной и гидрометеорологической сети Госкомгидромета СССР на водохранилищах Средней Азии, использованы справочные и литературные источники, гидрографические описания и отчеты экспедиционных исследований [4—7, 16, 19, 22, 30, 31, 36, 37, 41, 42, 49, 50, 58, 59, 82—85, 89, 128—130, 138—142, 154, 156].

Вопросы физико-географических, климатических и метеорологических условий среднеазиатского региона рассматриваются в справочниках-монографиях «Ресурсы поверхностных вод» по бассейнам рек Амударьи, Сырдарьи, Чу, Талас и оз. Иссык-Куль и в настоящем издании не приводятся [120—122].

Приведенные в справочнике-монографии данные могут широко использоваться при гидрометеорологическом обосновании проектов по комплексному, рациональному использованию водных ресурсов среднеазиатского региона в различных отраслях народного хозяйства.

Глава 10 «Гидрохимический режим и качество вод водохранилищ» написана в соавторстве и с привлечением материалов В. А. Николаенко.

Подготовка материалов к справочнику и расчетных характеристик гидрометеорологического режима водохранилищ Киргизской ССР выполнены сотрудниками гидрографической партии Киргизгидромета В. Н. Шило, Н. А. Бобровниковой, Н. П. Прищепиной; Таджикской ССР — сотрудницей отдела гидрологии Таджгидромета Н. Я. Мерзляковой, Туркменской ССР — сотрудниками гидрографической партии Туркменгидромета Т. М. Курповской, М. Р. Мансимовым, Узбекской ССР — сотрудником ККГМО Узгидромета А. А. Либертом.

В расчетах и оформлении монографии приняли участие Д. Д. Нурбаев, Т. В. Кудышкин, Г. М. Соловьев, Л. Ю. Гадяцкая, С. А. Козлова, О. В. Портнова, которым автор выражает благодарность.

Автор искренне благодарит директора САНИГМИ Н. Н. Аксарина за постоянное внимание, полезные рекомендации и советы, которые были использованы автором при написании монографии.

Особую признательность автор выражает заведующему отделом гидрологических исследований САНИГМИ Ю. Н. Иванову и Н. Е. Горелкину за ценные замечания, высказанные при написании данной работы и подготовке ее к изданию.

Монография рассмотрена и одобрена Ученым Советом САНИГМИ Госкомгидромета СССР.

СОКРАЩЕННЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ И ПРИНЯТЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

АН	— Академия наук	Таджгидромет	— Таджикское республиканское управление по гидрометеорологии
ГМС	— гидрометеорологическая станция	Туркменгидромет	— Туркменское республиканское управление по гидрометеорологии
Госкомгидромет СССР	— Государственный комитет СССР по гидрометеорологии	Средазгипровод-хлопок	— Среднеазиатский государственный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по ирригационному и мелиоративному строительству
ГГИ	— Государственный гидрологический институт	ТашГУ	— Ташкентский государственный университет им. В. И. Ленина
ГМС	— Гидрометеорологическая станция	ТОРГО	— Туркестанский отдел Русского географического общества
ГМО	— горизонт мертвого объема	Узгидромет	— Узбекское республиканское управление по гидрометеорологии
ГГО	— Государственная геофизическая обсерватория им. А. И. Войкова	УГМС	— управление гидрометеорологической службы
ККГМО	— Кайраккумская гидрометеорологическая обсерватория	УЕГМС	— управление единой гидрометеорологической службы
Киргизгидромет	— Киргизское республиканское управление по гидрометеорологии	УВХ	— управление водного хозяйства
ММ и ВХ	— Министерство мелиорации и водного хозяйства	МВХ	— Министерство водного хозяйства
ОГП	— Озерная гидрологическая станция	Узбекэнерго	— Районное энергетическое управление Узбекской ССР
САГУ (ныне ТашГУ)	— Среднеазиатский (ныне Ташкентский) государственный университет им. В. И. Ленина		
Сазгипровод	— Среднеазиатское отделение Государственного института по изысканиям и проектированию водохозяйственных и гидротехнических сооружений		
Сазводпроиз	— Среднеазиатский трест по изысканиям и проектированию водохозяйственных и гидротехнических сооружений		
САНИГМИ (САРНИГМИ, САНИИ)	— Среднеазиатский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт им. В. А. Бугаева		

б. — большой (ая); бас. — бассейн; б. н. — без названия; вост. — восточный; г. — год; гг. — годы; др. — другие; изд. — издание, кишл. — кишлак; клх — колхоз; м. — малый; макс. — максимальный; млн — миллион; млрд — миллиард; наиб. — наибольший; наим. — наименьший; оз. — озеро; отн. — относительный (ая); пос. — поселок; пр. — приток; прил. — приложение; р. — река; рис. — рисунок; с. — село; сев. — север; свх — совхоз; ср. — средний; сут — сутки; тр. — труды; табл. — таблица (цы); хр. — хребет; ч — час; ЮВ — юго-восток; ЮЗ — юго-запад; УОС — управление оросительных систем.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОДОХРАНИЛИЩАХ И ИЗУЧЕННОСТИ ИХ РЕЖИМА

Развитие орошаемого земледелия и гидротехнического строительства Средней Азии, освоение новых и улучшение мелиоративного состояния эксплуатируемых земель на всех этапах характеризовалось возрастающим использованием водных ресурсов, их перерегулированием, переброской стока в орошаемые зоны и сопровождалось строительством больших и малых водохранилищ.

Начало строительства водохранилищ на территории Средней Азии уходит корнями в глубину веков. По сведениям арабских географов средневековья, первые водохранилища в Средней Азии существовали уже в X—XI вв. [145]. Из них плотина на р. Османсай сохранилась и до наших дней, а плотина Султанбент на протяжении столетий неоднократно разрушалась в результате катастрофических паводков и войн и восстанавливалась вновь. Строительство современных водохранилищ было начато еще в конце прошедшего столетия и получило наибольший подъем во второй половине нынешнего. Первые водохранилища были построены в долине р. Мургаб в 1896 г. — одно русловое и два наливных (Гиндукушских) — общим объемом 13 млн м³, а в 1909—1910 гг. Султанбентское и Иолатанское общим объемом 65 млн м³.

Период послереволюционного строительства ознаменовался созданием новых ирригационных систем и реконструкцией старых. К 1940 г. было построено Ташкепринское и реконструированы водохранилища, эксплуатировавшиеся в Мургаб-Тедженском оазисе. В начале сороковых годов приступили к строительству плотин водохранилищ Уртатокайского на р. Кассансай в Ферганской долине и Каттакурганского в долине р. Зеравшан, которое шло поэтапно и было закончено в начале пятидесятых годов. За 30 лет (50—80-е годы) было построено свыше 40 водохранилищ, наиболее крупными из которых являются Южно-Сурханское, Учкызылское, Пачкамарское, Чимкурганское, Куюмазарское, Нурекское, Талимарджанское, Тюяму-юнское, Кайраккумское, Чардаринское, Каркидонское, Ахангаранское, Туябугузское, Кировское, Бугуеньское, Ортотокойское, Тедженское II, Сары-Языское, Хауз-Ханское и др. В стадии завершения строительства находится Гиссаракское водохранилище, начато строительство Рогунского водохранилища.

Водохранилища Средней Азии приурочены в основном к озеровидным расширениям речных долин, а также к замкнутым бессточным котловинам. При этом водохозяйственные и технико-экономические факторы выбора места водохранилища, типа и размеров вододерживающих плотин имеют теснейшую зависимость от морфологических особенностей форм рельефа, планируемых под затопление и строительство плотин.

На первых этапах строительство водохранилищ велось преимущественно на равнинных территориях, максимально приближенных к орошаемым зонам. При этом в некоторых случаях водохранилища существенно изменяли сложившийся под влиянием природно-климатических факторов сток рек, а также физико-географические условия прилегающих территорий (районов). Наиболее значи-

тельное влияние на эти факторы оказывают большие и средние водохранилища, расположенные в каскаде (Токтогульское — Андижанское — Кайраккумское — Чардаринское).

В 60-е годы строительство водохранилищ переносится в горные районы, что не случайно, так как горные долины в силу своих морфологических особенностей обладают благоприятными озеровидными расширениями для создания водохранилищ и сужениями для создания плотин. Будучи расположенными на значительных высотах, они охватывают большие подкомандные площади зон орошения и, в отличие от равнинных водохранилищ, обладая малыми площадями зеркала, при значительных объемах водных масс имеют меньшие объемы безвозвратных потерь на испарение с водной поверхности.

По состоянию на 1988 г., на территории среднеазиатского региона в бассейнах рек Амударья, Сырдарья, Чу, Таласа и Атрека, а также областей внутреннего стока Туркмении насчитывается 60 водохранилищ с объемом не менее 10 млн м³ каждое (рис. 1.1). Следует отметить, что на территории Средней Азии расположено 15 % общего числа водохранилищ СССР, объем каждого из которых превышает 50 млн м³.

Общий объем водных масс, заключенных в искусственных водоемах, оценивается в 61,6 км³, что составляет около 50 % водных ресурсов рек Средней Азии и позволяет обеспечивать гарантированную отдачу стока среднеазиатских рек в объеме 90 км³ в год.

Общая площадь водной поверхности водохранилищ оценивается в 3949 км², что составляет 6 % площадей орошаемых земель среднеазиатского региона.

Распространение водохранилищ по речным бассейнам и высотным зонам региона, а также их

Таблица 1.1

Распределение водохранилищ Средней Азии по градации высотных зон

Высота, м над ур. моря	Река			Туркме- ния	Средняя Азия	% общего колич- ества
	Аму- дарья	Сыр- дарья	Чу, Та- лас			
Количество						
0—500	10	5		15	30	50
500—1500	7	17	5		29	48
1500			1		1	2
Всего	17	22	6	15	60	100
Площадь, км ²						
0—500	1256,3	1389,7		494,3	3140,3	79
500—1500	206,7	464,2	112,6		783,5	20
1500			25,0		25,0	1
Всего	1463,0	1853,9	137,6	494,3	3948,8	100
Объем, млн м ³						
0—500	11468,6	9357,5		2119,1	22945,2	37
500—1500	11826,3	25147,5	1238,7		38212,5	62
1500			470,0		470,0	1
Всего	23294,9	34505,0	1708,7	2119,1	61627,7	100



Рис. 1.1. Схема расположения водохранилищ Средней Азии.

Водохранилища объемом: 1 — > 500 млн м³, 2 — 50—500 млн м³, 3 — < 50 млн м³. Нумерация водохранилищ дана по табл. 2.1.

градациям по основным параметрам (площадям водного зеркала и объемам водных масс) имеет весьма пеструю картину (табл. 1.1, 1.2, 1.3).

Таблица 1.2

Распределение водохранилищ Средней Азии по градации площади их водного зеркала

Градация площади водного зеркала, км ²	Река			Туркме- ния	Средняя Азия	%
	Аму- дарья	Сыр- дарья	Чу, Та- лас			
Количество						
0—50	11	17	5	13	46	77
50—250	5	2	1	2	10	17
250	1	3			4	6
Всего	17	22	6	15	60	100
Площадь, км ²						
0—50	123,5	153,4	59,9	208,8	545,6	14
50—250	549,5	123,5	77,7	285,5	1036,2	26
250	790,0	1577,0			2367,0	60
Всего	1463	1853,9	137,6	494,3	3948,8	100
Объем, млн м ³						
0—50	1603,9	4175,0	1088,7	584,1	7551,7	12
50—250	14391,0	2120,0	620,0	1535,0	18666,0	30
250	7300,0	28210,0			35510,0	58
Всего	23294,9	34505,0	1708,7	2119,1	61627,7	100

В бассейнах рек Амударьи и Сырдарьи насчитывается соответственно 17 и 22 водохранилища —

в Туркмении 15, в бассейнах рек Чу и Талас — 6. Основные площади водной поверхности водохранилищ расположены в бассейне р. Сырдарьи

Таблица 1.3

Распределение водохранилищ Средней Азии по градации объемов их водных масс

Объем, млн м ³	Амударья	Сырдарья	Чу, Талас	Туркменин	Средняя Азия	%
Количество						
0—50	5	4	2	11	22	37
50—500	6	13	2	2	23	38
500	6	5	2	2	15	25
Всего	17	22	6	15	60	100
Площадь, км ²						
0—50	18,6	10,1	3,4	133,8	165,9	4
50—500	104,9	166,5	30,5	75,0	376,9	10
500	1339,5	1677,3	103,7	285,5	3406,0	86
Всего	1463,0	1853,9	137,6	494,3	3948,3	100
Объем, млн м ³						
0—50	114,9	112,0	17,5	234,1	478,5	1
50—500	1489,0	1543,0	521,2	350,0	4803,2	8
500	2169,1	31950,0	1170,0	1535,0	56346,0	91
Всего	23294,9	34505,0	1708,7	2119,1	61627,7	100

(1854 км²). Здесь же сосредоточены и основные объемы водных масс — более 34,5 км³. Полезная емкость водохранилищ бассейна р. Сырдарьи составляет 30 км³, что позволяет осуществлять мно-

полетнее регулирование стока с почти полным использованием водных ресурсов бассейна и гарантированной водоотдачей в $33,5 \text{ км}^3$ [19, 58, 59].

В бассейне р. Амударьи площадь зеркала водохранилищ оценивается в 1463 км^2 , полный объем содержащихся в них водных масс — в $23,3 \text{ км}^3$. В бассейнах рек Чу и Талас расположены шесть значительных водохранилищ объемом $1,7 \text{ км}^3$ при площади водного зеркала 138 км^2 , имеется масса

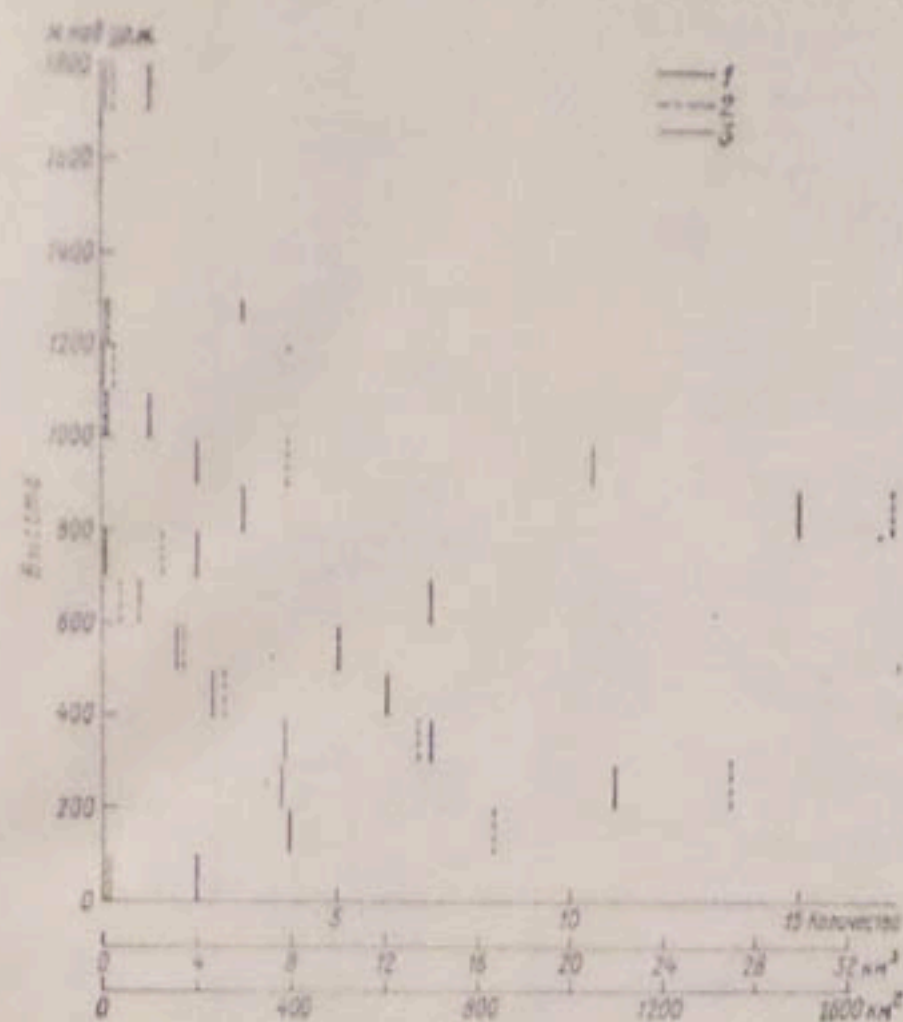


Рис. 1.2. Распределение количества (1), площадей водной поверхности (2) и объемов (3) водохранилищ по высотным зонам.

мелких прудов. Регулирование стока этих рек позволяет получить гарантированную водоотдачу в $4,4 \text{ км}^3$.

Площадь зеркала водохранилищ Туркмении оценивается в 494 км^2 , а объем водных масс, содержащихся в них, — в $2,1 \text{ км}^3$, при этом основные объемы зарегулированных вод приходятся на зону Каракумского канала.

Распределение водохранилищ по высотным зонам таково, что 50 % общего числа и 80 % площадей водной поверхности приходится на равнинную зону с высотами до 500 м над ур. м., в то время как значительные объемы регулирующих емкостей сосредоточены в предгорной зоне с высотами от 500 до 1500 м над ур. м., где может накапливаться $38,2 \text{ км}^3$ водных запасов, или 62 % общего их объема. Подобное распределение объясняется пуском в эксплуатацию в последнее десятилетие таких крупных водохранилищ, как Токтогульское, Нурекское, Червакское, Андижанское и Гиссаракское.

На водохранилища равнинных территорий вследствие их мелководности приходится 37 % аккумулирующихся водных масс при весьма значительных площадях водной поверхности.

На высоте более 1500 м расположено лишь одно Ортокойское водохранилище на р. Чу с объемом чаши 470 млн м^3 и площадью водного зеркала $25,0 \text{ км}^2$ (рис. 1.2).

В предгорных водохранилищах бассейна Амударьи при площади их водной поверхности 14 % общей площади водохранилищ аккумулируется бо-

лее 50 % водных запасов, а в бассейне р. Сырдарьи эти показатели составляют соответственно 24 и 72 %. Это еще раз наглядно показывает эффективность создания водохранилищ в предгорных и горных районах, где резко сокращаются безвозвратные потери на испарение с их водной поверхности, медленнее происходит заиление чаш водохранилищ, а аккумуляция значительных объемов воды позволяет осуществлять межреспубликанское вододелиение.

По градации площадей водной поверхности большинство водохранилищ Средней Азии относятся к малым — с площадью зеркала менее 50 км^2 (77 % общего количества водохранилищ). К числу средних относятся 10 водоемов, или 17 % (табл. 1.2). Из крупных водохранилищ с площадью водной поверхности более 250 км^2 одно расположено в бассейне р. Амударьи (Туямуюнское — 790 км^2) и три в бассейне р. Сырдарьи (Кайраккумское, 510 км^2 ; Чардаринское, 783 км^2 , и Токтогульское, 283 км^2), при этом только на них приходится около 60 % общей площади водной поверхности водохранилищ Средней Азии.

По градации объемов водных масс 37 % водоемов относятся к малым, 38 % — к средним с объемом от 50—500 млн м^3 (табл. 1.3). Из крупных водохранилищ шесть находится в бассейне р. Амударьи (Туямуюнское, Нурекское, Южно-Сурханское, Талимарджанское, Каттакурганское, Тудакульское), пять — в бассейне р. Сырдарьи (Токтогульское, Кайраккумское, Андижанское, Чардаринское, Чарвакское), два — в бассейне рек Чу, Талас (Ташауткульское, Кировское) и два в Туркмении (Хауз-Ханское, Сары-Языское).

В этих пятнадцати водохранилищах может накапливаться более 90 % водных запасов региона. При этом площадь их водной поверхности в период наполнения оценивается в 3406 км^2 , что составляет 86 % площади зеркала всех водохранилищ Средней Азии.

Первые исследования гидрометеорологического режима водохранилища были начаты на Мургабских водохранилищах и заключались в основном в определении объемов заиления их чаш. С этой целью в 20—30 годы было сделано несколько последовательных батиметрических съемок Иолотанского и Гиндукушского водохранилищ. С 1924 г. ведется учет речного стока, а с 1930 г. твердого стока наносов на р. Мургаб при ее впадении в Иолотанское водохранилище. Это были по существу первые натурные исследования, указывающие на весьма существенные изменения морфометрических характеристик водохранилищ и морфологию их чаш.

Первые стационарные гидрологические наблюдения на водохранилищах Средней Азии были начаты в 1948 г. с пуском в эксплуатацию Фархадского гидроузла. В этот период наибольшее внимание уделялось вопросам изучения заиления, представляющим практический интерес с точки зрения эксплуатации водных ресурсов водохранилищ [12, 13]. С введением в эксплуатацию Каттакурганского (1950 г.), Уртатокайского (1951 г.), Кайраккумского (1956 г.) водохранилищ на них были открыты специализированные озерные гидрометеорологические станции гидрометслужбы Узбекской ССР (табл. 1.4). В 1958 г. Кайраккумская гидрометеорологическая станция была реорганизована

№ п/п	Водохранилище	Название (местонахождение поста)	В чем здании находится или находится	Период действия	
				открыт	закрыт
Бассейн р. Амударья					
1	Тюямуонское	Плотина	Узгидромет	8/XII 1979	Действует
2	Капарас	п. Капарас	ММиВХ УзССР	1/XI 1981	
3	Султансаяджар	п. Султансаяджар	"	1/VI 1984	
4	Сельбурское	Плотина	ММиВХ ТаджССР	1964	
5	Муминабалское	"	"	1969	
6	Нурекское	"	Таджикглавэнерго	1/I 1973	
7	Нурекское	"	Таджгидромет	1/I 1984	
8	Головния ГЭС	"	Таджглавэнерго	1/I 1966	
9	Южно-Сурханское	"	Узгидромет	1/VI 1984	
10	Дегресское	"	ММиВХ УзССР	1958	
11	Учкумыльское	канал Учкумыль	"	1954	
12	Чимкуртанское	Плотина	Узгидромет	16/II 1962	
13	Камашинское	"	ММиВХ УзССР	1946	
14	Пачкамарское	"	Узгидромет	20/XII 1978	
15	Гиссаракское	"	ММиВХ УзССР	1985	
16	Талимарджанское	"	"	1977	
17	Каттакурганское	пгт Каттакурганское водохранилище	Узгидромет	14/III 1941	
18	Куямазарское	пгт Куямазар	"	26/XI 1960	
19	Тулакульское	Сброс	ММиВХ УзССР	1967	
20	Шоркульское	Плотина	"	1983	
Бассейн р. Сырдарья					
21	Кайраккумское	киш. Джидалык	Узгидромет	22/IV 1958	Действует
22	Кайраккумское	г. Кайраккум	"	14/VI 1956	
23	Кайраккумское	Правобережный	"	3/XII 1959	
24	Кайраккумское	Беш-Баш	"	5/VII 1959	
25	Чардаринское	г. Чардара	Казгидромет	1959	
26	Чардаринское	пос. Арнасай	"	1969	
27	Токтогульское	пгт Каракуль	Киргизглавэнерго	1/IV 1975	
28	Токтогульское	г. Токтогул	Киргидромет	1/XII 1979	
29	Курулсайское	Плотина	Киргизглавэнерго	1979	
30	Ташкумырское	"	"	1985	
31	Учкурганское	Гидроузел	Узглавэнерго	1961	
32	Андижанское	Плотина	ММиВХ УзССР	1970	
33	Базаркуртанское	"	ММиВХ КиргССР	1962	
34	Папанское	"	"	1981	
35	Найманское	"	"	1966	
36	Каркидонское	"	ММиВХ УзССР	1964	
37	Уртатокайское (Кассансайское)	с. Ала-Бука	Узгидромет	24/IX 1951	
38	Тортгульское	Плотина	ММиВХ КиргССР	1970	
39	Каттасайское	"	ММиВХ ТаджССР	1966	
40	Ахангаранское	"	ММиВХ УзССР	1974	
41	Туябугузское (Ташкентское)	пгт Туябугуз	Узгидромет	1/XII 1963	
42	Чарвакское	киш. Юсупхона	Узгидромет	14/I 1977	
43	Чарвакское	Плотина	Узглавэнерго	1971	
44	Ходжикентское	"	"	1977	
45	Газалкентское	"	"	1980	
46	Джизакское	"	ММиВХ УзССР	1969	
47	Бугуньское	свх Бугунь	ММиВХ КазССР	1961	
48	Бадам	с. Михайловка	ММиВХ КиргССР	1977	
Бассейн рек Чу, Талас					
49	Ортотокойское	Плотина	ММиВХ КиргССР	1957	Действует
50	Ташауткульское	с. Ташауткуль	ММиВХ КазССР	1963	
51	Сокулукское	Плотина	"	1963	
52	Алаарчинское	"	ММиВХ КиргССР	1/XI 1975	
53	Карабалтинское	"	ММиВХ КазССР	1964	
54	Кировское	Верхний бьеф	ММиВХ КиргССР	1/XI 1975	
55	Кировское	с. Кировское	Киргизгидромет	1/I 1980	
Реки Туркмении и зона Каракумского канала					
56	Ташкепринское	Плотина	ММиВХ ТуркССР	1/V 1940	Действует
57	Сары-Языское	пгт Сары-Язы	ТуркУГКС	1/V 1987	
58	Колхозбенское	Плотина	ММиВХ ТуркССР	1910	
59	Иолотанское	"	"	1910	
60	Гиндукушское среднее	"	"	1896	
61	Гиндукушское нижнее	"	"	1896	
62	Хор-Хор	Плотина	ММиВХ ТуркССР	1/VI 1959	
63	Тедженское I	пгт Тедженстрой I	Туркгидромет	1/VII 1957	
64	Тедженское II	пгт Тедженстрой II	"	1/IV 1961	
65	Хауз-Ханское	пгт Хауз-Хан	"	3/I 1962	
66	Куртлинское (Западное)	пос. Куртли	ММиВХ ТуркССР	1/II 1963	Действует
67	Восточное	Плотина	"	"	
68	Конетдагское	пос. Конетдаг	Туркгидромет	1/I 1978	
69	Мамедкуль	Плотина	ММиВХ ТуркССР	"	
70	Дехили	"	"	"	



Рис. 1.3. Расположение озерных гидрологических постов (1) и специализированных гидрологических станций (2) на водохранилищах.

Номер поста дан по табл. 1.4.

в специализированную озерную обсерваторию, что послужило новым толчком в изучении среднеазиатских водохранилищ. Несомненно положительное значение в развитии озерных исследований в Средней Азии имели работы, производившиеся в 1959—1961 гг. среднеазиатской экспедицией ГГИ [26, 53, 54, 131—134, 155].

В этот период велись исследования в области изучения режима заиления, переформирования берегов, волнения, течения, элементов водного баланса. Получила также дальнейшее развитие специализированная озерная сеть на водохранилищах.

В середине 60-х годов в управлениях гидрометеослужбы среднеазиатских республик создаются озерные подразделения, на которые были возложены основные обязанности по изучению режима водохранилищ и развитию наблюдательной сети. Были открыты гидрометеорологические станции на Туябугузском, Куюмазарском, Чимкурганском, Чардаринском, Бугуньском, Чарвакском, Нурекском, Кировском, Сары-Языском, Хауз-Ханском водохранилищах.

По состоянию на 1988 г. на 60 эксплуатируемых водохранилищах функционирует 70 озерных гидрологических постов (табл. 1.4, рис. 1.3). Из них 19 постов Госкомгидромета СССР, 10 постов Минэнерго и 41 пост Минводхозов. На пятнадцати специализированных озерных гидрометеорологических станциях ведутся наблюдения за уровнем воды, ледово-термическим и гидрохимическим режимами, волнением, заилением, переформированием ложа,

испарением с водной поверхности, притоком, оттоком и забором воды на водохозяйственные нужды.

Значительные исследования в области изучения режима водохранилищ были проведены в отделе озер и водохранилищ Узгидромета, а с 1971 г. в лаборатории озер и водохранилищ САНИГМИ под руководством В. Н. Рейзвиха [61, 117—119].

В 1967 г. был начат выпуск оперативных месячных водных балансов водохранилищ Узбекистана. Подготовка и публикация месячных и декадных водных балансов по 27 водохранилищам, в настоящее время осуществляется в Узбекском, Киргизском, Таджикском и Туркменском республиканских управлениях по гидрометеорологии, что позволяет ориентировать органы управления в режиме эксплуатации водных ресурсов водохранилищ и водных систем в целом.

Результаты исследований морфометрических показателей чаш водохранилищ, их уровня, режима, водного баланса, ледово-термического режима, заиления и трансформации наносов широко используются в практике эксплуатации водных ресурсов среднеазиатского региона. В 50-е годы с целью систематического уточнения водных ресурсов водохранилищ начато регулярное проведение батиметрических съемок чаш и уточнение зависимостей их объемов и площадей зеркала от уровня воды.

Наиболее обоснованным методом учета и оценки перераспределения водных ресурсов является балансовый метод, позволяющий оценить изменения

водных ресурсов под влиянием естественных и антропогенных факторов, не учитываемые компоненты баланса по остаточному члену его уравнения и возможную систематическую ошибку в учете водных ресурсов, качество, полноту и контроль государственного учета вод и эксплуатации.

В 1981—1983 гг. были выполнены исследования по усовершенствованию методов расчета водных балансов водохранилищ Средней Азии [77]. На основе анализа невязок месячных, декадных и суточных водных балансов водохранилищ Средней Азии была дана объективная оценка точности учета приходно-расходных статей балансов и выявлены не учитываемые компоненты [113]. По результатам экспедиционных и стационарных исследований разработаны рекомендации по учету коллекторно-дренажного и грунтового притока в водохранилища. Дана оценка влияния заиления ложа водохранилища на точность зависимостей объемов и площадей водного зеркала от уровня воды. Разработана методика корректировки этих зависимостей в период между батиметрическими съемками [78—79]. Составлены методические рекомендации по расчету основных элементов водного баланса.

Результаты исследований были переданы в ГМЦ Узгидромета для использования в практике составления оперативных водных балансов водохранилищ Узбекистана и в ГГИ для составления общесоюзного руководства по расчетам водных балансов озер и водохранилищ СССР.

Для составления водно-солевых балансов озер и водохранилищ и подсчета ионного стока рек в настоящее время используются материалы гидрохимических наблюдений, имеющие ограниченные ряды и охватывающие лишь основные фазы гидрологического режима. Однако, как показывают исследования, проведенные в 1974—1976 гг. ОГИ СА-НИИ, химический состав воды изменяется весьма интенсивно не только в годовом разрезе, но и в период отдельных фаз режима (половодья, межень). Особенно это относится к районам с русловым стоком, измененным под влиянием хозяйственной деятельности, где ионный сток всегда имеет однозначную зависимость от гидрометеорологических харак-

теристик в связи с различными источниками питания.

В результате была разработана и опробована на гидрологической сети Узгидромета методика подсчета стока химических веществ с использованием ежегодных наблюдений за электропроводностью [38, 44, 111].

В 1981—1985 гг. были выполнены научно-исследовательские и методические работы по оценке динамики водных ресурсов водохранилищ Средней Азии, прогнозированию ее и качества водных масс водохранилищ на ближайшую перспективу.

На современном этапе основными задачами, предъявляемыми к изучению режима водохранилищ, при эксплуатации и охране водных ресурсов, являются: надежный учет руслового стока и его изменений под влиянием гидроузлов, определение качества и возможности прогнозирования изменения химического состава воды, надежный учет водных запасов водохранилищ и его корректировка на основе анализа изменения морфометрических показателей чаш под действием заиления, трансформации наносов и переформирования берегов.

Для рационального использования водных ресурсов необходимо иметь достоверные материалы не только о количественных показателях учета вод, но и данные об изменении их химического состава под влиянием гидрометеорологического и антропогенных факторов. Изменение химических градиентов может иметь различный характер и диапазон в зависимости от водности группировок лет и фаз гидрологического режима, характера происхождения и качества приточных вод, наличия в них остатков и ядохимикатов, а также динамических процессов, протекающих в водоеме. В связи с этим необходимо проведение комплексных гидролого-гидрохимических исследований на притоках, водазборах и в водохранилищах при различных фазах режима. В результате проведения подобных исследований появляется возможность расчетов водно-солевых балансов, на основе которых возможно осуществлять прогнозирование гидрохимического режима водоемов.

ГЛАВА 2. МОРФОЛОГИЯ И МОРФОМЕТРИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

Вопросы морфологического анализа имеют весьма актуальное значение при проектировании, строительстве и эксплуатации водохранилищ. Как показывает опыт эксплуатации водных ресурсов водохранилищ, ошибки, допущенные в определении характеристик их чаш, приводят к грубейшим просчетам при составлении планов водопользования водохранилищ и ирригационных систем, в которые они входят. Следует отметить, что морфометрические показатели среднеазиатских водохранилищ подвержены весьма существенным изменениям вследствие процессов интенсивного заиления и перестроения ложа (табл. 2.1). По форме водной поверхности к водоемам округлой и овальной формы относятся котловинные наливные и малые котловинные долинные водохранилища, имеющие показатель удлиненности чаш $l/b_{\text{ср}}$ от 1,5 до 5,4 (табл. 2.2). Долинные русловые водохранилища относятся к группе овально-удлиненных и удлиненных водоемов ($l/b_{\text{ср}} = 5 \dots 10$) [22, 32, 92].

К наиболее удлиненным водохранилищам относятся большие предгорные долинные водоемы: Нурекское ($l/b_{\text{ср}} = 50$), Токтогульское (14,8), Чарвакское (12,1), Ортотокойское (11,4) — и некоторые Мургабские водохранилища: Ташкепринское (20,5), Иолотанское (19,9), Гиндукушское среднее (14,0), образованные в пределах русла и низкой поймы р. Мургаб.

По показателю компактности наиболее компактными являются овально-округлые водохранилища ($b_{\text{ср}}/b_{\text{макс}} = 0,5$). К наименее компактным относятся все те же крупные долинные водохранилища, а также малые долинные водохранилища сложной конфигурации — Каркидонское ($b_{\text{ср}}/b_{\text{макс}} = 0,34$), Чарвакское (0,18), Кировское (0,33), Ортотокойское (0,41) и др.

Показатели развития береговой линии и акватории указывают, что наиболее сглаженные формы имеют котловинные и простые долинные водохранилища: u_1 и u_2 изменяются соответственно от 1,2 до 2,34 и от 1,65 до 5,6. Наибольшие коэффициенты развития акватории присущи сложным долинным водохранилищам: Каттакурганскому (32,6), Пачкамарскому (11,5), Чарвакскому (9,5).

Согласно классификации, приведенной З. А. Видулиной [37], водохранилища принято подразделять на малые с площадью водного зеркала до 50 км², средние — до 250 км², крупные — до 1000 км² и крупнейшие свыше 1000 км². По этой классификации водохранилища Средней Азии представлены водоемами от малых до крупных. К крупным относятся долинные водохранилища, образованные плотинами на основных водных артериях Средней Азии — реках Амударье и Сырдарье, это Чардарин-

ское (площадь водного зеркала 783 км²), Кайраккумское (544 км²), Тюямуюнское (790 км²) водохранилища, из горных Токтогульское (284 км²) водохранилище. К разряду средних относятся большие долинные водохранилища горных и предгорных зон, такие, как Нурекское (90 км²), Андижанское (60 км²), а также некоторые долинные и котловинные водохранилища равнин: Каттакурганское (79,5 км²), Тудакульское (225 км²), Талимарджанское (77 км²), Бугуновское (63,5 км²), Хауз-Ханское (175 км²). В целом же более 70 % общего числа водохранилищ относится к разряду малых. Наибольшие площади водного зеркала отмечаются у котловинных наливных водохранилищ: Сельбурского (2,60 км²), Муминабадского (2,86 км²), Дегресского (2,3 км²), Учкызылского (10 км²) и др. — и русловых, являющихся бассейнами суточного или недельного регулирования ГЭС: Учкурганского (3,6 км²), Ходжикентского (2,5 км²), Газалкентского (1,7 км²).

Глубина, характеризующая размеры водоема по вертикали, у среднеазиатских водохранилищ изменяется от нескольких (Мургабские водохранилища — 6—8 м) до нескольких сот метров (Нурекское — 254 м).

По показателям относительной глубины к очень глубоким и глубоким относятся долинные водохранилища предгорных зон: Нурекское ($h_{\text{оти}} = h_{\text{ср}}/\sqrt[3]{f} = 23,3$), Пачкамарское (8,4), Токтогульское (10,4), Уртатокайское (10,7), Каркидонское (10,8), Каттасайское (13,3), Ахангаранское (28,6), Чарвакское (14,6), Кировское (7,1), Ортотокойское (6,8) — и некоторые котловинные: Сельбурское (7,2), Муминабадское (7,4), Учкызылское (7,4), Куюмазарское (7,4) [52]. К мелким и очень мелким водоемам относятся равнинные водохранилища со значительными площадями зеркала: Чардаринское ($h_{\text{оти}} = 0,77$), Кайраккумское (0,71), Тудакульское (0,65) — или сильно заиленными чашами и малыми абсолютными глубинами — Мургабские водохранилища (0,8—1,9).

Главнейшими объемными характеристиками водохранилищ как водохозяйственных объектов служат их полезный объем и величина сработки. Из рассмотренных водохранилищ наибольшей возможной сработкой обладают Нурекское (240 м), Токтогульское (200 м), Чарвакское (55 м), Уртатокайское (50 м).

Вследствие высокой целенаправленности в эксплуатации водных ресурсов водохранилищ для оценки степени использования их чаш предложен показатель, определяемый как отношение полезного объема чаши к полному ($\alpha = V_0/V_{\text{ср}}$). Поскольку гидрологические, гидравлические и гидробиологи-

Морфометрические характеристики водохранилищ

№ п/п	Водохранилище	Объем воды НПУ, м³	Бассейн реки	И. к. вводу в эксплуатацию	Год ввода в эксплуатацию	Площадь водосбора, км²	Объем, млн м³		Площадь водосбора, км²	Длина, км	Ширина, км		Глубина, м		Длина береговой линии, км
							полный	полезный			средняя	максимальная	средняя	максимальная	
Бассейн р. Амударья															
1	Тюмукенское	130,0	Амударья	Проект	1979		7 300	5 270	790						
2	Сельбурское	583,0	Яхсу	»	1964	2 400	25,4	16,9	2,6	2,8	0,9	1,2	9,8	17,0	
3	Музынабалское	1 221,5	»	»	1959		30,1	29,2	2,8	1,45	2,1	2,5	10,8	28,0	
4	Нурекское	910,0	Вахи	»	1972	29 900	10 500	4 500	98,0	70,0	1,4	6,5	107	254	
5	Голыная ГЭС	485,0	»	»	1962	32 200	21,6	10,6	7,5	15,0	0,5	1,0	2,9	10,0	
6	Южно-Сурхандарьское	415,0	Сурхандарья	1979	1964	11 800	641	610	64,6	20,0	3,2	6,2	9,9	27,0	60,2
7	Дегресское	536,0	»	Проект	1958	901	12,8	12,2	2,3	3,5	0,7	1,0	5,6	11,0	13,0
8	Учаксайское	321,5	»	»	1960		160	80	10,0	5,5	1,8	3,5	16,0	40,0	24,0
9	Чимкуртанское	488,2	Кашикардарья	1980	1964	5 100	440	418	45,1	15,0	3,0	7,0	9,8	28,4	63,5
10	Камашинское	495,3	»	Проект	1946	504	25,0	23,8	3,4	3,0	1,1	1,6	7,4	14,9	12,8
11	Пачкамарское	676,0	»	1976	1967	3 090	243	243	12,4	5,5	2,2	2,4	19,5	34,1	45,0
12	Гиссарское	1 118,0	»	Проект	1985	845	170	155	4,1	3,5	1,2	2,2	41,5	132	33,0
13	Талимверджанское	400,5	Амударья	»	1977		1 530	1 400	77,4	14,0	5,5	7,0	19,8	40,0	33,0
14	Каттакуртанское	511,0	Зеравшан	1983	1952 1968		845	834	84,5	17,0	5,0	8,0	10,0	26,3	180
15	Куюмазарское	237,5	»	1981	1957 1966		306	246	16,3	5,3	3,1	5,0	18,8	33,0	33,8
16	Тудаккульское	222,0	»	Проект	1983		875	855	225	18,5	12,2	14,8	3,9	12,0	101,8
17	Шоркульское	220,0	»	»	1983		170	165	17,0				10,0		
Бассейн р. Сырдарья															
18	Кайраккумское	346,6	Сырдарья	1983	1959	136 000	3 510	2 230	510	55,0	9,3	15,0	6,9	26,6	130
19	Чардаринское	252,0	»	1977	1967	174 000	3 200	4 230	783	80,0	9,8	25,0	6,6	22,0	187,2
20	Токтогульское	905,0	Нарын	Проект	1974	52 500	19 500	14 000	284	65,0	4,4	12,0	68,7	215	230
21	Курупсайское	(500)	»	»	1982	54 600	354	350	11,7	40,0	0,3	0,5	30,2	75,0	
22	Ташкумсайское	(500)	»	»	1988	57 700	144	133	7,8	18,8	0,4	0,85	18,5	65,0	
23	Учкурганское	539,0	»	»	1961	58 200	54,0	37,6	3,7	16,0	0,2	2,0	14,6	33,4	
24	Андижанское	900	Карадарья	»	1970		1 750	1 630	60,0	14,4	4,2		29,2	100	93,0
25	Базаркуртанское	720,5	Майлису	1979	1962	1 300	22,5	20,0	2,7	2,4	1,1	2,0	8,3	23,0	13,2
26	Паванское	1 282,0	Акбура	Проект	1981	2 540	260	240	7,1	8,5	0,8	1,6	36,6	100	20,0
27	Найманское	1 201,6	Араван	1979	1966	109	39,5	38,0	3,2	8,0	0,4	2,0	9,4	37,6	14,5
28	Каркидонское	626,0	Кувасай	1964	1964		218	213	9,5	5,0	1,9	5,5	22,9	66,0	40,0
29	Уртатокайское	1 128,0	Кассансай	1980	1954 1956	1 430	160	160	7,6	5,0	1,5	3,0	21,0	53,5	20,5
30	Тортгульское	1 147,0	Исфара	1979	1970	1 560	90,0	75,0	6,6	5,0	1,3	3,0	13,6	26,8	
31	Каттасайское	1 175,0	Каттасай	Проект	1966	345	55,0	33,6	2,9	1,9	1,5		19,0	63,0	
32	Ахангаранское	1 100,0	Ахангаран	1984	1974	1 490	399	319	8,1	7,9	1,0	1,5	49,3	95,5	17,0
33	Туябугуаское	394,0	»	1984	1966	4 630	204	195	20,7	10,0	2,1	3,0	9,9	30,9	50,0
34	Чарвакское	890,0	Чирчик	1985	1978	10 000	1 990	1 690	40,3	22,0	1,8	10,0	49,4	148	69,0
35	Ходжикентское	741,0	»	Проект	1977	11 200	30,0		2,5				12,0		
36	Газалкентское	681,0	»	»	1980	11 200	20,0		1,7				11,8		
37	Джизакское	371,4	Санзар	1986	1962		73,5	73,3	12,5	3,0	4,2	4,5	5,9	16,4	25,0
38	Бугуньское	438,0	Бугунь	1962	1962	2 040	370	363	63,5	14,7	4,3	7,2	5,8	19,3	36,2
39	Бадамское	672,0	Бадам	Проект	1965	586	61,5	5,9	4,8				12,8		
Бассейн рек Чу и Талас															
40	Ортокойское	1 762	Чу	Проект	1957	5 970	470	450	25,0	18,0	1,4	5,0	18,8	47,0	39,6
41	Ташауткульское	514,0	»	»	1980		620	550	77,7				8,0		48,6
42	Сокулукское	657,0	Сокулук	1979	1968	353	19,2	10,8	1,3	3,6	0,52	1,0	10,0	16,0	26,0
43	Ала-Арчинское	689,0	Ала-Арча	1979	1983	7 300	51,2	48,2	5,5	3,5	1,6	1,8	9,3	3000	28,1
44	Кировское	866,5	Талас	1979	1976	7 940	550	544	26,5	14,0	1,89	5,0	21,0	72,0	48,8
45	Карабалтинское	617,6	Карабалта	1979	1964	630	4,3	3,3	1,5	2,4	0,6	1,25	5,8	7,9	
Реки Туркмении и зона Каракумского канала															
46	Ташкепринское	321,31	Мургаб	1983	1940		18,5	18,5	39,9	25,0	1,6	3,02	0,5	18,8	48,6
47	Сары-Язское	321,30	»	1983	1960		660	653	78,5	26,0	3,2	5,4	8,4	29,8	
48	Колхозбенское	297,0	»	1983	1910		30,0	30,0	20,4	32,5	0,6	2,1	1,5	7,4	
49	Иолотанское	286,2	»	1979	1910		24,0	24,0	10,6	25,0	0,4	2,4	2,3	2,4	21,8
50	Гиндукушское среднее	278,4	»	1983	1896		15,0	14,3	5,5	8,8	0,6	1,0	2,7	7,4	312,2
51	Гиндукушское нижнее	276,51	»	1981	1896		16,0		6,1	7,8	0,8	1,3	2,6	6,8	
52	Хор-Хор	302,10	Теджен	1981	1959		18,0	18,0	3,4	3,0	1,1		5,3	12,0	
53	Тедженское I	232,64	»	1982	1952		30,5		20,7	11,2	1,8	2,9	1,5	5,5	
54	Тедженское II	221,0	»	1982	1960		132		42,0	15,0	2,8		3,1	8,6	
55	Хауз-Ханское	212,4	Каракумский канал	1962	1962		875	850	207	14,5	14,3		4,2	10,0	
56	Западное	192,5	То же	1964	1964		48,5	41,0	3,3						
57	Восточное	195,0	»	1964	(1980)		6,2		33,0	10,8	3,1	5,0	1,9		
58	Ковегдагское	143,0	»	1973	1973		218,0	194	6,3				6,6	13,0	
59	Мамедкуль	100,0	р. Атрек		(1980)		16,4		7,0				2,6		
60	Дехили	95,0	»		(1980)		11,0						1,6		

Примечание. В числителе — год пуска в эксплуатацию, в знаменателе — год реконструкции плотины.

Морфометрические показатели водохранилищ Средней Азии

№ п/п	Водохранилище	Показатели									Морфологический тип	Характеристика выпадения
		полезного использования	удельного водосбора	удлиненности	компактности	разности береговой линии	акватории	относительной глубины	емкости	открытости		
Бассейн р. Амударьи												
1	Тюямуяновское	0,72									с-к-д	р-н
2	Сельбурское	0,66		3,1	3,4	0,75	7,15	0,52	0,57	0,27	к	н
3	Муминабадское	0,97		0,75	0,7	0,95		7,4	0,38	0,26	к	н
4	Нурекское	0,43	305,1	50,0	0,39		3,02	23,2	0,42	0,92	д	р
5	Головная ГЭС	0,49	4293,3	30,0	0,51			1,5	0,29	2,6	д	р
6	Южно-Сурханское	0,95	182,7	6,2	0,52	2,1	4,46	2,5	0,37	6,52	д	р
7	Дегресское	0,95	391,7	5,0	0,65	2,4	5,88	4,16	0,51	0,42	к-д	н
8	Учкызилское	0,50		3,4	0,52	2,12	4,61	7,44	0,41	0,62	к	н
9	Чимкуртанское	1,05	113,1	5,0	0,38	2,65	7,15	2,8	0,35	4,60	д	р
10	Камалинское	0,95	148,2	2,7	1,88	1,95	3,86	4,4	0,50	0,46	к	н
11	Пачкамарское	1,00	249,2	2,5	0,92	3,6	13,06	8,4	0,57	0,64	с-к-д	р
12	Талимарджанское	0,92		2,5	0,14	1,05	1,13	20,0	0,50	3,91	к	н
13	Гиссаракское	0,91	206,1	2,9	1,59	6,0	2,43	49,3	0,31	0,1	д	р
14	Каттакурганское	0,99		3,4	1,5	5,48	30,6	2,8	0,38	8,45	с-д	н
15	Куюмазарское	0,80		1,7	0,62	2,34	5,61	7,4	0,57	0,87	к	н
16	Тудаккульское	0,98		1,5	0,82	1,9	3,6	0,65	0,32	57,7	к	н
17	Шоркульское	0,97								1,7	к	н
Бассейн р. Сырдарьи												
18	Кайраккумское	0,64	266,7	5,9	0,76	1,56	2,49	0,77	0,26	73,9	д	р
19	Чардаринское	0,81	222,2	8,2	0,39	1,93	3,82	0,71	0,30	119	д	р
20	Токтогульское	0,72	184,9	14,8	0,37			10,4	0,32	4,13	к-д	р
21	Курунсаяское	0,99	4 666,7	133,3	0,60			8,83	0,40	0,38	д	р
22	Ташкумырское	0,92	7 397,4	47,0	0,47			6,63	0,28	0,42	д	р
23	Учкурганское	0,70	15 729,7	80	0,1			9,41	0,44	0,25	д	р
24	Андижанское	0,91		3,4		11,53	7,5	1,73	0,29	12,05	с-к-д	р
25	Базаркурганское	0,90	481,5	2,2	0,55	5,16			0,36	2,05	к	н
26	Папанское	0,92	357,7	10,6	0,5	4,51			0,37	0,33	д	р
27	Найманское	0,96	34,1	20	0,2	5,26			0,25	0,34	с-д	р-н
28	Каркидонское	0,98		2,6	0,34	3,61	13,47	10,8	0,35	0,42	с-к-д	р-н
29	Уртатокайское	1,00	188,2	3,3	0,50	2,08	4,42	10,7	0,38	0,36	д	р
30	Тортгульское	0,83	236,4	3,8	0,6				0,51	0,49	с-д	н
31	Каттасайское	0,61	119	1,3				13,3	0,30	0,15	к-д	р
32	Ахангаранское	0,80	184,0	7,9	0,67	2,08	4,40	28,6	0,52	0,20	д	р
33	Туйбугульское	0,96	223,7	4,8	0,70	3,1	10,0	3,9	0,32	2,09	с-д	р
34	Чарвакское	0,80	248,1	12,2	0,18	3,04	9,5	14,6	0,33	0,82	с-к-д	р
35	Ходжикентское		4 480					8,9		0,21	д	р
36	Газалкентское		6 588					9,9		0,14	д	р
37	Джизакское	0,99		6,7	0,93	4,03	2,0	3,0	0,34	2,12	к	н
38	Бугульское	0,98	32,1	3,4	0,6	1,27	1,65	1,4	0,30	10,95	д	н
39	Бадамское	0,96	122,1							0,38		
Бассейн рек Чу и Талас												
40	Ортотокойское	0,96	238,8	12,8	0,28	2,27	5,25	6,8	0,42	1,33	д	р
41	Ташаткульское	0,89								9,71	д	р
42	Сокулукское	0,82	185,8	6,9	0,52				0,625	0,19	д	р
43	Алзарчинское	0,94	1 327,3	2,2	0,89				3,2	0,59	д	р
44	Карабалтинское	0,77	420,0							0,26	к-д	р
45	Кировское	0,99	303,5	7,4	0,63			7,1	0,29	1,27	с-д	р
Реки Туркмении и зона Каракумского канала												
46	Ташкенрипское	1,00		20,5	0,41	2,47	6,20	0,8	0,13	79,8	д	р
47	Сары-Языское	0,99	403,5	8,6	0,56	1,88	3,65	1,7	0,28	9,34	д	р
48	Колхозбентское	1,00	886,2	54,2	0,29	2,56	6,62	1,1	0,20	13,6	д	р
49	Иодотанское	1,00		62,5	0,17	1,85	3,59	1,3	0,96	4,61	д	н
50	Гиндукушское среднее	0,95		14,7	0,60	3,79	14,16	1,8	0,36	2,04	к-д	н
51	Гиндукушское нижнее	0,81		9,75	0,62	1,51	2,39	1,9	0,38	2,35	к-д	р
52	Телженское I	0,77	430,1	6,2				1,3	0,27	13,8	д	н
53	Телженское II	0,97		1,01				8,8	0,51	49,3	к	н
54	Хауз-Ханское	0,85		2,38	0,55			1,1	0,42	2,30	к	н
55	Западное	0,89		3,5	0,62			2,3	0,51	5,0	к	р
56	Копетдагское	1,00		2,73					0,44	0,63	к	н
57	Хор-Хор			5,37					0,36	13,5	д	р

Примечание. с-к-д — сложный котловинно-долинный, к — котловинный, д — долинный, к-д — котловинно-долинный, с-д — сложный долинный, р-н — русловое наливное, р — русловое, н — наливное.

ческие процессы наиболее интенсивно протекают в полезном объеме чаш, то при прочих равных условиях показатель оценивает также активность водной массы водохранилища. Этот показатель изменяется от 0,48 до 0,99, при этом наименьшие значения свойственны водохранилищам, приуроченным к замкнутым котловинам. У долинных русловых водохранилищ ирригационного назначения показатель α превышает 0,9 (Чимкурганское, Пачкамарское, Андижанское, Уртатокайское, Ортотокойское, Сары-Языское и др.).

При создании водохранилищ комплексного назначения (ирригация и гидроэнергетика) возникает необходимость увеличения напора на турбины ГЭС и тем самым снижения сработки и уменьшения полезного объема. Так, долинное водохранилище искусственно превращается в полузакрытое котловинное. При проектировании и строительстве Кайраккумского водохранилища и ГЭС «Дружба народов», где морфология чаши водохранилища позволяла использовать водные запасы водоема на 90 %, обеспечение необходимого напора на турбины ГЭС снизило показатель α до 0,64.

Обобщающими морфометрическими характеристиками чаш водохранилищ являются зависимости объемов и площадей водной поверхности от уровня воды $V = f(H)$ и $f = f(H)$. Эти зависимости строятся по результатам промерных и топографических работ с использованием картографических материалов различной точности. Следует отметить, что нередко кривые объемов и площадей водохранилищ составляются на топографической основе пониженной точности, что в дальнейшем приводит к весьма значительным просчетам в оценке водных запасов водоемов и в водохозяйственном планировании.

На Чардаринском водохранилище, введенном в режим нормальной эксплуатации в 1968 г., в мало-водный период 1974—1975 гг. была обнаружена существенная нехватка воды в водоеме в период его практически полного опорожнения в 500 млн м³. В 1975 г. Всесоюзным институтом «Гипрорис», а в 1977 г. Узгидрометом были выполнены батиметрические съемки, позволившие вскрыть ошибки, допущенные при проектировании Чардаринского гидроузла и водохранилища.

В качестве топографической основы при проектировании были использованы топографические материалы 1912—1914 гг., 1939 г., 1944—1945 гг. на различные затопляемые зоны, в результате чего площадь водной поверхности водохранилища была завышена на 110 км², а следовательно, объем водной массы на 500 млн м³. При этом уменьшение объема за период эксплуатации водохранилища на 100 млн м³ можно было отнести за счет заиления, а сокращение объема на 400 млн м³ заилением не объяснялось. Сопоставление проектного картографического материала с данными аэрофотосъемки и батиметрической съемки водохранилища в 1977 г. указывало на значительное сокращение площади водной поверхности с отметками 246 м над ур. м., составившее 23 км², а на отметках 248, 250 и 252 м над ур. м. — 51, 72 и 110 км² соответственно, и, как следствие, объема воды на 400 млн м³. В качестве картографической основы при промерах 1977 г. были использованы материалы аэрофотосъемки в масштабе 1 : 10 000 1975 г.

Однако основным фактором, определяющим процессы формирования ложа среднеазиатских водохранилищ, в силу физико-географических особенностей региона является заиление и занесение водоемов, а следовательно, и уменьшение объемов их чаш.

Вследствие того что эти морфометрические характеристики являются определяющими в гидрологических и водохозяйственных расчетах, они должны корректироваться путем проведения детальных батиметрических съемок. Как будет показано в главе «Заиление водохранилищ», в настоящее время разработаны методы корректировки зависимостей объемов водохранилищ в период между съемками.

Сопоставление зависимостей $V = f(H)$, полученных по последовательным батиметрическим съемкам, позволяет также судить об изменении морфометрии и морфологии чаш водохранилищ, их заилении, занесении, транспорте наносов, переформировании ложа и интенсивности этих процессов во времени (см. приложение 1).

Для характеристики форм чаш водохранилищ был использован показатель развития их объема $C = h_{\text{ср}}/h_{\text{макс}}$, заимствованный из озероведения [88], или отношение средней глубины к наибольшей, позволяющий оценить степень плотности объема и провести сопоставление чаши водохранилища с простыми телами вращения: цилиндр — 1, полушар — 0,67, параболоид — 0,50, конус — 0,33.

По форме чаш водохранилища, приуроченные к котловинным, тяготеют к параболоиду и характеризуются показателями емкости $C = 0,47...0,57$.

Водоохранилища, созданные при перегораживании долин, близки по форме котловин к конусу и имеют значения $C = 0,27...0,38$.

Наглядной характеристикой форм чаш водохранилищ является зависимость объемов и площадей водной поверхности от уровня воды в относительных величинах, так как дает картину послойного анализа форм чаш (рис. 2.1). Более выпуклые кривые тяготеют к коническим формам чаш со значениями $C = 0,25...0,4$ (так, для Южно-Сурханского водохранилища $C = 0,38$, Чимкурганского — 0,35, Кайраккумского — 0,30, Чардаринского — 0,30, Андижанского — 0,29, Туябугузского — 0,31, Сары-Языского — 0,27), средней выпуклости кривые — к параболоидам со значением $C = 0,5$ (к ним относятся чаши водохранилищ Сельбурского, $C = 0,52$; Дегресского 0,50; Талимарджанского 0,52; Куюмазарского, 0,57, Хауз-Ханского, 0,51), а биссектриса угла соответствует цилиндру, т. е. $C = 1$.

По показателю открытости $f/h_{\text{ср}}$, определяемому как отношение площади водной поверхности к средней глубине и характеризующему степень взаимодействия водной массы с окружающей средой и физико-географическими факторами, оказывающих влияние на режим водохранилищ через водную поверхность, к наиболее открытым относятся крупные и средние равнинные, а также малые мелководные водохранилища: Чардаринское ($f/h_{\text{ср}} = 119$), Тудакульское (57,7), Хауз-Ханское (36,5), Кайраккумское (86,3), Ташкенпринское (12,7) и др. Наименьшими показателями открытости характеризуются «глубокие» и «очень глубокие» водохранилища предгорных и горных зон, т. е. $f/h_{\text{ср}} < 1$.

Связь между элементами водосбора и водохранилища можно установить по ряду гидроморфоло-

[22], представляющих отношение площади водосбора F и площади акватории f водохранилищ и объема среднего годового притока воды в водохранилищах $W_{пр}$ к объему водной массы $W_{вдхр}$ и позволяющих оценить степень влияния водосбора на режим водохранилищ и морфологию их котловин.

По градации С. В. Григорьева, следует выделить три группы водоемов в зависимости от значений показателя K_1 : 1) водохранилища с малым удельным водосбором, $K_1 < 10$; 2) водохранилища со средним удельным водосбором, $K_1 = 10 \dots 100$; 3) водохранилища с большим удельным водосбором, $K_1 > 100$ [92].

В связи с тем что большинством среднеазиатских водохранилищ осуществляется сезонное регулирование стока рек с большими водосборными бассейнами, на которых формируется значительный по объему сток, в большей степени используемый и без перерегулирования, по показателям $K_1 = (F/f)$ и $K_2 = (W_{пр}/W_{вдхр})$ они характеризуются как водоемы с весьма большими значениями показателя удельного водосбора ($K_1 = 100 \dots 400$), средними и большими значениями показателя условного водообмена ($K_2 = 1 \dots 10,5$) (Нурекское — $K_1 = 305$, $K_2 = 10,5$; Южно-Сурханское — $K_1 = 181$, $K_2 = 4,0$; Кайраккумское — $K_1 = 230$, $K_2 = 4,6$; Чардаринское — $K_1 = 222$, $K_2 = 3,2$; Сары-Языское $K_1 = 404$, $K_2 = 6,2$).

У малых водохранилищ суточного и недельного регулирования стока показатель удельного водосбора может достигать значений более 4000 (например, у Головной ГЭС $K_1 = 4293$; у Учкурганского водохранилища $K_1 = 15153$; у Ходжикентского $K_1 = 4480$; у Газалкентского $K_1 = 5588$ и т. д.). Гидроморфологические показатели K_1 и K_2

сборных бассейнов на формирование гидрологического режима среднеазиатских водохранилищ и генезис их чаш (табл. 2.3). Первостепенным фактором, вызывающим уменьшение объема, а следовательно, и изменение формы чаш большинства водохранилищ, является осаждение взвешенных наносов, приносимых основными притоками. Поэтому при расчетах изменения формы водохранилищ необходимо в первую очередь учитывать закономерности осаждения взвешенных наносов в верхнем бьефе водоема. Интенсивность этих процессов определяется физико-механическими и физико-химическими свойствами наносов, динамическими процессами (волнение и течения), уровнем режимом водохранилищ и т. д. Уровень воды водохранилищ колеблется в весьма широких пределах от десятков до сотен метров. При этом в условиях глубокой сработки, особенно в маловодные годы, когда используются водные ресурсы из мертвых объемов, наблюдается перераспределение осевших наносов и их смыв на более низкие отметки и заполнение мертвых объемов. Наряду с этими факторами на процессы формирования ложа и уменьшение объемов чаш водохранилищ оказывают влияние эрозийная деятельность селевых саев, выпадающих в водохранилища, процессы переформирования берегов, зарастание водоемов камышом и внутриводной растительностью, а также гидробиологические процессы.

У водохранилищ, чаши которых приурочены к речным долинам, отложения наносов наблюдаются на всем протяжении водоема, при этом крупность отложений убывает к приплотинной зоне. У котловинных водохранилищ отложения наносов концентрируются в зоне впадения основных притоков и не имеют распространения по всему ложу водоема (Каттакурганское, Куюмазарское, Учкызылское).

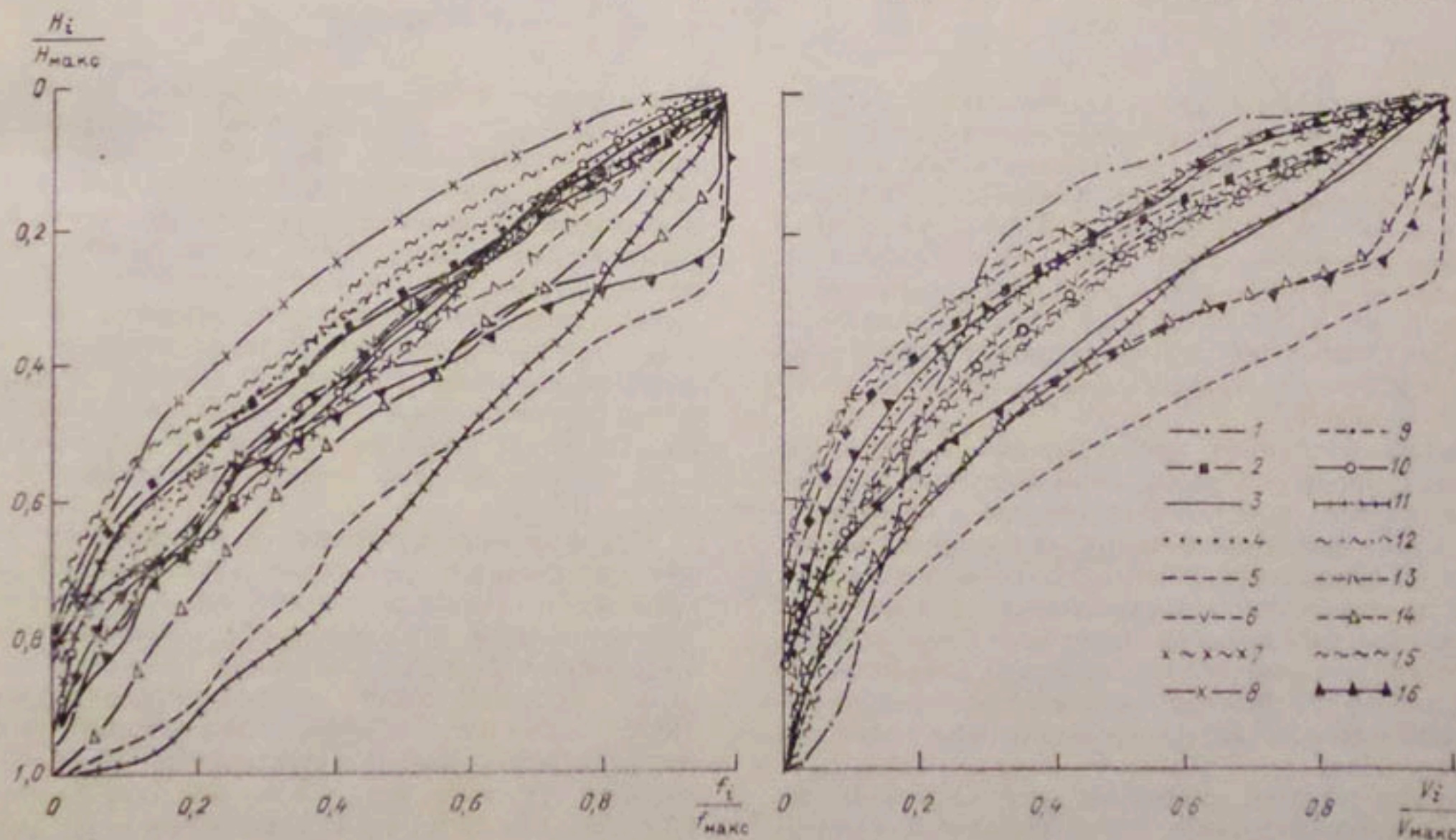


Рис. 2.1. Батиметрические и объемные зависимости.

Водохранилища: 1 — Кайраккумское, 2 — Южно-Сурханское, 3 — Чарнакское, 4 — Джизакское, 5 — Чимкурганское, 6 — Уртатокайское, 7 — Ахатгаранское, 8 — Туябугузское, 9 — Наякамарское, 10 — Каттакурганское, 11 — Куюмазарское, 12 — Учкызылское, 13 — Токтогульское, 14 — Андизанское, 15 — Чардаринское, 16 — Туямуяское.

№ п/п	Водохранилище	Сумма приходной составляющей, км ²	Полный объем водохра- нилища, км ³	K ₁	Тип водохранилища
1	Тюймукское	38,462	7,30	5,3	Аккумулятивно-транзитное I
2	Сельбурское	0,693	0,0254	27,3	Транзитно-аккумулятивное
3	Муминабадское	0,882	0,0301	29,3	"
4	Нурекское	23,66	10,5	2,25	Аккумулятивно-транзитное II
5	Головная ГЭС	18,864	0,0216	873	Транзитное
6	Южно-Сурханское	2,45	0,66	3,7	Аккумулятивно-транзитное I
7	Учкуйское	0,114	0,16	0,7	Аккумулятивное
8	Чимкурганское	0,814	0,44	1,85	Аккумулятивно-транзитное II
9	Пачкамарское	0,176	0,243	0,7	Аккумулятивное
10	Талимарджанское	4,914	1,525	3,2	Аккумулятивно-транзитное I
11	Каттакурганское	0,960	0,84	1,1	Аккумулятивно-транзитное II
12	Куюмаларское	0,390	0,360	1,1	"
13	Тудаккульское	0,875	0,875	1,0	"
14	Чардаринское	16,699	5,997	2,8	"
15	Кайраккумское	15,769	3,414	4,6	Аккумулятивно-транзитное I
16	Токтогульское	11,433	19,5	0,6	Аккумулятивное
17	Учкурганское	11,470	0,054	212	Транзитное
18	Анджарское	3,717	1,75	2,1	Аккумулятивно-транзитное II
19	Уртатокайское	0,259	0,16	1,6	"
20	Кариндонское	1,330	0,213	6,2	Аккумулятивно-транзитное I
21	Каттасайское	2,710	0,055	49,3	Транзитно-аккумулятивное
22	Ахангаранское	0,780	0,26	3,0	Аккумулятивно-транзитное I
23	Туябугузское	0,945	0,21	4,5	"
24	Чарвакское	6,363	2,0	3,2	"
25	Ходжикентское	7,024	0,03	234	Транзитное
26	Галаджентское	7,024	0,02	351	"
27	Джизакское	0,069	0,875	0,08	Аккумулятивное
28	Бугуньское	0,126	0,37	0,3	"
29	Ортокойское	0,794	0,47	1,7	Аккумулятивно-транзитное II
30	Кировское	0,770	0,55	1,4	"
31	Ташкепринское	1,6	0,073	21,9	Транзитно-аккумулятивное
32	Колхозбенское	1,6	0,060	26,7	Транзитно-аккумулятивное
33	Сары-Язское	1,610	0,263	6,1	Аккумулятивно-транзитное I
34	Иолотанское	1,6	0,031	51,6	Транзитно-аккумулятивное
35	Тедженское	0,756	0,184	4,1	Аккумулятивно-транзитное I
36	Хауз-Ханское	2,600	0,85	3,1	"
37	Западное	7,466	0,056	133	Транзитное
38	Копетдагское	0,237	0,244	1,0	Аккумулятивно-транзитное II

По результатам ряда последовательных батиметрических съемок и получения зависимостей $V = f(H)$ и $f = f(H)$ объемы заиления чаш некоторых водохранилищ составили: Южно-Сурханского — 140 млн м³ за 1963—1979 гг.; Кайраккумского — 700 млн м³ (1956—1983 гг.); Чимкурганского — 50 млн м³ (1962—1987 гг.); Чардаринского — 500 млн м³ (1968—1977 гг.); Уртатокайского — 5 млн м³ (1956—1980 гг.); Фархадского — 290 млн м³ (1948—1955 гг.); Иолотанского — 39,2 млн м³ (1909—1955 гг.).

Весьма наглядное представление о характере русловых процессов, зарастании водоемов, образовании островов и отложении наносов в водохранилищах дают последовательные их аэрофотосъемки. Особенно хорошо прослеживается образование островов из принесенных и отложившихся в водохранилище наносов, а также изменение береговой линии вследствие совокупного действия процессов перестроения берегов, ветрового заиления и повышения местного базиса эрозии и зарастания акватории.

Аэрофотосъемки позволяют получать синхронные во времени данные, резко сократить промерные работы, производство которых в осушаемой зоне водохранилища, как правило зарастающей камышом, вызывает значительные трудности.

Существенные изменения в конфигурации аквато-

рии и самого ложа водохранилища могут происходить в результате проведения мелноративных мероприятий, строительства дамб обвалования и отчленения от основной акватории мелководий, которые вследствие интенсивного прогрева являются активными зонами безвозвратных потерь водных запасов на испарение. Так, на Кайраккумском водохранилище вследствие интенсивного заиления на отдельных участках его верхней зоны и строительства дамб обвалования от площади зеркала водохранилища по левому берегу Канибадамской дамбы была отторгнута площадь под посевы сельхозкультур в 31 км², по правому берегу Кайраккумской дамбы — в 17 км².

Существенное изменение в морфологию котловин вносит и их зарастание влаголюбивой растительностью. Площадь зарастания Кайраккумского водохранилища, по данным обследования в 1978 г. Гидроэнергопроектом, составила 139 км², а по данным Кайраккумской гидрометеобсерватории в 1983 г. — 202 км². По материалам космифотосъемок на Чардаринском водохранилище на 1985 г. она составила 18 км², или 2,3 %, на Хауз-Ханском — 22,7 км², или 13 %, на Тудаккульском — 63 км², или 28 %. Нередко под посадки сельскохозяйственных культур используются земли, расположенные в ложе водохранилища, т. е. на отметке ниже НПУ, в период вегетационного опорожнения. Так, на Кай-

Ашгском районе — 400 га, в Канибадамском районе — 1200 га, в Ходжентском районе — 300 га.

ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

Водохранилища по сравнению с озерами характеризуются более интенсивными процессами формирования ложа, особенно в первые годы их эксплуатации, более целенаправленным использованием их водных запасов и водообменом и как следствие этого более активным протеканием динамических, физических, химических и биологических процессов. Последние в свою очередь во многом связаны с морфологией котловин и морфометрическими характеристиками, которые постоянно изменяются в условиях глубокой сработки среднеазиатских водохранилищ [158].

В этой связи среднеазиатские водохранилища возможно систематизировать по ряду морфологических признаков отрицательных форм рельефа, которые явились определяющими при их строительстве, а также по основным гидрологическим особенностям наиболее характерным для различных морфологических типов водоемов. Как было показано выше, водохранилища Средней Азии создавались либо при перегораживании речных долин, либо при заполнении бессточных котловин или в сочетании этих двух морфологических признаков, т. е. в озеровидных расширениях речных долин, открытых котловинах, пересекаемых речной сетью и имеющих сток в периферийной зоне.

Котловинные водохранилища создаются в полых формах рельефа (бессточных котловинах, впа-

динах, углублениях) путем частичного или полного обвалования последних с целью увеличения полезного объема водоема. По форме водной поверхности им свойственны округлые и овальные формы и малые показатели удлиненности ($l/b_{cp} = 1, 2 \dots 3$) и наибольшие компактности ($b_{cp}/b_{max} = 0,6$). Их характерными признаками являются наличие максимальных глубин в центральной зоне водоема. К котловинным водохранилищам можно отнести Учкызылское, расположенное в одноименной замкнутой котловине правобережья р. Сурхандарьи, водами которой оно наполняется, Куюмазарское, заполнившее естественную впадину на Куюмазарском плато, в бассейне р. Зеравшан. Этому типу водохранилищ свойственны коэффициенты полезного использования чаши, не превышающие 0,85. Значение коэффициента полезного использования чаши для котловинных водохранилищ представляет не только теоретический интерес, знание его важно и для определения эффективности создаваемого водохранилища. Так, при проектировании Чардаринского водохранилища существовал его вариант с полным объемом 62 млрд м³ с заполнением бессточной Арнасайской впадины, из которых полезный объем составил бы всего 29 млрд м³ ($\alpha = 0,47$). Крайняя неэффективность этого варианта заставила отделить Арнасайскую впадину от Чардаринского водохранилища Арнасайским гидроузлом, через который в исключительно многоводные годы сбрасывались бы пики катастрофического половодья, как это было сделано в 1969 г.

Вообще, следует отметить малую эффективность бессточных котловин для создания в них водохранилищ. В частности, для Учкызылского водохранилища полезный объем составляет лишь 48 % общего (рис. 2.2).

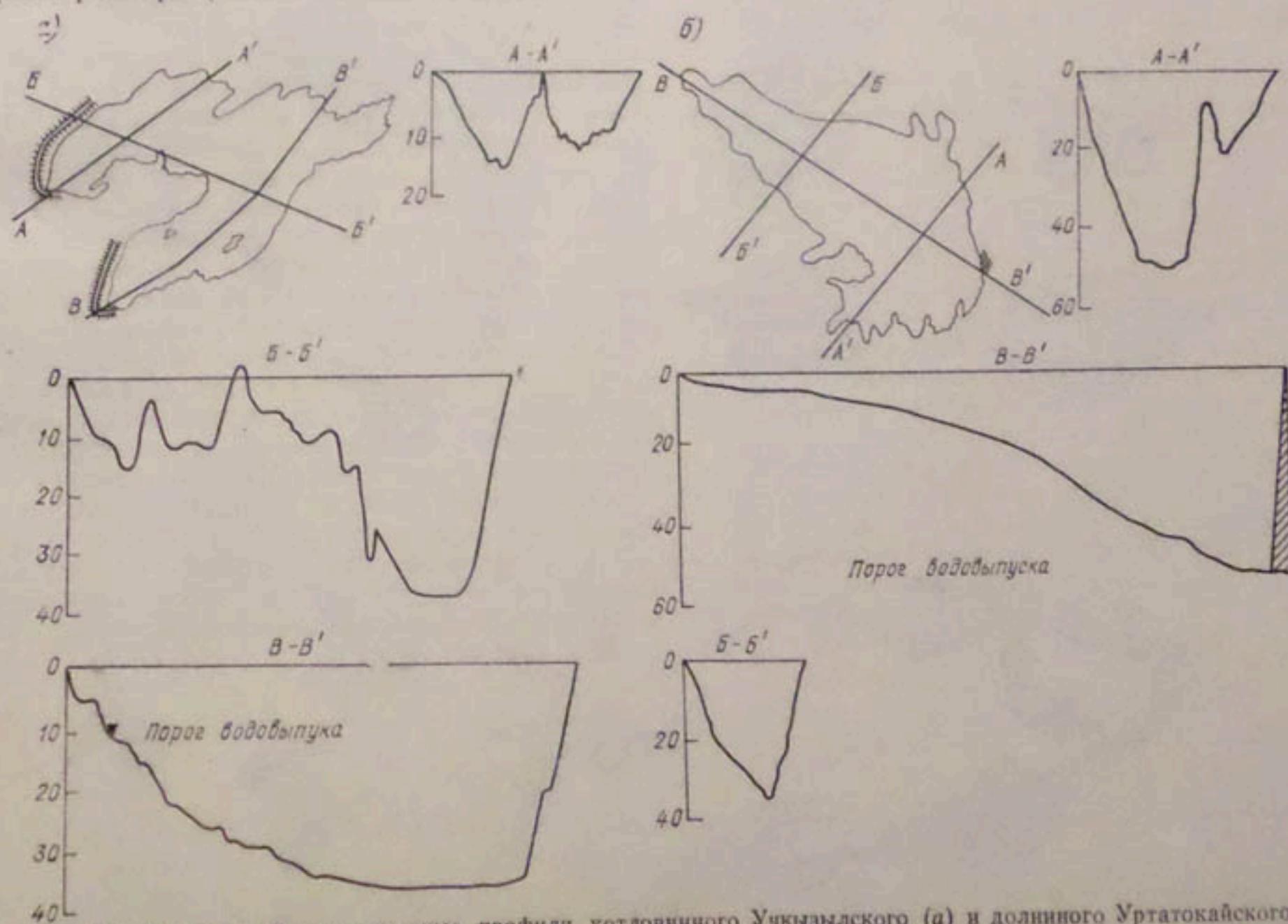
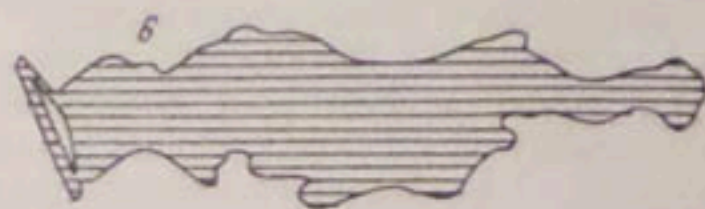
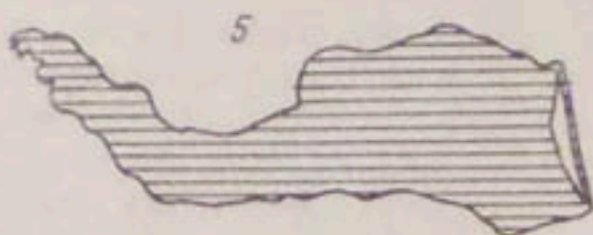
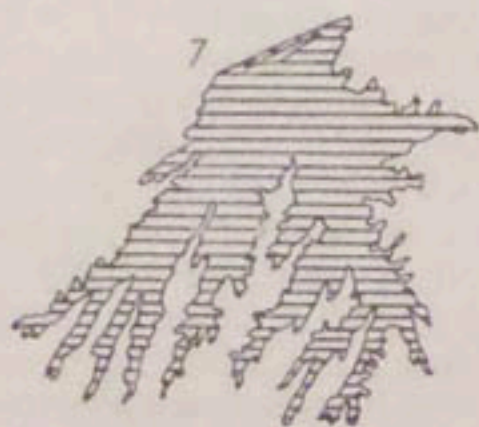


Рис. 2.2. Продольный и поперечные профили котловинного Учкызылского (а) и долинного Уртатокайского (б) водохранилищ.

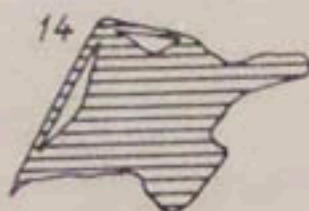
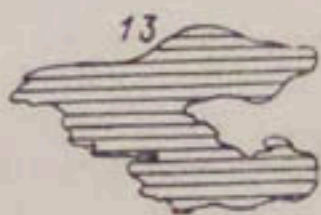
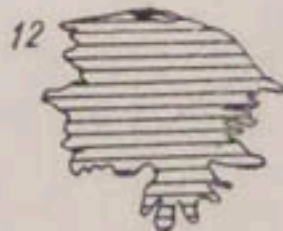
a)



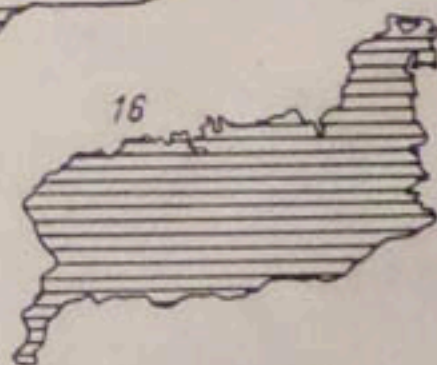
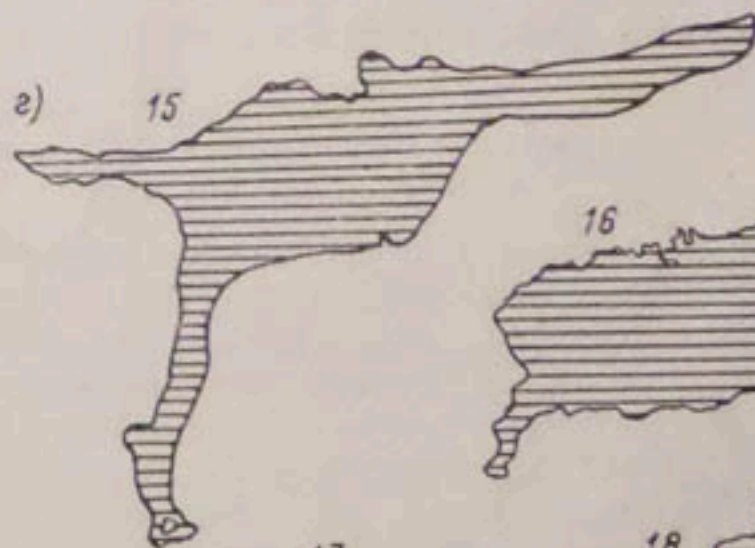
b)



c)



e)



d)



Долинные водохранилища, ложом которых служат затопленные участки речных долин, в противоположность котловинным характеризуются резкой асимметрией своих чаш и максимальными глубинами в приплотинной зоне. В зависимости от строения гидрографической сети затопляемой зоны по форме водного зеркала эти водоемы могут быть подразделены на простые и сложные.

В зависимости от того, заполняется ли русловая ложбина (Ходжикентское, Газалкентское, Учкурганское водохранилища) или пойма и надпойменная терраса участка долины, не имеющего значительных притоков (Нурекское, Южно-Сурханское, Чимкурганское, Кайраккумское, Ахангаранское, Сары-Языское, Иолотанское водохранилища и т. д.) водохранилища могут классифицироваться как русловые и простые долинные (рис. 2.3, табл. 2.2).

Для этих водохранилищ характерны высокие показатели удлиненности и наиболее сглаженные формы водной поверхности. Показатели полезного использования чаш α составляют менее 0,9.

Сложные долинные водохранилища образуются, когда в зону затопления попадает участок системы речных долин крупных притоков или системы саев. К такому типу водохранилищ относятся Андижанское, которое образовано при перегораживании р. Карадарьи и при наполнении затопляемой долины основных притоков — рек Куршаб, Яссы, Тар, Каакульджа, Каттакурганское, чашей которого служит система сухих саев по периферии Зерабулакской возвышенности, перегороженных весьма широкой плотинной (3 км), Джизакское, ложе которого также образовано путем перегораживания плотинной системы конусов выноса саев по периферии отрогов Туркестанского хребта.

Многие предгорные среднеазиатские водохранилища приурочены к межгорным котловинам, прорезаемым речными долинами, которые в силу своих морфологических особенностей обладают значительными расширениями долин, способствующих аккумуляции водных запасов, и сужениями, благоприятными для возведения плотин. Подобные водоемы классифицируются как котловинно-долинные, которым присущи характерные черты долинных водохранилищ — удлиненность формы водной поверхности, уклон дна к приплотинной зоне и наличие в ней максимальных глубин, и в то же время в зону затопления попадают обширные озеровидные расширения. Классическим примером такого водохранилища могут служить водохранилища: Токтогульское на р. Нарын, в зону затопления которого входит каньонообразный приплотинный участок долины и обширная Кетмень-Тюбинская котловина (рис. 2.3), Уртатокайское на р. Кассансай, Папанское на р. Акбура и Ортотокойское на р. Чу.

При чередовании участков затопленных речных ложбин, межгорных котловин и долин крупных при-

токов могут наблюдаться сложные котловинно-долинные водохранилища, к числу которых относится Чарвакское, образованное при перегораживании р. Чирчик, на выходе последней из Чарвакской котловины и затопившее при этом долины двух основных притоков, составляющих р. Чирчик, рек Пскем и Чаткал. Для долинного типа водохранилищ характерны высокие значения коэффициента полезного использования чаш, практически достигающие единицы (см. табл. 2.2.).

По характеру наполнения среднеазиатские водохранилища подразделяются на русловые, созданные перегораживанием рек плотинами, откуда они получают основное питание, и наливные, когда наполнение осуществляется по подводящим каналам [96].

К русловым относится абсолютное большинство долинных водохранилищ, к наливным — абсолютное большинство котловинных. Однако, некоторые долинные водохранилища, образованные при перегораживании сухих эрозионных долин и подпитывающиеся по искусственным водотокам (Каттакурганское, Джизакское, Тортгульское), относятся к наливным.

По показателям условного водообмена K_2 водохранилища подразделяются на пять групп:

транзитные ($K_2 > 100$) — водохранилища ГЭС суточного и недельного регулирования;

транзитно-аккумулятивные ($K_2 = 10 \dots 100$) — сильно проточные малые водоемы;

аккумулятивно-транзитные I типа ($K_2 = 3 \dots 10$) — водохранилища сезонного регулирования стока;

аккумулятивно-транзитные II типа ($K_2 = 1 \dots 3$) — водохранилища сезонного регулирования стока, слабо обменные;

аккумулятивные ($K_2 < 1$) — водохранилища многолетнего регулирования стока с замедленным водообменом.

Основное число водохранилищ осуществляет сезонное регулирование стока и имеет ирригационное назначение, так как более 90 % водных ресурсов среднеазиатского региона используется на орошение. Крупные, а также часть средних водохранилищ по характеру хозяйственного использования относятся к группе комплексных, предназначенных для решения оросительных, энергетических, рыбохозяйственных задач. Однако орошение остается основным потребителем.

Классификационная система водохранилищ Средней Азии позволяет правильно и быстро подбирать аналоги для водоемов, режим которых недостаточно или совсем не изучен, а также для проектируемых объектов. Здесь следует подчеркнуть, что из 60 эксплуатируемых водоемов только на 15 проводятся специализированные исследования их гидрологического режима.

Рис. 2.3. Сравнительные формы водохранилищ.

а — долинные простые водохранилища: 1 — Чимкурганское, 2 — Нурекское, 3 — Кайраккумское, 4 — Ахангаранское, 5 — Южно-Сурханское, 6 — Сары-Языское; б — долинные сложные водохранилища: 7 — Каттакурганское, 8 — Туябугузское, 9 — Ташкенпринское, 10 — Анжижанское; в — котловинно-долинные водохранилища: 11 — Куюмазарское, 12 — Джизакское, 13 — Учкуланское, 14 — Базаркурганское; г — котловинное долинное водохранилище: 15 — Токтогульское, 16 — Ортотокойское, 17 — Уртатокайское, 18 — Каттаксайское; д — котловинное долинное сложное водохранилище: 19 — Тоямунское, 20 — Чарвакское, 21 — Каркидонское, 22 — Деградское, 23 — Пачкамарское.

ГЛАВА 3. УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ

Одним из основных показателей, характеризующих режим эксплуатации водохранилищ, являются условия их наполнения и опорожнения, а также амплитуда колебания уровня воды водоема за фазовооднородные периоды. От высоты стояния уровня воды и его внутригодовой изменчивости зависят морфометрические характеристики, термические особенности водоемов, связанные с ними устойчивость водных масс, минерализация и другие показатели гидрологического и гидрохимического режимов. Режим уровня во многом определяет процессы заиления чаши водохранилища, а также его биопродуктивность. Установлены зависимости названных показателей состояния водохранилищ от их уровня, который таким образом является одной из важнейших лимитирующих характеристик экологических водных систем.

В связи с тем что большинство эксплуатируемых водохранилищ осуществляют сезонное регулирование стока среднеазиатских рек, им свойственны лишь внутригодовые колебания уровня воды, отражающие сезонное изменение фаз режима эксплуатации водохранилищ. Следует отметить, что основное число водохранилищ Средней Азии относится к водоемам оросительного назначения, но и для водоемов комплексного назначения орошение остается основным потребителем водных запасов, особенно в маловодные годы, что во многом определяет их уровень режим.

Внутригодовые колебания уровня воды водохранилищ различаются наличием тех или иных фаз хода уровня, их продолжительностью и амплитудой, направленностью в перерегулировании стока и т. д. Основными причинами, вызывающими эти колебания, являются климатические условия года, с одной стороны, и планирование в использовании водных запасов водохранилищ, с другой.

В зависимости от морфологического типа, условий сработки водохранилищ и наполнения (долинные русловые и котловинные наливные водохранилища имеют принципиально различный режим наполнения) их внутригодовой ход уровня воды несколько отличен, хотя как те, так и другие ориентированы в своей эксплуатации в основном на максимальное обеспечение нужд орошаемого земледелия. Следует отметить, что такие гидроморфологические показатели, как K_1 и K_2 , достаточно хорошо характеризующие степень влияния водосборного бассейна на естественные водоемы, в условиях антропогенного влияния на сток теряют смысл.

Ход уровня воды отражает изменение водных запасов и является интегральной характеристикой составляющих водного баланса водоемов, позволяющей осуществлять анализ работы водохранилища

и корректировать планы водопользования гидроэнергетических и оросительных систем.

Наблюдения за уровнем воды среднеазиатских водохранилищ осуществляются практически с начала их наполнения. Из 60 эксплуатируемых водохранилищ на 18 имеются озерные гидрологические посты Госкомгидромета СССР, а остальные оборудованы пунктами наблюдений эксплуатационной гидрометрии ММ и ВХ и Минэнерго Среднеазиатских республик (см. табл. 1.4, рис. 1.3).

Абсолютное большинство водохранилищ оборудовано одним уровнем постом, однако форма и размеры акватории среднеазиатских водохранилищ позволяют полагать, что влияние денивеляции на точность уровненых наблюдений незначительно. На крупных водохранилищах с площадью водной поверхности более 250 км² (Туямуонское, Кайраккумское, Чардаринское, Токтогульское) в различные периоды эксплуатации наблюдения за уровнем воды велись на двух-пяти озерных постах.

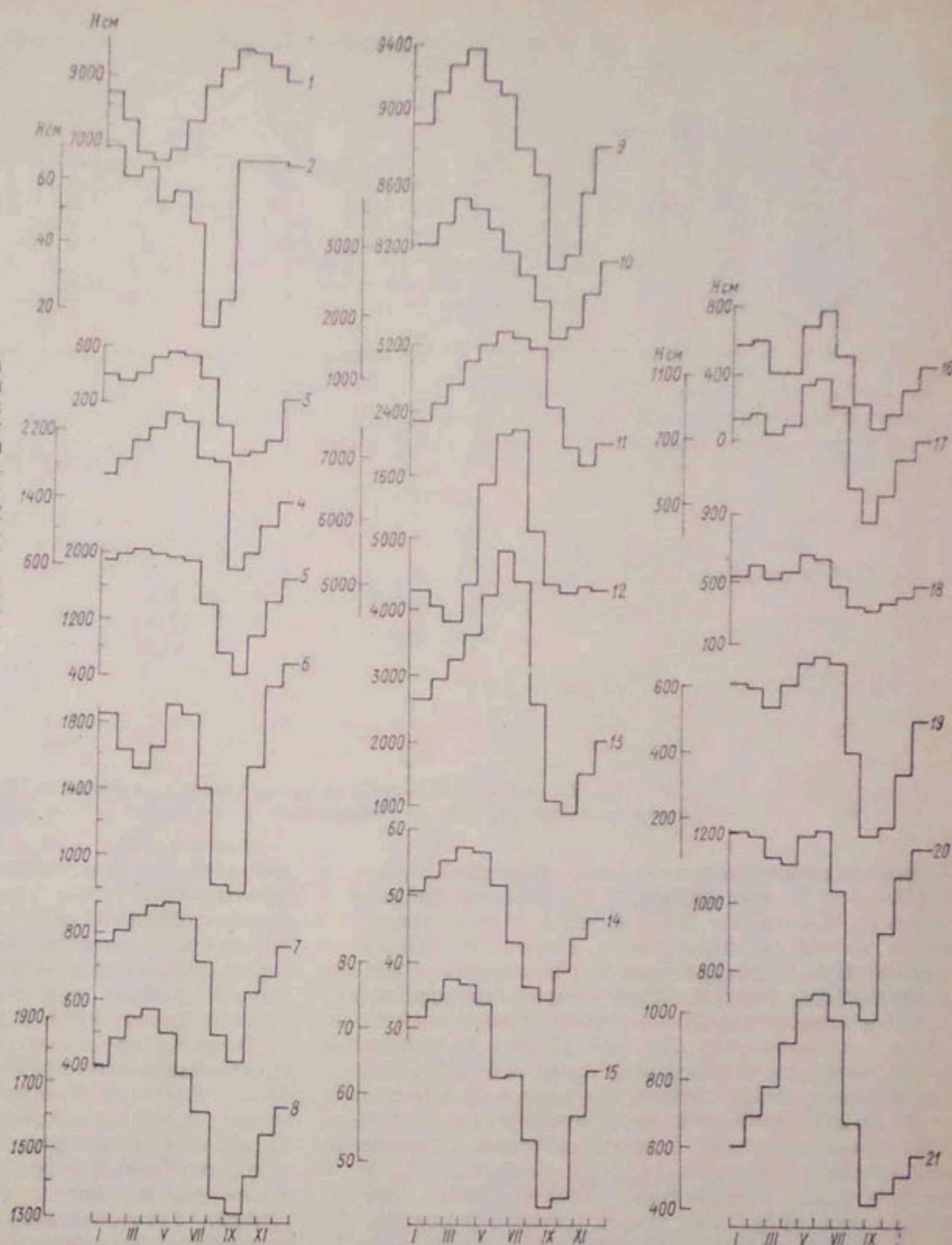
Для характеристики суточных колебаний уровня воды и сгонно-нагонных явлений использовались записи самописцев (СУВ). Однако следует отметить, что СУВ функционировали лишь на Кайраккумском, Чардаринском и Туябугузском водохранилищах. В этой связи средний уровень воды водохранилища оценивался по данным наблюдений одного поста или осреднения материалов наблюдений по нескольким постам для крупных водохранилищ. Средние многолетние, максимальные и минимальные месячные уровни воды водохранилищ (в см над нулем поста) приведены в приложении 2.

Важнейшими характеристиками внутригодового хода уровня воды водохранилища являются его экстремальные значения, а также годовая амплитуда уровня (см. приложение 3). По абсолютному значению амплитуда колебания уровня воды изменяется в пределах от нескольких метров на равнинных водохранилищах до сотен метров на предгорных. В то же время амплитуда колебаний уровня воды не остается постоянной и от года к году в большой степени определяется их водностью.

В режиме эксплуатации водохранилищ выделяются два характерных периода: первый — наполнение водохранилища до уровня НПУ, который охватывает период строительства гидроузла и возведение плотины и второй — нормальной эксплуатации, когда в уровненом режиме наблюдается ежегодное наполнение водохранилища до НПУ с последующей вегетационной сработкой полезного объема согласно правил эксплуатации.

Наполнение водохранилищ осуществляется уже в первые годы их строительства, так как острая потребность в водных ресурсах приводит к расходованию водных запасов водохранилищ в крайне

Рис. 3.1. Внутригодовой ход уровня воды водохранилищ (Н) бассейнов рек Амударьи (1—6), Сырдарьи (7—13), Чу и Талас (14, 15) и Туркмении (16—21).
Водохранилище: 1—Нурекское, 2—Головной ГЭС, 3—Учкуйское, 4—Чимкуртанское, 5—Каттакуртанское, 6—Куюмаларское, 7—Кайраккумское, 8—Чардаринское, 9—Найманское, 10—Папанское, 11—Тунбугузское, 12—Чарвакское, 13—Уртатокайское, 14—Ортатокайское, 15—Кировское, 16—Ташкепринское, 17—Сары-Ямское, 18—Колхозбекское, 19—Илолганское, 20—Хауз-Ханское, 21—Тедженское II.



маловодные годы даже из мертвых объемов. Это является характерным для большинства среднеазиатских водохранилищ, строительство которых осуществлялось в несколько этапов. Период наполнения водохранилищ порой затягивается на несколько лет, с одной стороны, за счет длительных сроков строительства, с другой — ввиду того что на заполнение мертвых объемов идут лишь избытки стока в годы выше средних по водности, хотя емкость водохранилищ меньше годового стока питающих его рек и они могли бы быть наполнены в течение одного года. Это относится к водохранилищам как с сезонным, так и многолетним регулированием стока, при этом наполнение может затянуться и на более продолжительный период например, Чарвакское и Токтогульское водохранилища).

В режиме эксплуатации водохранилищ Узбекистана отмечаются, один или два такта работы, каждый из которых состоит из наполнения и последующего частичного или полного опорожнения. Один из тактов приходится на теплую половину года и совпадает по времени с половодьем на реках и вегетационными поливами. Второй такт имеет место в холодное полугодие при межених расходах воды в реках и частичном использовании воды для влагозарядных поливов, промывки засоленных земель, работой ГЭС или подготовкой водохранилищ к аккумуляции и пропуску половодья (рис. 3.1). [96, 117].

Таким образом, водохранилища делятся на две группы: первая — с летним использованием водных ресурсов (Уртатокайское, Чимкуртанское, Каттакуртанское, Джизакское), вторая — с зимним и

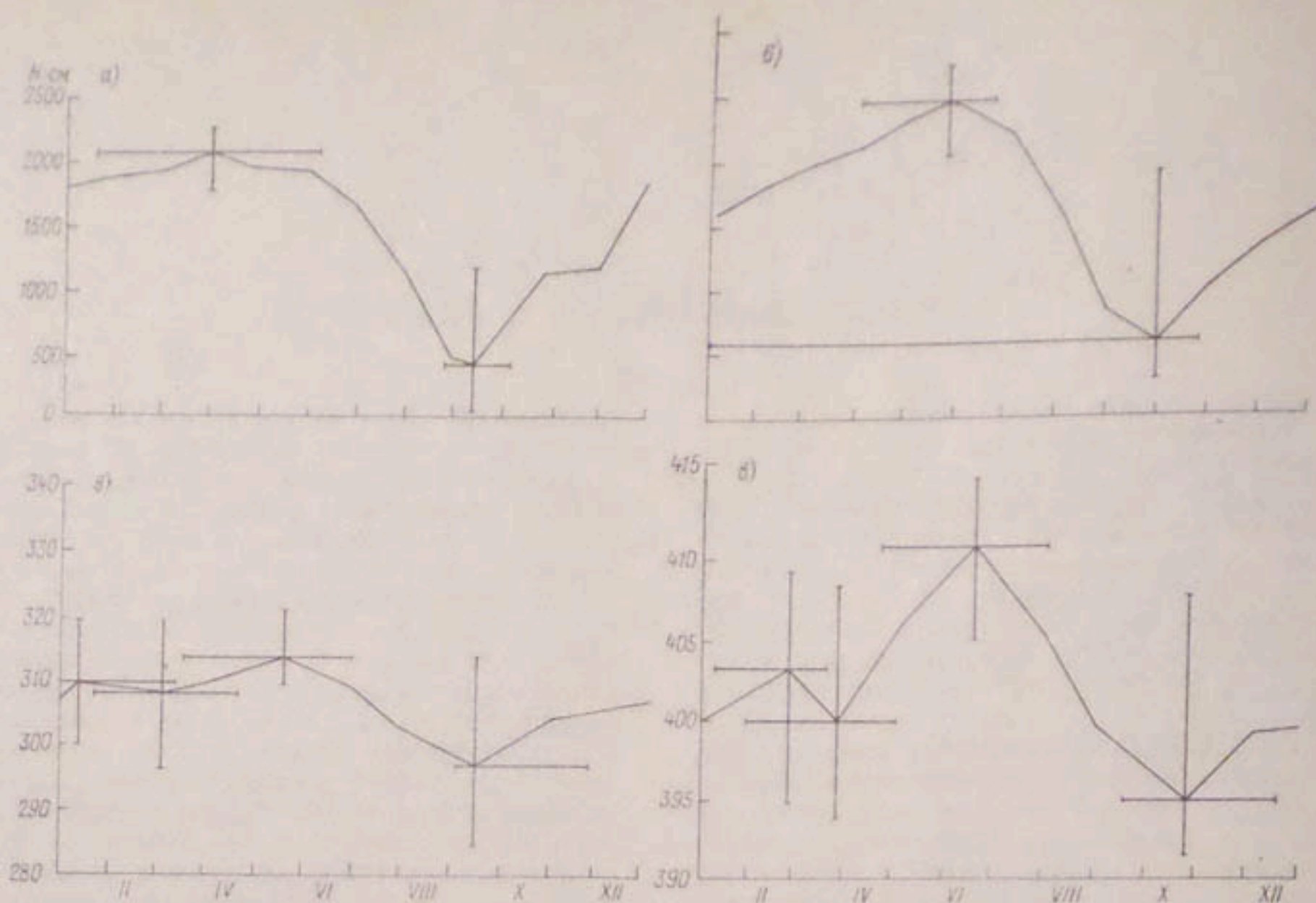


Рис. 3.2. Типовой график колебаний уровней воды водохранилищ (H).
Водохранилище: а — Каттакурганское, б — Чимкурганское, в — Учкызылское, г — Южно-Сурханское.

летним использованием водных ресурсов (Южно-Сурханское, Куюмазарское, Учкызылское, Кайрак-кумское, Чарвакское, Хауз-Ханское и др.). Упомянутые такты не охватывают полностью годовой цикл режима водохранилищ, так как их могут разделять иногда довольно продолжительные периоды, когда в водохранилище не наблюдается ни сработка, ни накопление. Поэтому исходя из рассмотрения водного баланса этой основной комплексной характеристики любого водоема целесообразно подразделять такт на фазы, отличающиеся различной направленностью и интенсивностью в изменении элементов водного баланса. Первая половина такта — фаза наполнения — характеризуется преобладанием приходных статей баланса и накоплением запасов воды. Вторая половина такта, когда в водном балансе преобладают расходные статьи, превышающие приток и вызывающие расходование запасов воды, представлена фазой сработки. Кроме этих двух фаз, из которых в основном складываются такты работы водохранилища, в его режиме могут иметь место периоды, когда приходные и расходные статьи водного баланса практически равны и существенного изменения запасов воды не наблюдается. Эта фаза равновесия отмечается в периоды весенне-летнего высокого стояния уровня воды и осенней глубокой сработки.

Вегетационный период характеризуется наличием двух фаз: весеннего наполнения и летней сработки. Такой ход уровня воды является типичным для всех среднеазиатских водохранилищ независимо от их назначения и обусловлен преобладающей ролью орошаемого земледелия в народном хозяйстве региона. В невегетационный период в

уровневом режиме водохранилищ может наблюдаться второй такт, состоящий из сочетания трех фаз: наполнения, сработки и равновесия. В зависимости от водности года фазовооднородные периоды характеризуются различной продолжительностью, сроками их наступления и амплитудой колебания уровня (рис. 3.2).

В то же время могут наблюдаться различия, обусловленные назначением водохранилищ и морфологией их чаш. Основные различия наблюдаются между крупными водохранилищами комплексного назначения (Нурекское, Кайраккумское, Чардаринское, Токтогульское) и средними и малыми чисто оросительного (Каттакурганское, Чимкурганское, Уртатокайское) или энергетического (Учкурганское, Курупсайское, Ходжикентское, Газалкентское) назначения.

Наиболее информативным показателем, отражающим эти различия, является отношение годовой амплитуды колебания уровня воды к наибольшей возможной сработке водохранилища

$$a = \Delta H_t / \Delta H_{\text{макс.}}$$

Водохранилищам комплексного назначения свойственны меньшие амплитуды колебания уровня воды, при этом параметр a изменяется от 0,3 до 0,5. Еще менее значительны колебания уровня воды на водохранилищах энергетического назначения ($a > 0,3$), в то время как на водохранилищах оросительного назначения параметр a практически во все годы близок к 1, исключая крайне многоводные и маловодные периоды.

В экстремальные годы водохранилища могут не наполняться до НПУ. В маловодные годы это

Интенсивность изменения уровня воды водохранилищ (см/сут) за 1982 г.

№ п/п	Водохранилище	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Южно-Сурханское	13,6	9,29	-13,2	2,17	19,5	-9,2	-28,0	-6,77	-3,93	13,2	13,0	9,2
2	Чимкуртанское	5,74	4,25	8,94	5,43	-3,77	-11,3	-21,6	-32,8	4,07	21,1	13,8	8,87
3	Каттакуртанское	5,97	4,89	1,13	-2,87	-5,9	-14,0	-30,3	-13,9	5,33	23,0	15,9	9,1
4	Куомаларское	-2,32	-6,04	6,26	-3,23	6,71	-19,4	-15,3	-14,5	19,6	29,7	-0,9	-0,77
5	Кайраккумское	-0,13	-0,46	0,97	-1,13	-3,32	-7,97	-13,2	-0,97	2,53	10,6	9,47	3,42
6	Уртатокайское	20,4	14,1	9,74	13,6	6,84	-16,5	-62,1	-63,4	—	28,2	19,9	11,3
7	Туябугузское	2,81	2,57	2,65	0	1,94	-4,7	-20,0	-34,7	8,6	25,1	18,0	5,97
8	Чарвакское	-9,29	-16,4	-17,2	21,5	-0,45	-30,7	-59,5	-35,0	0	22,6	8,2	-7,1

Примечание. Тире — наблюдалась полная сработка водохранилища.

объясняется нехваткой водных ресурсов на их заполнение, а в многоводные — подготовкой водохранилища для пропуска половодья [4, 9, 57].

Суточные амплитуды колебания уровня воды также имеют определенный внутригодовой ход с максимумом в период интенсивной сработки (июль—август) и минимумом в период опорожнения водохранилищ (сентябрь—октябрь).

Средняя месячная интенсивность изменения уровня воды колеблется от 0 до 70 см (табл. 3.1), достигая максимальных значений в отдельные сутки (свыше 100 см). Это характерно для глубоководных предгорных водохранилищ со значительной амплитудой колебания уровня воды, высоким показателем использования водосберегающих емкостей (Уртатокайское, Чарвакское, Ортотокайское). В период наполнения суточный прирост уровня воды менее значителен и достигает 20—30 см.

На абсолютном большинстве водохранилищ Средней Азии определение уровня воды осуществляется на одном озерном посту и он принимается как средний для всего водоема. В то же время в условиях денивеляционных колебаний уровня воды, вызванных действием сгонно-нагонных явлений, сейш и длинных волн, наблюдается искажение горизонтальной водной поверхности, что ведет к существенным ошибкам в оценке водных запасов водохранилищ [64]. Сейши и длинные волны — явление весьма редкое на небольших по площади водохранилищах Средней Азии.

Воздействие на водную поверхность устойчивого, ориентированного по продольной оси водохранилища ветра ведет к возникновению сгонно-нагонных колебаний уровня воды, которые достаточно четко фиксируются на совмещенном графике хода срочных значений уровня воды и проекции вектора скорости ветра на ось, проходящую через центр тяжести водоема и водомерный пост (рис. 3.3).

Ошибки в определении среднего уровня воды по одному гидрологическому посту в условиях ветровой денивеляции для таких водоемов, как Кайраккумское и Чардаринское водохранилища, могут составлять 20—40 см, что ведет к увеличению невязок водного баланса на 10—15 % [77].

Сгонно-нагонные явления развиваются довольно быстро и достигают экстремальных значений в течение нескольких часов. Сдвиг фаз уровня воды относительно ветра под действием инерционных сил зависит от размеров и формы водоема и составляет для наиболее крупных долинных водохранилищ (Кайраккумское, Чардаринское) 2—3 ч (рис. 3.4).

На водохранилищах Средней Азии в связи с компактностью их форм и небольшими размерами даже при слабых ветрах сгоны—нагоны в

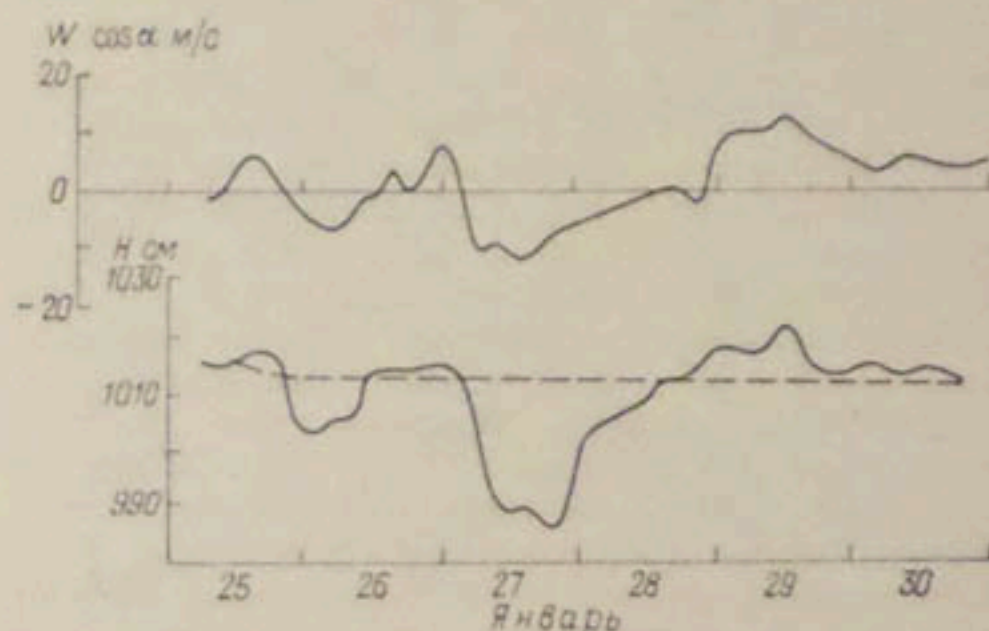


Рис. 3.3. Совмещенный график ветровых колебаний уровня воды (H) и ветра (W) по гидрологическому посту г. Кайраккум, 1961 г.

основном имеют одноузловой вид с узлом в зоне центра тяжести водной массы водоема и синхронными колебаниями уровня воды на противоположных участках акватории.

Для введения поправок на ветровую денивеляцию при наблюдении за уровнем воды на одном гидрологическом посту А. А. Либертом [77] была предложена зависимость

$$\Delta Z = K\delta (L/H_{cp}) W^2 \cos \alpha,$$

где ΔZ — разность уровней воды в центре тяжести водоема и на водомерном посту, $K\delta$ — тангенс угла наклона линии связи, L — расстояние от водомерного поста до центра тяжести водоема, H_{cp} — средняя глубина на этом участке, W^2 — скорость ветра, α — угол между направлением ветра и осью, проходящей через водомерный пост и центр тяжести водоема. Для определения параметра $K\delta$ строится график зависимости

$$\Delta Z = f[(L/H_{cp}) W^2 \cos \alpha]$$

по натурным наблюдениям на посту для сроков, которым в течение 3—5 ч предшествовал устойчивый по направлению и силе ветер (рис. 3.4).

Осредненными значениями уровня воды соответствуют его значения, которые наблюдались в сроки, когда параметр $W^2 \cos \alpha$ близок нулю.

Как показывают расчеты, предложенный метод может быть использован в диапазоне изменчивости

силы ветра в сроки 0—6 ч, предшествующие стону-нагонам [77]. Зависимости $\Delta Z = [1/(L/H_{cp})] W^2 \cos \alpha$ для стонов и нагонов рекомендуется строить отдельно, так как при использовании данных о ветрах различных направлений по

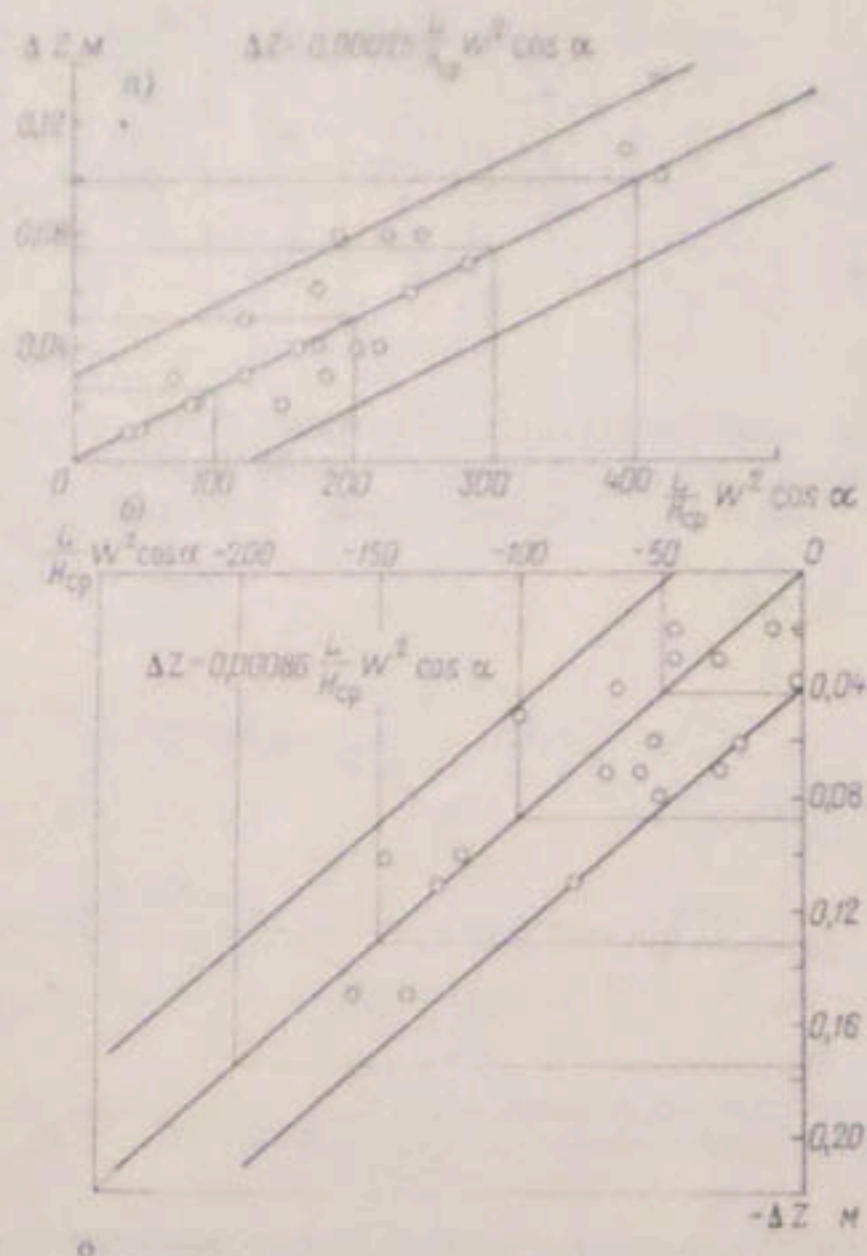


Рис. 3.4. Зависимость значений стога — нагона от скорости ветра и морфологических параметров чаши Кайракумского водохранилища. а — нагон, б — стог.

одной метеостанции, следует учитывать и асимметрию чаш водохранилищ. В расчетах можно использовать осредненные данные о ветре с заблаговременностью 3—6 ч (два или три срока наблюдений).

Чимкурганское водохранилище. Чимкурганское водохранилище расположено в среднем течении р. Кашкадарья и является долинным русловым водохранилищем, осуществляющим сезонное регулирование стока р. Кашкадарья.

Водохранилище было наполнено в 1962—1963 гг., при этом в 1962 г. подъем уровня воды составил 8 м, а в 1963 г. — 19 м. В период наполнения водохранилище эксплуатировалось в оросительном режиме (рис. 3.5).

Режим уровня Чимкурганского водохранилища определяется, с одной стороны, назначением водохранилища, а с другой — гидрологическими особенностями режима реки. В связи с тем что главным потребителем, в чьих интересах производится регулирование стока, является орошаемое земледелие, весенний сток реки перерегулируется на летние месяцы.

В конце октября, за фазой осеннего равновесия, начинается осенне-зимнее наполнение. Его средняя продолжительность равна 154 сут.

Осенне-зимнее наполнение заканчивается в феврале. К этому времени водохранилище заполняется

почти на 45 % полезной емкости. С прохождением половодья в бассейне р. Кашкадарья осуществляется весеннее наполнение, которое сопровождается ростом уровня воды и накоплением полного объема водохранилища. Средняя дата начала весеннего наполнения приходится на 27/III. Продолжительность фазы, которая заканчивается во второй декаде

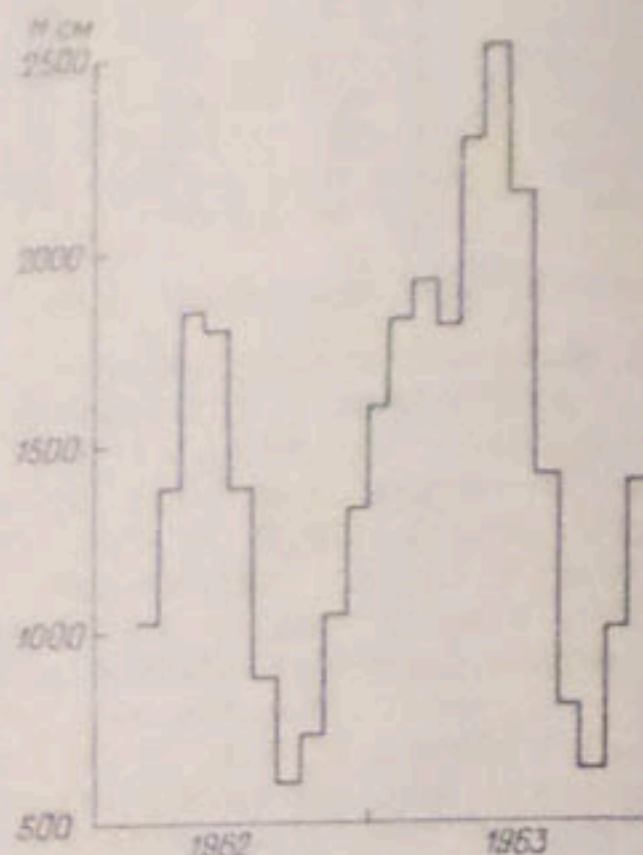


Рис. 3.5. График наполнения Чимкурганского водохранилища.

мая, составляет 62 дня. В среднем за фазу подъем уровня воды составляет 14 м. За фазой весеннего наполнения следует фаза летней (вегетационной) сработки, продолжительность которой в среднем составляет 126 сут. Эта фаза характеризуется значительным падением уровня (19,64 м) и заканчивается в сентябре (см. приложение 3).

Амплитуда колебания уровня воды водохранилища изменяется от 8,80 м в многоводном 1969 г. до 24,12 м в среднем по водности 1972 г. при среднем значении сработки 19,64 м.

Наивысшие уровни воды во внутригодовом ее ходе приходятся на апрель — июнь и изменяются от 2805 до 2003 см над «0» графика (см. приложение 3). Наивысшие уровни имеют значительный разброс в датах — ранняя дата приходится на 5/IX 1977 г., а поздняя на 21/VI 1969 г. В первом случае год был маловодный и водохранилище наполнять было практически невозможно, во втором — наоборот, половодье растянулось до июня и наибольшие уровни наблюдались в третьей декаде июня (рис. 3.6).

Наинизшие уровни воды водохранилища изменяются от 1859 до 310 см при среднем многолетнем значении в 599 см.

Изменяющаяся водность р. Кашкадарья в основном определяет экстремальные значения уровня воды водохранилища. В многоводном 1969 г. при минимальной сработке водохранилища наблюдается наивысший из наинизших уровней, а в 1972 г. при наибольшей сработке уровня наиболее минимальный. Средняя дата наименьших уровней приходится на 22/IX, а разброс крайних дат составляет полтора месяца — 1/IX 1971 г. — 15/X 1985 г.

За период нормальной эксплуатации Чимкурганского водохранилища в его уровнежном режиме отмечались периоды повышенных и пониженных

первом этапе водохранилище позволяло аккумулировать лишь 100 млн м³ воды, после наращивания плотины (с 1948 г.) емкость водохранилища была доведена до 400 млн м³, а к 1953 г. — до 660 млн м³. Однако первое наполнение водохранилища до НПУ произошло лишь в 1954 г., который принят за первый год режима его нормальной эксплуатации.

В 1966—1968 гг. плотина водохранилища была реконструирована. Ее нарастили на 4 м, и уложили железобетонный экран по внутреннему откосу плотины. Отметка НПУ была поднята с 508 до 511 м, а объем чаши водохранилища возрос до 880 млн м³ при площади водной поверхности 86 км². В этой связи уровень режим водохранилища рассмотрен только за 1985 и 1986 гг. (рис. 3.9).

Каттакурганское водохранилище относится к группе водохранилищ, водные ресурсы которых используются в основном в период вегетационных поливов. Во внутригодовом ходе уровня воды водохранилища отмечается один вегетационный такт работы, состоящий из фаз длительного осенне-зимнего наполнения и быстрой летней сработки.

Фаза наполнения начинается в октябре — ноябре и продолжается до марта. Период наполнения составляет 200 сут. За фазу подъем уровня составляет в среднем 20 м. За фазой зимне-весеннего наполнения следует период равновесного состояния, продолжительностью 70—90 сут.

Фаза вегетационной сработки продолжительностью 90—100 сут начинается в мае и характеризуется интенсивным падением уровня воды.

В период сентябрь — ноябрь в режиме водохранилища наблюдается фаза осеннего равновесия, когда отмечаются минимальные уровни воды, испы-

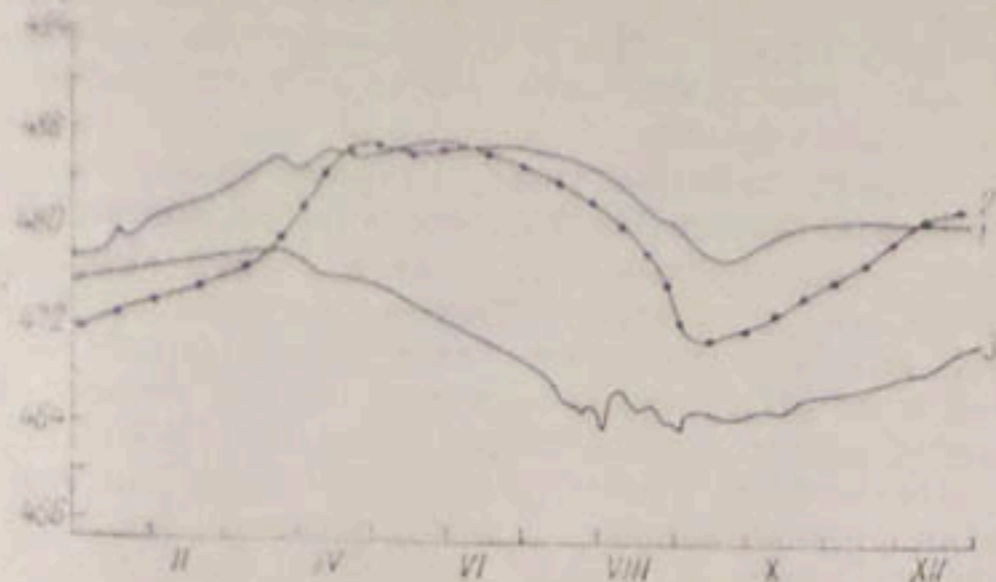


Рис. 3.6. Ход уровня воды Чимкурганского водохранилища за характерные годы.

Год: 1 — многоводный, 2 — средний, 3 — маловодный.

стояний уровня воды, что объясняется водностью р. Кашкадарья в эти годы (рис. 3.7).

Каттакурганское водохранилище. Строительство Каттакурганского наливного водохранилища в бассейне р. Зеравшан осуществлялось с 1940 по 1952 г.

Наполнение и эксплуатация водохранилища происходила одновременно со строительством. При этом величина наполнения определялась степенью готовности плотины и других гидротехнических сооружений.

На приводимом графике изменений уровней воды в водохранилище (рис. 3.8) видно три основных этапа в режиме эксплуатации водохранилища — 1942—1947, 1948—1951 и 1952—1954 гг. По существу этот период можно рассматривать как эксплуатацию трех различных водохранилищ. На

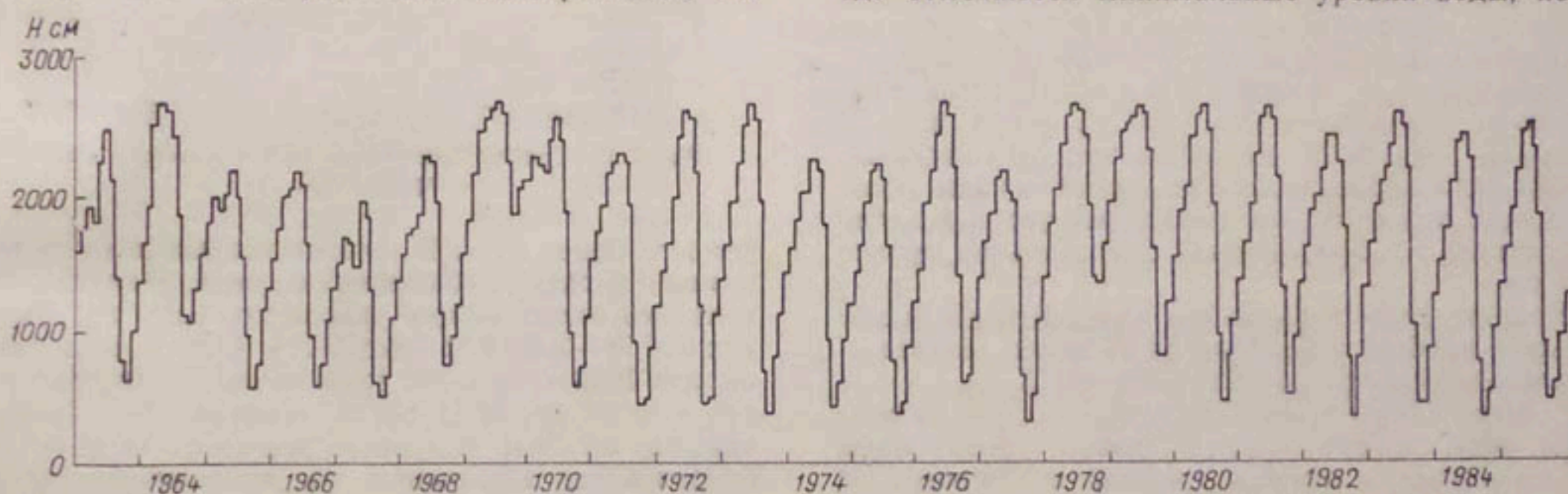


Рис. 3.7. Хронологический график хода уровня воды Чимкурганского водохранилища.

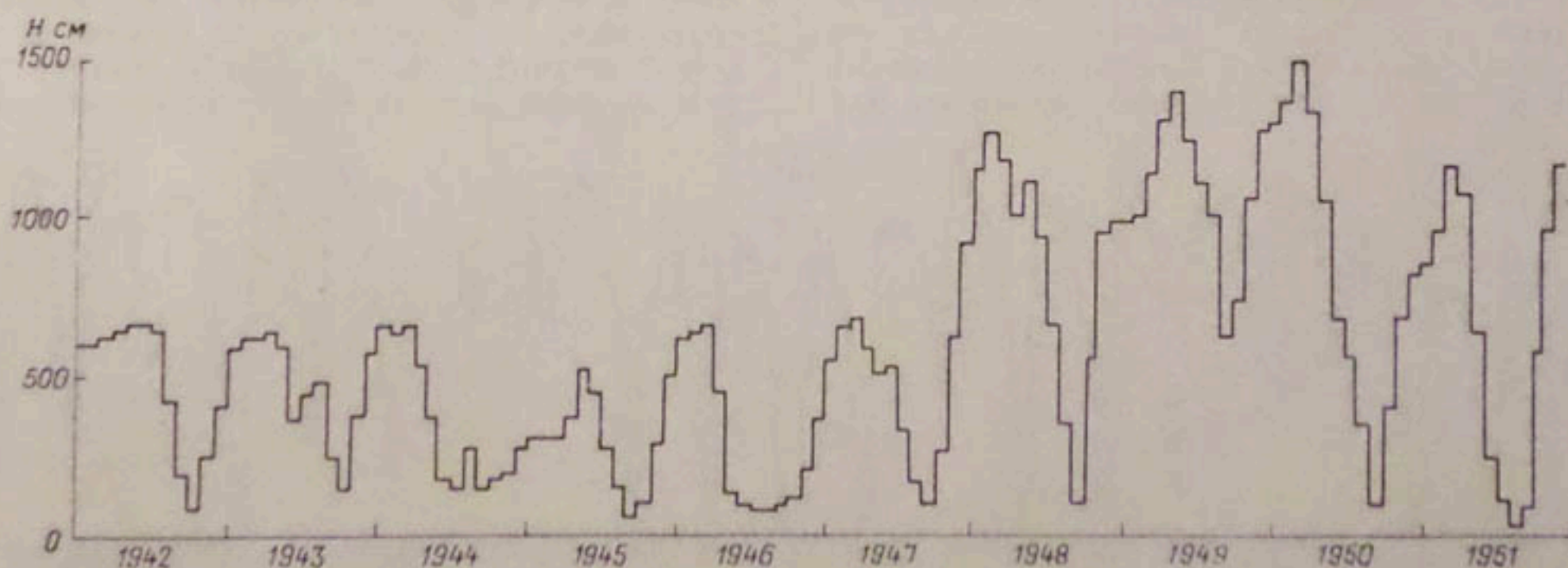


Рис. 3.8. График наполнения Каттакурганского водохранилища.

тывающие незначительные колебания. Наивысший уровень (2253 см) наблюдался с 4/V по 4/VI 1981 г., наинизший (28 см) — 28/VIII 1975 г.

В многоводные годы наполнение водохранилища затягивается до мая, фаза высокого стояния уровня — до июня, а сработка наименьшая. В маловодные годы периода весеннего высокого стояния

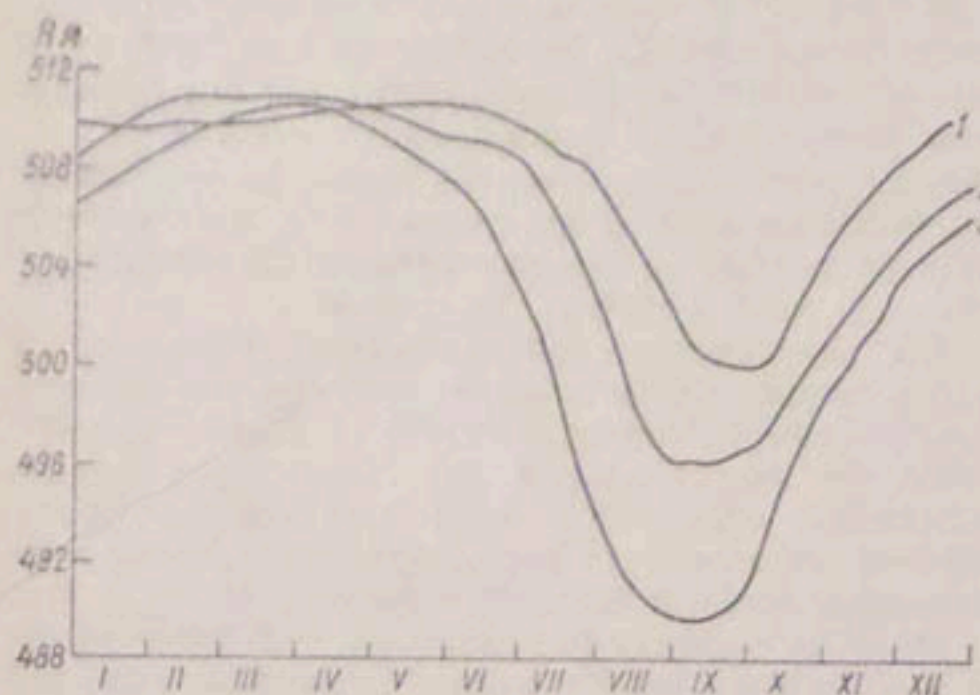


Рис. 3.9. Ход уровня Каттакурганского водохранилища за характерные годы.
Годы: 1 — многоводный, 2 — средний, 3 — маловодный.

уровня не наблюдается и за фазой наполнения следует глубокая сработка вплоть до порога водовыпуска.

Наибольшее наполнение водохранилища наблюдается в весенний период. При этом его средняя дата приходится на 29/IV, ранняя — на январь (1970 г.), а поздняя — на июнь (1969 г.) (см. приложение 3). В 1970 г. весеннее наполнение было незначительным, а осенне-зимнее — оказалось наибольшим. В многоводном 1969 г., когда потребность в воде была минимальной, максимальные уровни воды продержались до первой декады июня. Разброс в значениях максимальных уровней велик и достигает 5 м при среднем максимальном уровне 2146 см.

Крайние даты наименьших уровней воды имеют меньший разброс и приходятся на конец августа — начало октября при средней дате 12/IX.

Сработка водохранилища также зависит от водности года, и при среднем низшем уровне воды 475 см значения низших уровней изменяются от 1216 до 280 см (см. приложение 3).

Амплитуда колебания уровня воды водохранилища варьирует в больших пределах (от 21,22 м в 1970 г. до 10,04 м в 1979 г.) при средних значениях в 17,04 м. Наибольшая сработка характерна для

маловодных лет, какими явились 1970, 1971, 1972, 1974, 1975, 1976, 1980, 1982 гг. Напротив, в многоводные годы: 1969, 1973, 1978, 1979 гг. сработка была минимальной.

Следует отметить, что Каттакурганское водохранилище наполняется до НПУ не ежегодно, особенно в маловодные годы. Так в период крайнего маловодья в среднеазиатском регионе (1974—1977 гг.) водохранилище ежегодного недобирало 4—6 м до НПУ, что объясняется острой нехваткой водных ресурсов в бассейне р. Зеравшан (рис. 3.10).

В отличие от русловых водохранилищ наливные имеют принципиально отличный режим перерегулирования стока. В режиме Каттакурганского водохранилища, для которого характерен один такт наполнения и сработки, объемы перерегулирования стока составляют для среднего по водности года 580 млн м³, или 70 % полезного объема.

Куюмазарское водохранилище. Наполнение котловинного наливного Куюмазарского водохранилища, расположенного в низовьях бассейна р. Зеравшан, было начато в 1957 г. и продолжалось

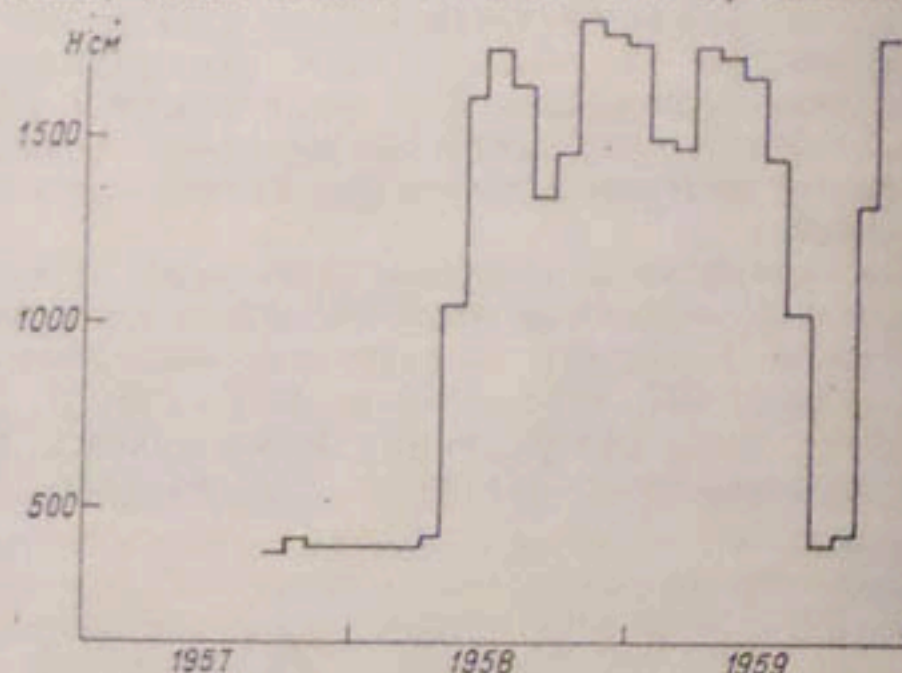


Рис. 3.11. График наполнения Куюмазарского водохранилища.

немного более года. В течение первых шести с половиной месяцев наблюдений на водохранилище отмечалась стабилизация уровня его воды на отметках 221,90—222,12 м (рис. 3.11). С третьей декады апреля 1958 г. уровень воды начал интенсивно расти и за 50 сут 8/VI достиг отметки 234 м, увеличившись на 12 м. В третьей декаде июля началось опорожнение водохранилища, продолжавшееся до октября. Уровень понизился на 5,5 м до отметки 230,05 м. С 4/X началось осеннее наполнение водохранилища, и в течение месяца уровень воды достиг отметки 236 см. В ноябре и декабре 1958 г. уровень воды находился почти на одной и той же

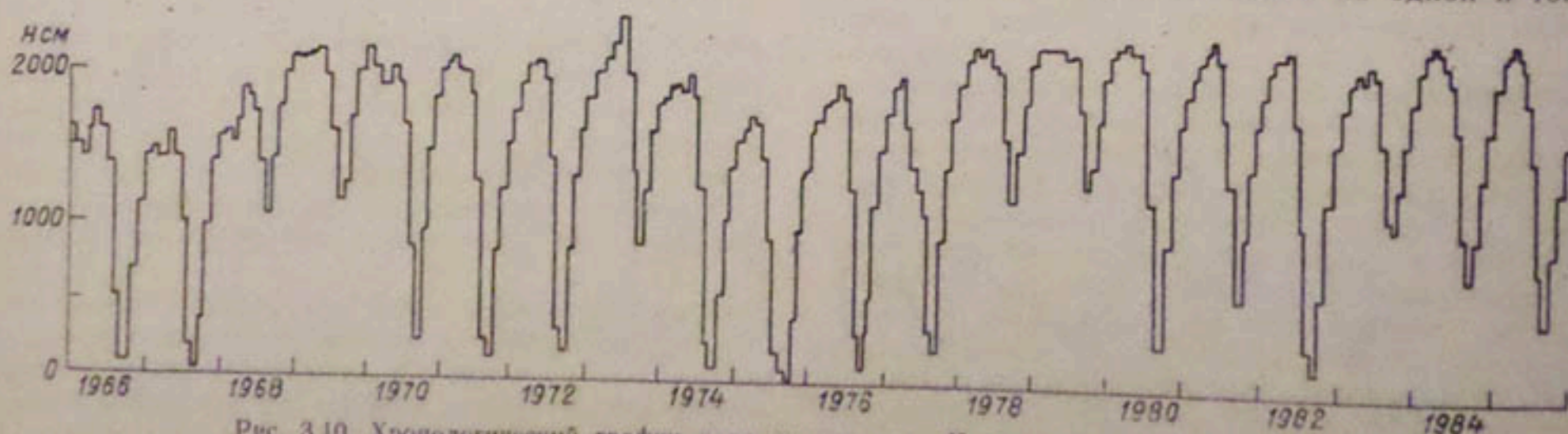


Рис. 3.10. Хронологический график хода уровня воды Каттакурганского водохранилища

отметке и лишь к концу года понизился на 0,5 м. Таким образом, наполнение Куюмазарского водохранилища было закончено осенью 1958 г.

В 1966 г. было проведено обвалование котловины, что позволило увеличить емкость водохранилища до 306 млн м³, при этом НПУ возрос на 3 м.

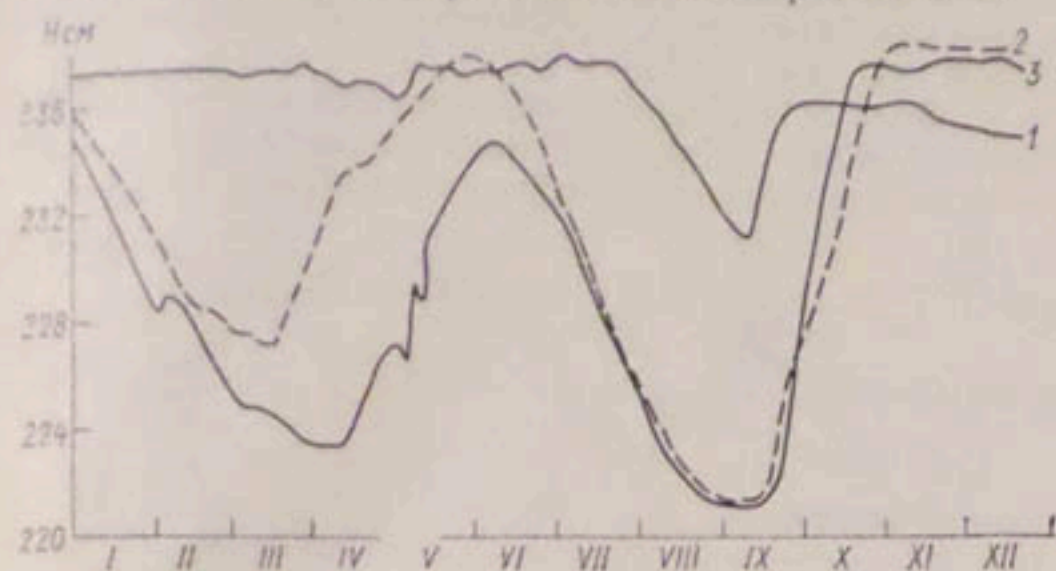


Рис. 3.12. Ход уровня воды Куюмазарского водохранилища за характерные годы.
Год: 1 — многоводный, 2 — средний, 3 — маловодный.

Водохранилище относится к группе водохранилищ с использованием водных ресурсов в зимне-весенний и летний периоды, что вызвано необходимостью проведения влагозарядных поливов, промывки и рассоления земель в низовьях бассейна р. Зеравшан. Во внутригодовом ходе уровня воды водохранилища отмечается два такта — первый летний или вегетационный, состоящий из весеннего наполнения (апрель — май) и летней сработки (июль — август), а второй относится к зимне-весеннему периоду и включает осенне-зимнее наполнение (ноябрь — январь), зимне-весеннее частичное опорожнение (февраль — март). Оба такта охватывают годовой цикл эксплуатации водохранилища. При переходе от такта к такту отмечаются непродолжительный период неустойчивого весенне-летнего высокого стояния уровня и осенний период глубокой сработки (рис. 3.12).

Фаза наполнения в режиме водохранилища начинается в ноябре — декабре и охватывает 60 сут. Подъем уровня составляет 15,5 м. За фазой осенне-зимнего наполнения следует фаза частичной зимне-

летней сработки, которая продолжается 40—60 сут. Весенне-летнее наполнение продолжается 60—90 сут. Фаза вегетационной сработки характеризуется значительным падением уровня воды продолжительностью до 90—100 сут и заканчивается в сентябре. В период октябрь — декабрь в уровненом режиме водохранилища наблюдается фаза осеннего равновесия, когда уровень воды испытывает незначительные колебания. Продолжительность фазы 60—70 сут.

Наибольших значений уровень воды достигает в мае — июне, при этом разброс в его значениях весьма невелик и составляет 1,19 м, что объясняется водностью года.

В связи с тем что в режиме эксплуатации Куюмазарского водохранилища наблюдается осенне-зимнее и весенне-летнее наполнение, наибольшие уровни его воды могут наблюдаться как в осенний, так и в весенний период. В этой связи средняя дата наполнения, как это ни странно, приходится на конец октября. Рассматривая гидрологический год, видим, что ранняя дата приходится на ноябрь, а поздняя на июль (см. приложение 3).

Амплитуда колебания уровня воды варьирует в больших пределах и изменяется от 18,35 (1967 г.) до 7,22 м (1969 г.) при средних значениях 15,36 м. В 1969 г. вследствие повышенной водности рек в среднеазиатском регионе потребность в водных ресурсах была минимальной и водохранилище было сработано лишь на 7,22 м. В маловодные годы, какими явились 1967, 1970, 1977, 1983 гг., потребность в воде была велика и сработка составила более 17—18 м (рис. 3.13).

Минимальные уровни воды приходятся на сентябрь. При этом при средней дате 7/IX период между ранней и поздней датой составляет менее 1 месяца. Здесь же следует сказать, что наинизшее стояние уровня также зависит от водности года и потребности в водных ресурсах в низовьях бассейна р. Зеравшан. Наибольший из наинизших уровней наблюдался в многоводном 1969 г., когда была минимальная сработка, а наименьший — в маловодном 1967 г.

Кайраккумское водохранилище. Расположено в среднем течении р. Сырдарьи. Наполнение долинного, руслового Кайраккумского водохранилища

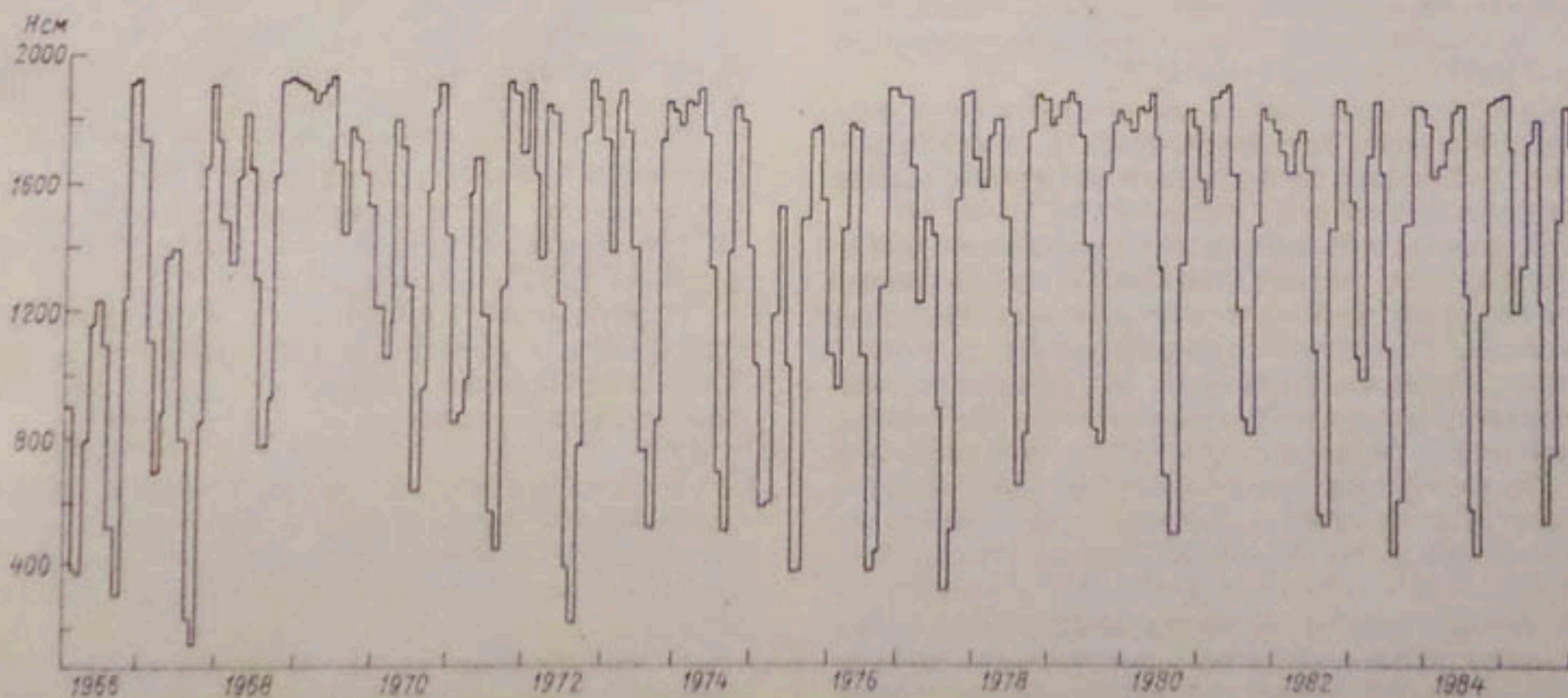


Рис. 3.13. Хронологический график хода уровня воды Куюмазарского водохранилища.

было начато в июне 1956 г. и продолжалось два с половиной года. За этот период уровень воды поднялся на 18,9 м и в 1958 г. был ниже НПУ на 65 см (рис. 3.14). Основное наполнение осуществлялось в весенне-летние месяцы, когда по р. Сырдарье проходило половодье. На общем плавном фоне подъема уровня наблюдались два пика. Первый отмечался с 25/VI по 6/VIII 1956 г., когда за 16 месяцев уровень поднялся на 8,2 м. При этом подъеме уровня за сутки составил 65 см. В конце мая 1957 г. после двенадцатидневной сработки начался

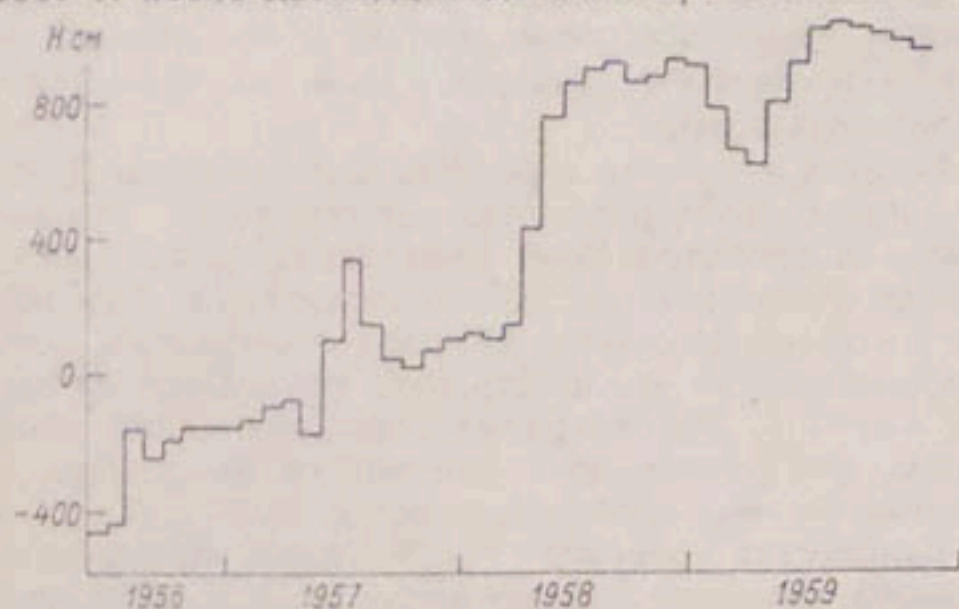


Рис. 3.14. График наполнения Кайраккумского водохранилища.

второй подъем уровня воды, когда за июнь он поднялся на 6,3 м. При этом средний суточный подъем уровня составил 21 см при максимальном 15/VI 83 см. К этому времени в водохранилище было накоплено уже 1,69 км³ воды, т. е. практически был заполнен мертвый объем и уровень отметки достиг 340,1 м.

С 15/VII по 15/IX происходило опорожнение водохранилища, при котором уровень воды понизился на 3,65 м. В середине сентября 1957 г. начался плавный подъем уровня, который продолжался в течение всего 1958 г., при этом наибольший подъем наблюдался в апреле, когда уровень за месяц поднялся на 4,5 м и достиг отметки 343,25 м (рис. 3.14).

После зимнего опорожнения водохранилища, связанного с работой ГЭС «Дружба народов», началось весеннее наполнение 1959 г., по окончании которого уровень воды достиг отметки НПУ.

Период нормальной эксплуатации Кайраккумского водохранилища имеет продолжительность 27 лет (1959—1985 гг.) (рис. 3.15).

В многоводные и средние по водности годы, когда водохранилище эксплуатируется в комплексном режиме, наблюдаются два такта во внутригодовом ходе уровня воды.

В осенне-зимний период осуществляется основное наполнение водохранилища с последующей частичной сработкой (1-й такт) и весенне-летнее наполнение с глубокой вегетационной сработкой (2-й такт). В маловодные годы водохранилище эксплуатируется в оросительном режиме и во внутригодовом ходе уровня отмечается продолжительное (до 240 сут) осенне-зимне-весеннее наполнение и глубокая (ниже ГМО) вегетационная сработка. Сработка при этом составляет 12—13 м (1974—1977 гг.).

Уровенный режим Кайраккумского водохранилища характеризуется осенне-зимним наполнением (октябрь — январь), высоким зимне-весенним стоянием уровня воды с незначительным его падением

в феврале — марте. В зимне-весенний период водохранилище в эксплуатации ориентировано на гидроэнергетику. Колебания уровня в период наполнения водохранилища составляют 7—8 м при средней его продолжительности до 110 сут. Периоды высокого неустойчивого стояния уровня между фазами наполнения и сработки велики и достигают 150 сут. (рис. 3.15).

Фаза летней вегетационной сработки водохранилища — наиболее устойчивая характеристика в режиме его эксплуатации — приходится на июнь —

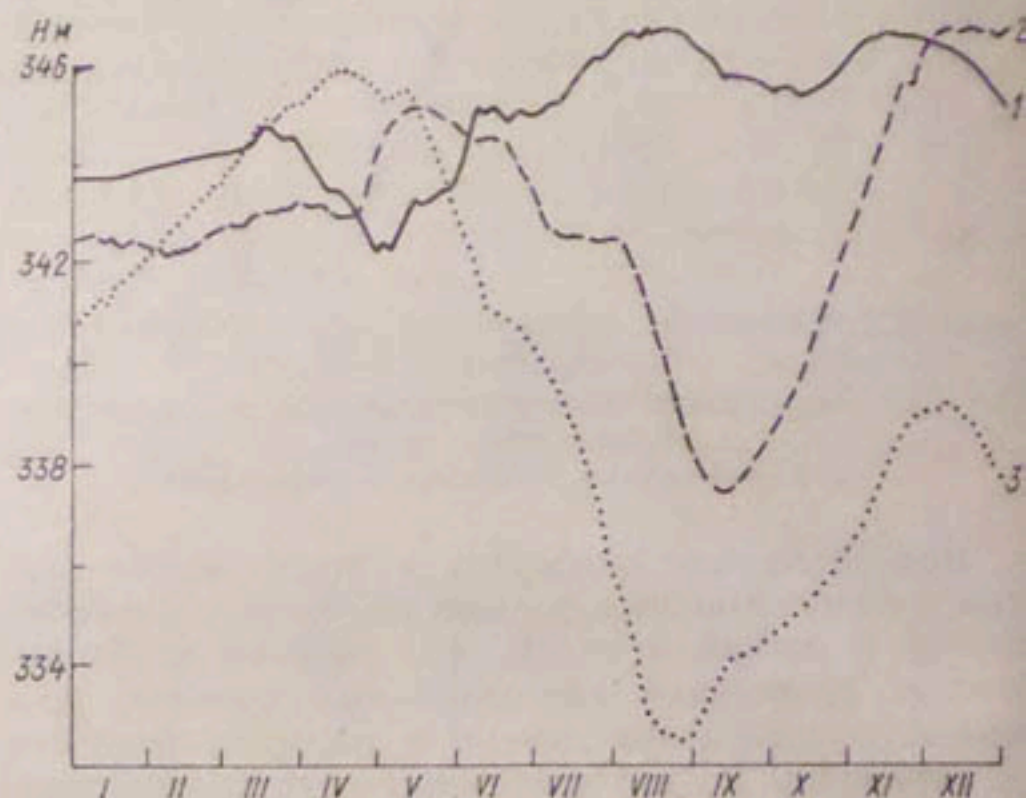


Рис. 3.15. Ход уровня воды Кайраккумского водохранилища за характерные годы.

Год: 1 — многоводный, 2 — средний, 3 — маловодный.

август. Сработка начинается во второй половине июня и продолжается 80—100 сут, заканчиваясь в сентябре, когда наблюдаются минимальные годовые уровни воды. Однако в многоводные годы, когда летняя сработка незначительна, опорожнение водохранилища может смещаться на зимний период, как это наблюдалось в 1969—1970 гг. Значения понижения уровня в фазу летней сработки изменяются в широких пределах и зависят от водности года, так как климатические факторы года и именно водоносность р. Сырдарьи являются определяющими в составлении планов эксплуатации водохранилищ в летний период. Так, на Кайраккумском водохранилище в маловодном 1974 г. его сработка составила 14,1 м при средней сработке за период нормальной эксплуатации 6,9 м.

Осенний период характеризуется минимальными отметками стояния уровня воды. При этом продолжительность фазы невелика и составляет 20—70 сут, так как необходимо поднимать напор на турбины ГЭС «Дружба народов».

Наибольшие уровни воды в водохранилище наблюдаются в весенне-летний период при средней дате 18/V. Однако ранняя и поздняя даты имеют значительный разброс — от 16/I в 1983 г. до 14/X в 1969 г.

В маловодные годы, каким явился и 1983 г., водохранилище невозможно было наполнить до отметки НПУ и уровень января, достигнутый в результате осенне-зимнего наполнения, был максимальным.

В многоводные годы, напротив, в период формирования и пуска половодья водохранилище держат сработанным, чтобы не создавать критически

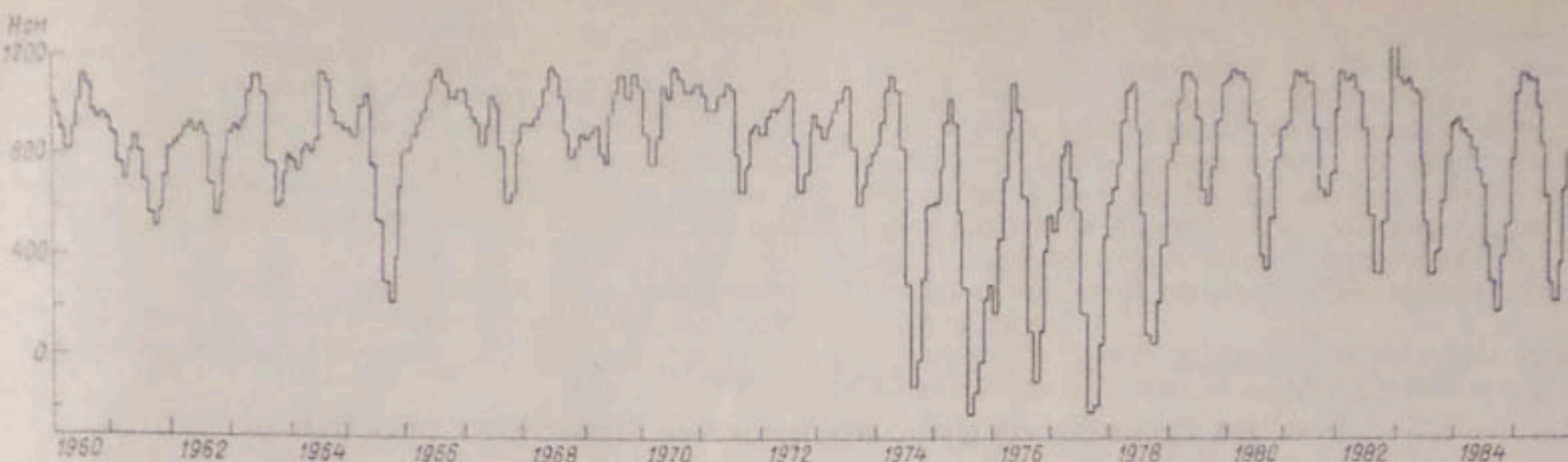


Рис. 3.16. Хронологический график хода уровня воды Кайраккумского водохранилища.

Таблица 3.2

Наполнение Уртатокайского водохранилища

Год	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955
Объем, млн м ³	3	7	13	15	18	30	50	61	75	90	90	96	98	100

итуаций, и наибольшие уровни воды наблюдаются в осенний период, как это отмечалось в катастрофическом многоводном 1969 г. Наибольшие уровни имеют незначительный разброс в 2,6 м, в то время как наименьшие имеют разброс до 13 м. Так, в 1974 г. сработка уровня составила 14,1 м при среднем многолетнем значении 6,9 м (см. приложение 3).

Анализируя хронологический график хода уровня воды (рис. 3.16), наглядно можно представить, когда водохранилище эксплуатировалось в оросительном режиме (1965, 1974—1978, 1982—1985 гг.), а когда в комплексном (оросительно-энергетическом) — 1960—1964, 1966—1973 гг. Особенно маловодным был период 1974—1978 гг., когда ежегодно водохранилище опорожнялось ниже отметки ГМО, годовые амплитуды колебания уровня были наибольшими, а объем притока воды не позволял наполнить его до отметки НПУ.

Уртатокайское водохранилище. Его строительство на р. Кассансай осуществлялось в несколько этапов. Оно было начато в 1941 г. и продолжалось 15 лет. Водохранилище в этот период эксплуатировалось. При этом величина наполнения определялась степенью готовности плотины и других гидротехнических сооружений. К 1947 г. была завершена первая очередь строительства и емкость наполнения составила 30 млн м³. Полностью строительство водохранилища емкостью 100 млн м³ было завершено в 1956 г. (табл. 3.2).

С 1963 по 1965 г. на Уртатокайском водохранилище были проведены работы по реконструкции и наращиванию плотины. Высота плотины возросла до 69 м, что позволило увеличить его емкость до 165 млн м³ и зарегулировать сток р. Кассансай на 90 %.

Во внутригодовом ходе уровня воды отмечается один такт, подразделяющийся на фазу наполнения и фазу сработки. Фазы равновесия практически отсутствуют. Фаза наполнения продолжительна, начинается в ноябре — декабре и заканчивается в мае — июне. Причем с начала наполнения и в период половодья подъем уровня воды более интенсивный. За фазу подъем уровня воды составляет в среднем 35—40 м (рис. 3.17).

Вегетационная сработка водохранилища достигает 55 м. В маловодном 1975 г. опорожнение составило 26,9 м вследствие резкого сокращения водных ресурсов в бассейне р. Кассансай при средней ежедневной сработке 26 см. Суточная интенсивность сработки за многолетний период — 50—60 см. Конец вегетационной сработки в августе. Начиная с 1977 г. в осенний период водохранилище

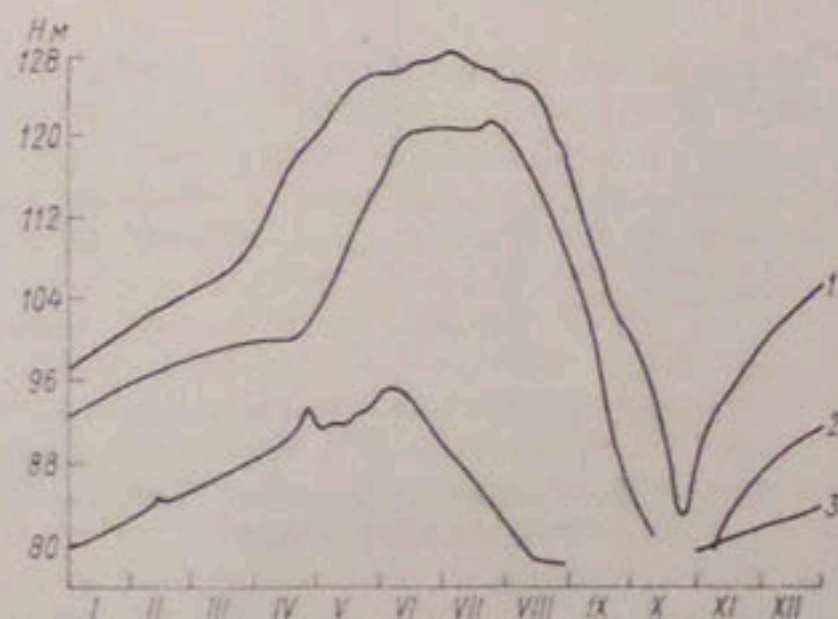


Рис. 3.17. Ход уровня воды Уртатокайского водохранилища за характерные годы.

Год: 1 — многоводный, 2 — средний, 3 — маловодный.

практически полностью опорожняется и по дну его ложа формируется русло реки.

Наибольших значений уровень воды водохранилища достигает в июне — июле. Разброс в значениях велик и составляет 22 м, это объясняется значительными колебаниями водности р. Кассансай. Наибольший уровень наблюдался 8/VII 1968 г. и составил 5455 см, а низший из максимальных — 17/VI 1975 г. и составил 3240 см в серию маловодных лет (1974—1977 гг.) (рис. 3.18). Средняя дата наполнения водохранилищ приходится на 22/VI, при этом период между крайними датами составляет около месяца (6/VI 1974 г. и 8/VII 1969 г.).

Туябугузское водохранилище. Это долинное русловое водохранилище расположено в среднем течении р. Ахангаран и осуществляет сезонное регулирование стока реки. В 1960—1963 гг. водохранилище эксплуатировалось в режиме наполнения. При

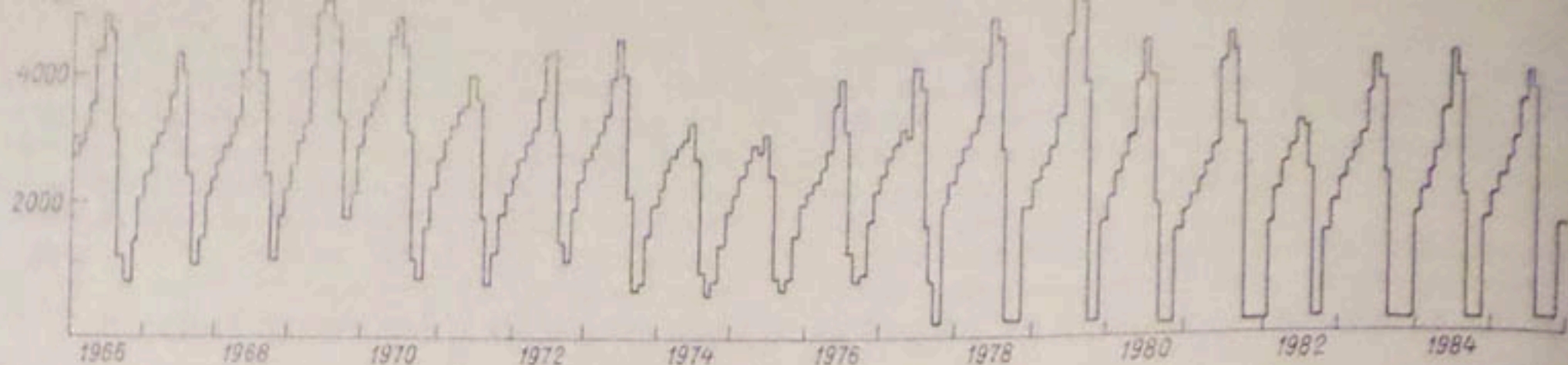


Рис. 3.18. Хронологический график хода уровня воды Уртатокайского водохранилища.

этом подъем уровня воды в 1961 г. составил 22 м, в 1962 г. — 23 м и в 1963 г. — 18 м. В период наполнения водохранилище срабатывалось в летний период, однако степень сработки уступала наполнению в осенне-зимне-весенний периоды. Общий подъем уровня воды составил более 30 м (рис. 3.19).

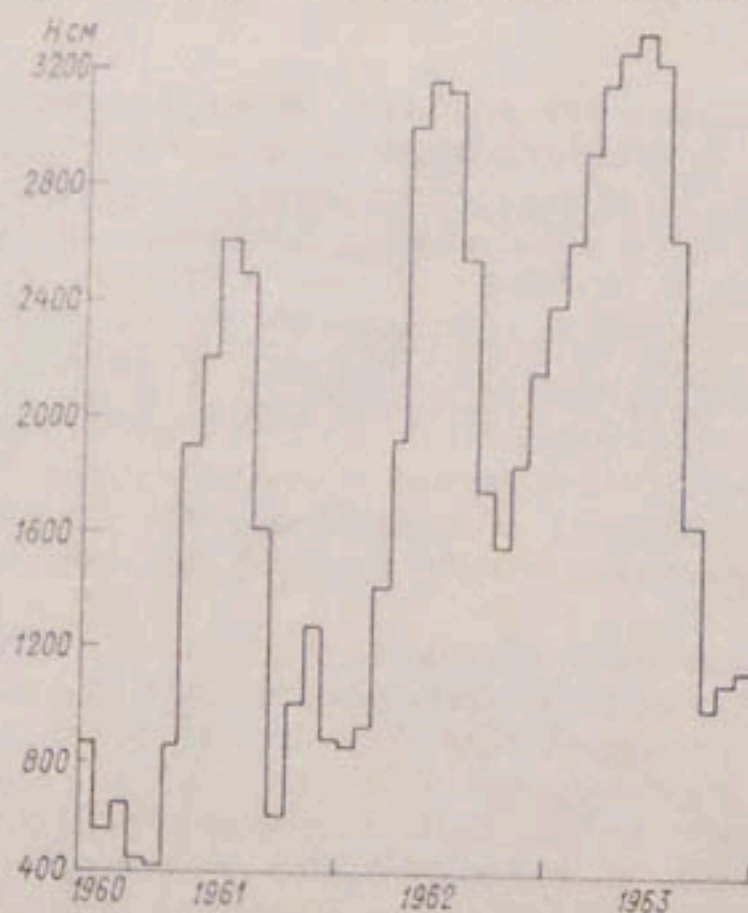


Рис. 3.19. График наполнения Туябугузского водохранилища.

Режим эксплуатации водохранилища определяется влиянием гидрометеорологических факторов на формирование стока в его бассейне и задачами, стоящими перед водохозяйственными органами.

Внутригодовой ход уровня воды водохранилища варьирует от года к году в зависимости от водности

лет и представляет сочетание фаз наполнения (сентябрь — апрель), равновесия (май — июнь) и сработки (июнь — сентябрь). Осенне-зимнее и весеннее наполнение характеризуется плавным ростом уровня до 30 м при интенсивности 10—15 см в сутки.

Фаза неустойчивого весенне-летнего равновесия составляет 40—60 сут и наблюдается практически во все годы. В вегетационный период происходит полное опорожнение водохранилища. При этом интенсивность падения уровня достигает 50—60 см в сутки.

Годовая амплитуда колебания уровня воды определяется в среднем в 19,46 м при максимальном значении 28,72 в 1980 г. и минимальном 8,18 в 1979 г.

Средний наивысший уровень воды равен 3363 см при наивысшем значении 3401 см (1975 г.) и наименьшем из высших 3090 см (1965 г.) (см. приложение 3). Следует отметить, что в связи с высоким значением коэффициента условного водообмена ($K_2 = 4,5$) Туябугузское водохранилище наполняется ежегодно до отметки, близкой к НПУ, и наблюдается малый разброс в максимальных значениях уровней воды (рис. 3.20). Высшие уровни имеют значительный разброс в датах наступления и могут наблюдаться в интервале от 17/IV (1982 г.) до 20/VII (1969 г.) при средней дате 25/V. В первом случае ранняя дата объясняется маловодьем 1982 г., а во втором — необычайно длинным периодом наполнения многоводного 1969 г.

Низшие уровни воды имеют весьма значительный разброс и изменяются от 2582 см (2/X 1979 г.) до 513 см (24/X—3/XI 1980 г.). На эти же годы приходится и экстремальные амплитуды колебания уровня, которые определялись в основном водностью года.

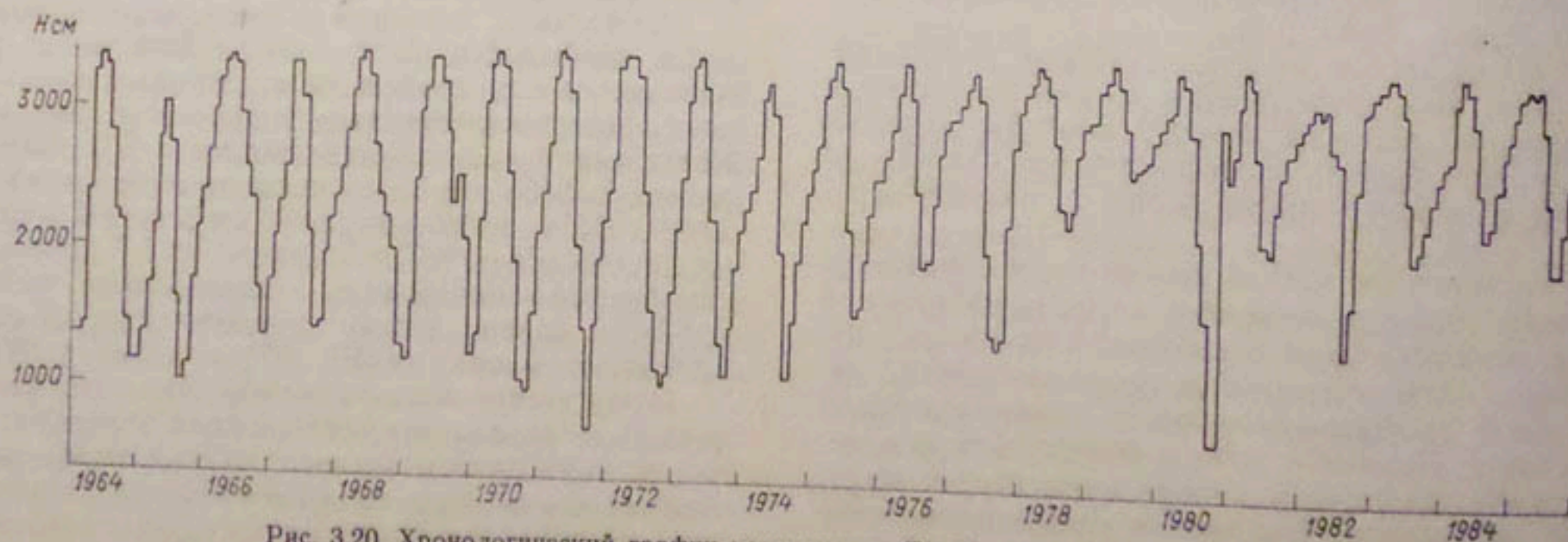


Рис. 3.20. Хронологический график хода уровня Туябугузского водохранилища.

Средняя дата низших уровней воды приходится на 10/X, а крайние — на 3/IX (1975 г.) и 5/I (1969 г.). В первом случае маловодье 1975 г. определило более раннюю сработку водохранилища, во втором случае в связи с многоводьем практически весь год на водохранилище наблюдалось высокое стояние уровня и низший уровень пришелся на начало года.

Фаза осеннего стояния уровня воды наблюдается ежегодно и составляет 30—40 сут. Средний уровень воды фазы равен 1417 см. Изменение уровня

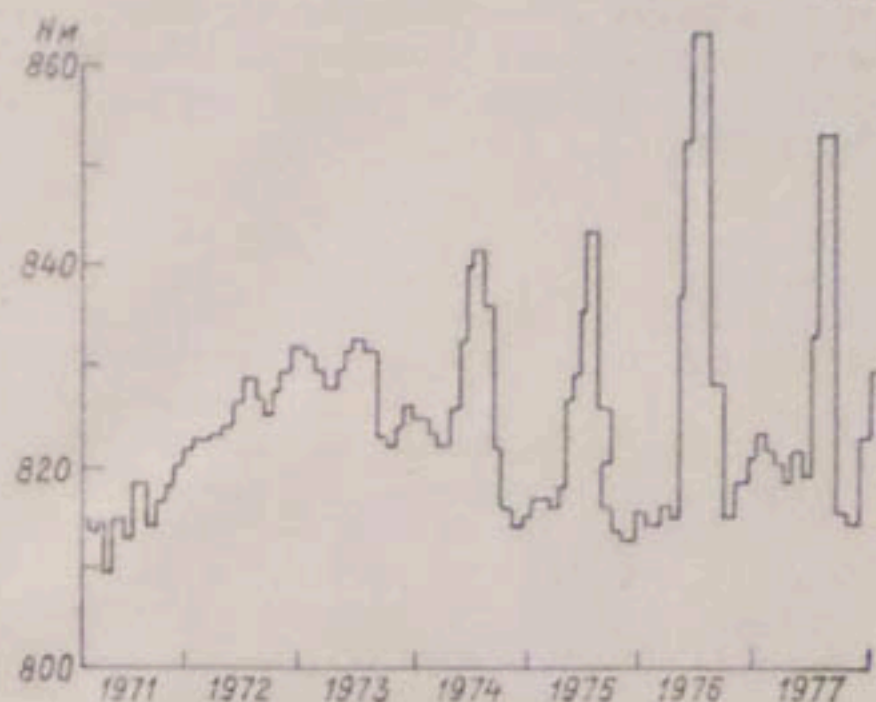


Рис. 3.21. График наполнения Чарвакского водохранилища.

за фазу незначительно и составляет 5—20 см. В крайне маловодные годы водохранилище срабатывается ниже ГМО. Эксплуатируясь в оросительном режиме, водохранилище является также и аккумулятором катастрофических паводков.

Чарвакское водохранилище. Это долинное русловое водохранилище на р. Чирчик было введено в режим нормальной эксплуатации в 1978 г. Однако по мере строительства плотины шло наполнение чаши водохранилища, которое было начато в сентябре 1970 г. Режим эксплуатации водных ресурсов водохранилища на первом этапе характеризовался наполнением его чаши до отметки выше норм водовыпуска из турбины ГЭС с тем, чтобы было возможным осуществить пуск ГЭС. Этот период в режиме уровня характеризовался неравномерностью в накоплении водой с трансформацией паводковых волн и продолжался в течение 1971—1973 гг. При этом был достигнут уровень воды с отметкой 834 м (рис. 3.21).

Вследствие катастрофически маловодного периода 1974—1977 гг. водохранилище эксплуатировалось в оросительном режиме с периодом наполнения апрель — июнь и опорожнения июль — сентябрь до отметки 815,0—816,0 м. В этот период накопление воды в чаше достигло 1200 млн м³ при наибольшем накоплении до отметки 867,54 м (1976 г.).

В планах режима эксплуатации Чарвакского водохранилища при наполнении до НПУ водный режим его был также ориентирован и на оросительный тип. Однако амплитуда колебания уровня воды при комплексном использовании водных ресурсов на гидроэнергетику и орошение не должна составлять более 35 м, а эксплуатируемый объем — 1200 млн м³. При этом в крайне маловодные годы

типовой график работы ГЭС предусматривает опорожнение водохранилища на 55 м (рис. 3.22).

Во внутригодовом ходе уровня воды водохранилища отмечается два такта. Летний (вегетационный) совпадает с периодом прохождения половодья на реках, питающих водохранилище, второй такт относится к зимне-весеннему периоду и включает осенне-зимнее наполнение (октябрь — февраль) и частично зимне-весеннее опорожнение (январь — апрель).

Каждый такт в режиме эксплуатации водохранилища подразделяется на две фазы — наполнения

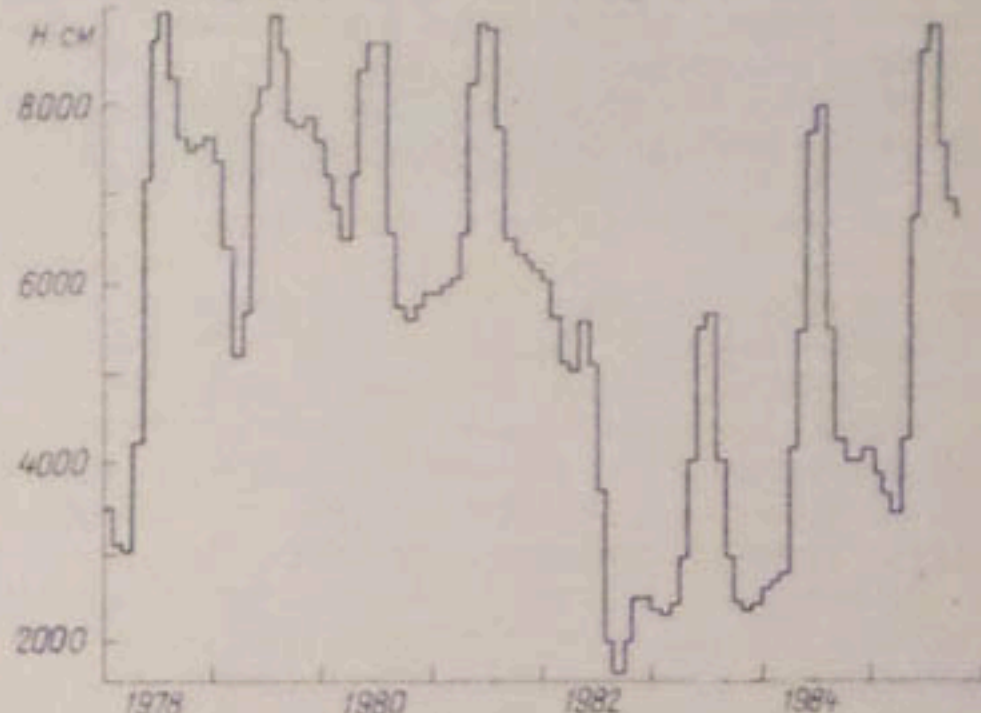


Рис. 3.22. Хронологический график хода уровня воды Чарвакского водохранилища.

и сработки. При переходе от такта к такту отмечаются фазы равновесия. Оба такта и фазы равновесия составляют годовой цикл в режиме работы водохранилища. Фаза наполнения начинается в сентябре — ноябре и продолжается до января — февраля и составляет 100—110 сут. За фазу прирост уровня составляет в среднем 30 м.

Весенне-летнее наполнение происходит весьма интенсивно, занимая 90—100 сут. При этом уровень воды в конце мая — начале июня достигает отметки НПУ. Наибольший прирост уровня составляет 80—100 см/сут. Фаза вегетационной сработки характеризуется значительным падением уровня и продолжается 90—120 сут. Суточная интенсивность сработки достигает 80—100 см. В сентябре наблюдается опорожнение до ГМО.

В связи с серией маловодных лет водохранилище опорожнялось до отметки ниже ГМО (1982—1983 гг.). За период нормальной эксплуатации средняя годовая амплитуда колебания уровня воды составила 45,3 м при максимальном значении 61,4 м в 1978 г. и минимальном 32,1 м в 1981 г. Если рассматривать период маловодья (1982 г.), то при незначительном подъеме уровня воды в мае 1982 г. (на 5 м) общее опорожнение водохранилища с июня 1981 г. по сентябрь 1982 г. составило более 70 м. Здесь же следует подчеркнуть, что наибольший уровень воды наблюдался 1/I, так как практически здесь весь год осуществлялась сработка. Средняя дата достижения максимального уровня приходится на 16/VI, что в общем отражает режим эксплуатации водохранилища, определяется как соотношением пригодно-расходных статей водного баланса и направленностью в использовании водных ресурсов водохранилища. Крайняя дата, как было сказано выше, колеблется в пределах

1/I 1982 г. — 12/VII 1978, 1979 гг. (см. приложение 3).

В то же время средняя дата наинизшего уровня, которая приходится на 5/V, искажает представление об истинном положении наинизшего в гидрологическом цикле уровня воды.

Опорожнение водохранилища приходится на сентябрь, но вследствие затяжного периода маловодных лет минимальные уровни воды наблюдались в начале и в конце года, как это было в 1983 (12/XII) и в 1984 гг. (1/I). Поэтому в условиях комплексной эксплуатации водохранилища и двух тактов работы минимальные уровни могут наблюдаться в различные сезоны года.

В период вегетационной сработки интенсивность суточного падения уровня воды водохранилища мо-

жет достигать 80—100 см, или 25—30 млн м³/сут. Фаза вегетационной сработки водохранилища заканчивается в сентябре, однако в связи с эксплуатацией его в энергетическом режиме наблюдается дальнейшее менее интенсивное его опорожнение. В отдельные годы, как это наблюдалось в 1979, 1981, 1984 гг., опорожнение практически продолжалось до начала половодья на притоках или до весеннего наполнения.

Энергетика в этом плане оказывает влияние на режим эксплуатации водных ресурсов водохранилища и является его отличительной чертой. Значительные объемы стока в водохранилище проходят транзитом, обеспечивая как нужды орошения, так и энергетики.

ГЛАВА 4. ВОДНЫЙ БАЛАНС

Водному балансу водохранилищ Средней Азии уделялось и продолжает уделяться заслуженное внимание, так как он является одной из итоговых характеристик элементов их гидрометеорологического режима. Составление водных балансов осуществляется с вводом водохранилищ в частичную или нормальную эксплуатацию, а также при их проектировании.

В зависимости от продолжительности эксплуатации водохранилищ, изученности и значимости их в народном хозяйстве водные балансы были составлены за различные периоды их эксплуатации и с различной степенью детализации компонентов, входящих в баланс. Наиболее полная детализация элементов водного баланса характерна для крупных водохранилищ, являющихся мощными регуляторами водных ресурсов. Степень их гидрометеорологической изученности достаточно высока, что позволяет производить расчеты за различные интервалы времени (декаду, месяц, сезон, год). С переходом к менее значимым в народном хозяйстве водоемам степень их гидрометеорологической изученности снижается, а соответственно, продолжительность расчетных периодов по необходимости возрастает.

Для большинства водохранилищ Средней Азии рассчитаны средние месячные и годовые водные балансы за период нормальной эксплуатации, а также за периоды различной водности с тем, чтобы проанализировать режим эксплуатации водохранилищ, особенно в экстремальные по водности годы. Проведенные расчеты позволили оценить динамику водных запасов водохранилищ, их многолетние и сезонные колебания, а также уточнить водно-балансовую классификацию водохранилищ различных физико-географических зон и административно-экономических районов.

Методика расчета водного баланса. В качестве основного уравнения водного баланса, применительно к месячным и годовым интервалам, было принято уравнение вида

$$P_0 + P_6 + P_{\text{кол}} + P_{\text{гр}} + O - (C + Z + И + \Phi) \pm \pm (A_n + A_p + A_r) = \pm H,$$

где P_0 — поверхностный приток основной; P_6 — поверхностный приток боковой; $P_{\text{кол}}$ — поверхностный приток по коллекторно-дренажной сети; $P_{\text{гр}}$ — приток грунтовых вод через борта и ложе; O — атмосферные осадки, выпадающие на водную поверхность водохранилища; C — сток через сооружения замыкающего гидроузла; Z — забор воды в каналы и насосными станциями; $И$ — испарение с водной поверхности; Φ — фильтрация через борта и ложе; A_n — аккумуляция (изменение запасов

воды) в чаше водохранилища; A_p — аккумуляция в руслах и поймах рек, впадающих в водохранилище ниже гидрометрических створов; A_r — аккумуляция в грунтах, слагающих ложе; H — невязка водного баланса.

На подавляющем большинстве водохранилищ основные компоненты водного баланса определяются на основе натурных наблюдений на гидрометрических створах Госкомгидромета СССР и других ведомств, а также сети метеорологических станций и озерных гидрологических постов. Некоторые второстепенные компоненты (приток—отток грунтовых вод, фильтрация) не учитывались в расчетах и были включены в невязку водного баланса. В дальнейшем в зависимости от конкретных условий эксплуатации водоемов и их гидрометеорологической изученности компоненты баланса получают методологическое обоснование их расчетов.

Поверхностный приток, для подавляющего большинства среднеазиатских водохранилищ являющийся основным элементом приходных статей водного баланса, осуществляется по постоянно и периодически действующим рекам, каналам, коллекторам и составляет 95—99 % приходных статей водного баланса. У крупных долинных русловых водохранилищ основным источником питания является основная река, на которой построено водохранилище — $P_0 > 99\%$ (Нурекское, Южно-Сурханское, Кайраккумское, Токтогульское, Чарвакское, Ортотокойское, Кировское), а для котловинных наливных водохранилищ основное поступление воды осуществляется по каналам (Учкызылское, Каттакурганское, Куюмазарское, Джизакское). У водохранилищ, расположенных в нижних зонах бассейнов рек — зонах интенсивного орошения, существенный вес в приходных статьях водного баланса приобретает коллекторно-дренажный сток, так как реки и водохранилища (Чимкуртанское, Чардаринское) в этих зонах являются аккумуляторами дренами сбросных и возвратных вод — $P_{\text{кол}} > 10\%$.

При общем господствующем положении сосредоточенного притока по основной реке в отдельные сезоны года роль бокового и коллекторно-дренажного стока существенно повышается. В частности, на таких предгорных водоемах, как Токтогульское, Уртатокайское, Чарвакское, Ахангаранское, Ортотокойское, Кировское, в период весеннего снегостояния на водосборах боковых притоков, которое осуществляется раньше, чем в бассейне основной реки, удельный вес бокового притока резко возрастает и его недоучет может повышать невязку водного баланса на десятки процентов.

На Южно-Сурханском, Чимкурганском, Кайраккумском и Чардаринском водохранилищах в период их осенне-зимнего опорожнения и меженного стока по основным притокам, когда коллекторно-дренажный сток соизмерим с притоком по основной реке, его значение в водном балансе может достигать 30—50 %.

Учет поверхностного притока в водохранилища по основным рекам и каналам осуществляется гидрометрическим путем на створах Госкомгидромета СССР и Минводстроя СССР. Точность учета главного компонента в питании водохранилища во многом определяет и точность расчета всего водного баланса, поскольку, как было сказано выше, основной приток в водном балансе среднеазиатских водохранилищ оценивается значением более 95 %. Согласно работам [49, 89] и анализу материалов обработки данных по стоку воды входных гидрометрических створов водохранилищ точность учета стока на постах Госкомгидромета СССР оценивается в 3—5 %, а на постах ММВХ республик — до 10 %. Боковой приток с части водосборов, не учитываемый гидрометрическим путем, определяется с помощью рек-аналогов и по региональным картам стока, разработанным в Указаниях [138] и справочниках-монографиях «Ресурсы поверхностных вод» [120, 123]. Учет стока на коллекторах и сбросах осуществляется органами ММВХ среднеазиатских республик, при этом точность подсчета стока составляет 10—15 % [63].

Приток грунтовых вод через ложе и борта водохранилищ — один из наименее изученных компонентов водного баланса, что объясняется его незначительностью в приходных статьях водного баланса и отсутствием специализированных гидрогеологических наблюдений в зонах водохранилищ. Для Южно-Сурханского, Кайраккумского, Туябугузского водохранилищ, где этот элемент водного баланса имеет существенный вес в сумме приходных статей, для его оценки были использованы материалы специализированных исследований, а также разработаны методы его учета [15, 99, 113].

Атмосферные осадки в водном балансе среднеазиатских водохранилищ не являются сколь-нибудь значимым элементом, в связи с аридностью климата региона и высокой проточностью водоемов, которая в свою очередь определяется целенаправленностью в использовании водных ресурсов. Роль осадков возрастает в водном балансе котловинных наливных водохранилищ, объем поверхностного притока в которые лимитируется объемом их чаш. В зависимости от показателя условного водообмена K_2 доля осадков в приходных статьях водохранилищ изменяется от нескольких процентов до долей процента (табл. 4.1).

Для предгорных водоемов, какими являются Чарвакское и Ортотокойское водохранилища, роль осадков еще ниже в связи с малыми площадями водной поверхности и повышенными значениями показателя удельного водосбора K_1 .

Осадки, выпадающие на водную поверхность водохранилищ, определяются по материалам наблюдений на береговых метеорологических станциях и осадкомерных постах. Как правило, в зоне водохранилища находится один осадкомер, данные наблюдений которого распространяются на всю акваторию водохранилища, что явно не характеризует все поле осадков, особенно на таких водо-

емах, как Кайраккумское, Туямурунское, Чардаринское, Токтогульское, Хауз-Ханское водохранилища и др.

Следует также отметить, что на акваториях среднеазиатских водохранилищ нет ни одного осадкомера островного типа, что позволило бы дать оценку изменения осадков над ними. В отдельных случаях осадкомеры находятся на значительном удалении от водохранилищ (Учкуйское, Южно-Сурханское, Пачкамарское, Джизакское, Ортотокойское и др.), вследствие чего для их расче-

Таблица 4.1

Доля осадков в приходных статьях водного баланса водохранилищ Средней Азии

Водохранилище	K_2	%	Водохранилище	K_2	%
Кайраккумское	4,6	0,4	Каттакурганское	1,1	1,9
Туябугузское	4,5	0,4	Куюмазарское	1,1	1,0
Чарвакское	2,9	0,3	Джизакское	0,8	5,8
Ортотокойское	1,7	0,3	Копетдагское	1,0	4,2

привлекались данные близрасположенных метеостанций и в отдельных случаях производилось построение карт изогет для района расположения водохранилища.

Для водохранилищ (Кайраккумское, Чардаринское), где в различные годы действовало несколько осадкомеров, осреднение их показаний было выполнено с учетом средневзвешенных площадей водной поверхности или методом изогет. Объем осадков определялся как произведение их месячных сумм на среднюю месячную площадь водной поверхности, которая определялась по среднему месячному уровню воды водохранилища.

Исследования по оценке возрастания погрешности определения количества жидких осадков с увеличением площади водной поверхности, проходящей на один прибор [36, 37], позволяют констатировать, что для абсолютного большинства среднеазиатских водохранилищ подсчет количества осадков за месячный интервал времени может осуществляться с точностью лишь до 10 %. Но малый удельный вес осадков в приходных статьях водного баланса позволяет говорить об удовлетворительном их учете при осреднении материалов наблюдений за продолжительные отрезки времени (месяц, сезон, год).

Сток воды из водохранилищ через сооружения замыкающих гидроузлов определяется по данным гидрометрических постов Госкомгидромета СССР, расположенных в нижних бьефах гидроузлов, а также по данным учета стока на ГЭС, водосливах, катастрофических водосбросах. Учет стока в створах ГЭС или гидроузлов производится с отдельным определением каждого из составляющих суммарного расхода по данным наблюдений и по соответствующей расчетной методике. Сопоставление гидрометрических данных по учету стока на гидрологических постах Госкомгидромета СССР, расположенных в нижних бьефах, и данных эксплуатационной гидрометрии Минэнерго СССР было выполнено для Кайраккумского, Фархадского, Чардаринского, Чарвакского, Нурекского гидроузлов [100]. Материалы исследований показывают, что при учете стока на ГЭС возможны

существенные ошибки в определении средних суточных расходов воды до 7—10 %. Следует отметить, что в связи с острым дефицитом водных ресурсов, сток из водохранилищ в основном фиксируется подразделениями Госкомгидромета СССР, к водохранилищам привязаны также основные реперные створы по учету водных ресурсов основных водных артерий Средней Азии, точность учета которых составляет 3—5 % за месячные интервалы времени.

Забор воды в каналы и насосными станциями осуществляется в основном органами водного хозяйства, производящими их эксплуатацию и учет стока. Следует отметить, что учет стока на постах ММиВХ среднеазиатских республик на каналах и сбросах в бассейнах рек Амударьи и Сырдарьи по данным экспериментальных исследований оценивается с точностью 10—15 % за месячные периоды времени [62].

Испарение с водной поверхности водохранилищ в расходных статьях водного баланса невелико и в большинстве случаев зависит от точности водоемов, с уменьшением которой доля

Таблица 4.2

Доля испарения в расходных статьях водного баланса

Водохранилище	K_1	%	Водохранилище	K_1	%
Уртатокайское	1,6	0,4	Сары-Языское	6,1	3,1
Нурекское	2,0	0,4	Каттакурганское	1,1	4,2
Чарвакское	2,9	0,5	Куюмазарское	1,1	4,1
Туябугузское	4,5	1,3	Хауз-Ханское	1,1	10,5
Кайраккумское	4,6	2,9	Копетдагское	1,0	10,5
Чардаринское	2,8	3,4			

испарения возрастает (табл. 4.2). С продвижением в горные районы на снижение доли испарения в водном балансе существенное влияние оказывают климатические факторы, а также морфология котловин, в которых находятся водохранилища, благодаря резкому сокращению площадей водной поверхности при существенном увеличении объемов [48, 159].

Аналогично осадкам роль испарения возрастает в водном балансе котловинных наливных водохранилищ (Хауз-Ханское, Копетдагское) и достигает для водоемов этого типа 10 % при 3—4 % для долинных русловых (Кайраккумское, Чардаринское, Сары-Языское). По абсолютному значению испарение с водной поверхности водохранилищ изменяется от 900 мм для горных районов восточных областей Средней Азии до 2000 мм в пустынных районах Туркмении (зона Каракумского канала).

Испарение с водной поверхности водохранилищ рассчитывалось по данным наблюдательной сети Госкомгидромета СССР в районах водохранилищ с привлечением ряда формул [37, 40, 46, 91, 112], имеющих региональное применение по территории Средней Азии:

$$E = 0,14n(e_0 - e_{200})(1 + 0,72W_{200}), \quad (1)$$

$$E = 0,16n(e_0 - e_{200})(1 + 0,635W_{200}), \quad (2)$$

$$E = 0,19n(e_0 - e_{200})(1 + 0,51W_{200}), \quad (3)$$

где n — число дней в месяце, e_0 — парциальное давление водяного пара, определяемое по темпера-

туре поверхности воды, гПа, e_{200} — влажность воздуха над водной поверхностью на высоте 200 см, гПа; W_{200} — скорость ветра над водной поверхностью на высоте 200 см, м/с. Расчет испарения с водной поверхности выполнен согласно рекомендациям Указаний по расчету испарения с водной поверхности [140].

В отдельные месяцы удельный вес испарения с водной поверхности в расходных статьях водного баланса может существенно возрастать и оказывать весьма значительное влияние на точность расчетов водного баланса, так как точность расчетов испарения по выше приведенным формулам составляет 15—20 % [86, 119].

Объем испарения рассчитывался как произведение месячных сумм испарения на среднюю месячную площадь водной поверхности, определенную по среднему месячному уровню воды. При малой погрешности определения площади водной поверхности водохранилищ относительная ошибка расчетов испарения с учетом его удельного веса в расходных статьях водного баланса составляет 0,1—1,5 %. Непроизводительные, безвозвратные потери влаги на испарение с водной поверхности среднеазиатских водохранилищ составляет 3 км³ и уменьшают водные ресурсы бассейнов рек, на которых они расположены на 2—12 %. Основной объем безвозвратных потерь влаги на испарение осуществляется с водной поверхности мелководных, равнинных, значительных по площади водохранилищ — Кайраккумского, Чардаринского, Туямуянского, Сары-Языского и Хауз-Ханского [46, 80, 96, 112].

Аккумуляция в чаше водохранилища определяется как разность объемов воды на начальный и конечный моменты расчетного интервала времени. В связи с тем что среднеазиатские водохранилища имеют водную поверхность со слабо выраженным уклоном, объемы воды, заключенные в их чашах, определялись для единого средне-взвешенного уровня воды по кривой зависимостей объемов от уровня воды $W = f(H)$.

Зависимости площадей водного зеркала и объемов водохранилищ от уровня воды являются весьма важными в оценке влияния морфометрии и морфологии чаш водохранилищ на водный баланс.

В связи с повышенной водной эрозией и высокой мутностью рек Средней Азии наблюдается интенсивное заиление водохранилищ, вследствие чего значения зависимостей $F = f(H)$ и $W = f(H)$ изменяются от года к году. Для уточнения вышеуказанных зависимостей проводятся батиметрические съемки с периодичностью 3—7 лет. Кроме того, В. Н. Рейзвихом была получена зависимость, позволяющая обосновать период проведения съемок для водохранилищ различных природных зон с учетом особенностей процессов заиления.

Точность расчета изменения запасов воды определяется относительными погрешностями измерения уровня воды в зависимости $V = f(H)$. Как показывает анализ материалов наблюдений за уровнем воды, погрешность в определении которой складывается из инструментальной и динамической ошибок наблюдений, возможная погрешность расчета изменения запасов воды за счет инструментальной ошибки наблюдений оценивается в ± 1 см, а динамическая, вызванная перекосом водной поверхности из-за сгонно-нагонных явлений, может

достигать 50 см. При этом для таких водохранилищ, как Кайраккумское в период его заполнения до НПУ, эта характеристика составит 250 млн м³, или 7 % общего объема водной массы водохранилища.

Здесь же следует подчеркнуть, что на абсолютном большинстве среднеазиатских водохранилищ наблюдения за уровнем воды осуществляется на одном озерном посту, расположенном в приплотинной зоне, и в этой связи учет стогно-нагонных явлений крайне затруднен или, можно сказать, практически невозможен [64, 123].

В этой связи, как уже указывалось в главе 3, для введения поправки на уровень воды при стогно-нагонных явлениях по наблюдению за уровнем воды на основных постах разработан метод, позволяющий сократить ошибку в определении уровня воды до 1—2 %.

Аккумуляция в руслах и поймах рек значительно меньше, чем в чаше водохранилища, и оценивается для таких водоемов, как Кайраккумское и Чардаринское водохранилища на р. Сырдарье, где входные гидрометрические посты отстоят на 20—25 км выше от водохранилищ, лишь в 0,5 %. В этой связи аккумуляция в руслах рек не учитывалась.

Аккумуляция в грунтах, слагающих борта и ложа водохранилищ, имеет место на отдельных водоемах, однако отсутствие специализированных гидрогеологических исследований не позволяет вводить эти данные в расчет водных балансов. Как будет показано далее, подобные оценки были выполнены для Каттакурганского, Куюмазарского и Туябугузского водохранилищ.

Невязка водного баланса определялась по разности между приходно-расходными статьями и аккумулятивными компонентами водного баланса.

Водные балансы за средние месячные и годовые периоды нормальной эксплуатации были рассчитаны по 15 водохранилищам Средней Азии.

Применительно к каждому водохранилищу, для которых был выполнен расчет водного баланса, приходно-расходные и аккумулятивные компоненты конкретизировались с учетом гидрометеорологической изученности водоема и периода расчета водного баланса.

Южно-Сурханское водохранилище. Расположено в Сурхан-Дарьинской области Узбекской ССР и является долинным русловым водохранилищем, предназначенным для сезонного регулирования стока р. Сурхандарья в целях повышения водообеспеченности зон существующего орошения на площади в 45 тыс. га и развития орошения на площади в 122 тыс. га.

В состав гидротехнических сооружений входит земляная плотина из суглинка и супесей длиной 6,2 км и наибольшей высотой 30,0 м, катастрофический водосброс башенного типа, рассчитанный на пропуск расхода в 1000 м³/с, и правобережный башенный водовыпуск пропускной способностью в 150 м³/с.

Чаша водохранилища занимает пойму р. Сурхандарья и три речных террасы. Район водохранилища сложен породами третичного и четвертичного периода — мергелистыми глинами и песчаниками. На этих породах залегают мощные толщи лессовидных суглинков и супесей, а в долине реки — ал-

лювиальные песчано-галечные отложения на глубине до 100 м. В створе плотины ширина долины р. Сурхандарья достигает 5 км.

Река Сурхандарья на участке водохранилища, как и для всей долины, является естественной дренажной, и грунтовые воды стекают к реке с уклоном 0,004—0,005 ‰ при основном их движении с севера на юг. В пойме и на первой террасе глубина залегания грунтовых вод не превышает 1,0 м. Следует отметить, что уже в своем верхнем течении р. Сурхандарья в значительной степени разбирается на орошение, а также теряет поверхностный сток на питание грунтовых вод, которые частично выклиниваются на участке водохранилища.

Основной приток в водохранилище осуществляется по главной водной артерии долины — р. Сурхандарье. Внутригодовое распределение стока реки характеризуется минимальными расходами воды в октябре — сентябре, которые повышаются до мая — июня, когда наблюдаются максимальные их значения. Максимальный расход воды р. Сурхандарья был зарегистрирован в 1931 г. у с. Мангузар (700 м³/с).

Приток по основной реке учитывается гидрометрическим путем в гидрометрическом створе Шурчи, расположенном в 132 км от устья и замыкающем водосбросную площадь в 8700 км². В марте 1969 г. в результате прохождения катастрофического паводка створ был снесен и восстановлен в 6 км выше по течению реки, при этом ниже поста появилась необходимость учитывать сток значительного бокового притока — р. Халкаджар, который измеряется на гидрометрическом посту Устье. Основной и боковой приток поверхностных вод составляет 95 % приходных статей водного баланса, а точность его учета оценивается в 3—5 %.

Помимо основного и бокового притока, в Южно-Сурханское водохранилище сбрасывают воду восемь коллекторов и два сброса, учет стока воды которых осуществляется органами ММВХ УзССР. Сток по коллекторам и сбросам весьма мал, однако в отдельные месяцы может достигать 20 % общего притока, поэтому им никак нельзя пренебрегать.

В непосредственной близости к водохранилищу нет метеорологической станции или осадкомерного поста, в связи с чем для оценки осадков, выпадающих на водную поверхность водохранилища, были использованы данные наблюдений МС Шурчи, расположенной в 8 км на север от водохранилища.

Район водохранилища характеризуется зимне-весенним увлажнением с малым годовым слоем осадков (200—300 мм). Основной слой осадков выпадает в декабре — апреле (до 85 %). Летне-осенний период засушлив, и в течение июня — октября осадки вообще не выпадают. Осадки не являются существенным компонентом приходных статей водного баланса и оцениваются значением до 1 % суммы приходных статей.

Отток воды из водохранилища в русло р. Сурхандарья осуществляется через центральный водовыпуск в теле плотины, правобережный водовыпуск в Шерабадский канал, а также в результате водозабора насосной станцией Ходжамельки. Учет водозабора и сброса воды из водохранилища производится Управлением эксплуатации водохранилища. В нижнем бьефе водохранилища имеется гидрометрический пост, оборудованный люточной переправой, однако ее конструкция практически не позво-

длет производить даже контрольные замеры расходов воды, крайне необходимые при эксплуатации водохранилища. Учет стока в нижний бьеф осуществляется по открытию щитов, и точность его подсчета невелика вследствие отсутствия тарировок водосбросов. Учет забора воды в Шерабадский канал и насосной станцией также осуществляется по открытию щитов и потребляемой электроэнергии на работу насосов. Расчет испарения с водной поверхности водохранилища был выполнен по формуле САНИГМИ (2):

$$E = 0,16a(e_0 - e_{200})(1 + 0,635W_{200}).$$

Испарение с водной поверхности водохранилища составляет около 3 % расходных компонентов водного баланса, но в отдельные месяцы, когда поверхностный приток крайне мал, а водозабор практически отсутствует, испарение может достигать весьма внушительных значений. Вследствие того что на Южно-Сурханском водохранилище не ведутся наблюдения за гидрометеозлементами, в качестве исходных были приняты данные наблюдений МС Шурчи за абсолютной влажностью воздуха и скоростью ветра с приведением их к условиям открытой водной поверхности водохранилища [140].

Для нахождения максимального парциального давления водяного пара была получена зависимость

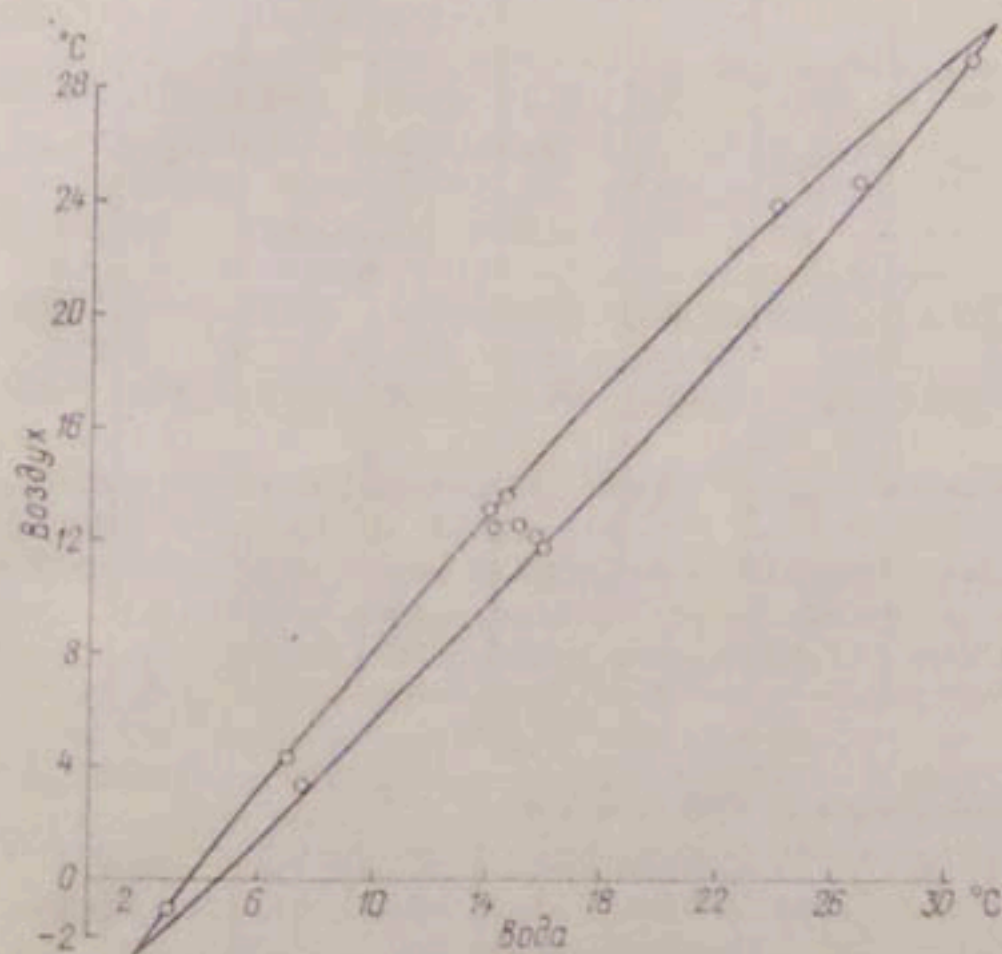


Рис. 4.1. Зависимость температуры поверхности воды Южно-Сурханского водохранилища от температуры воздуха, МС Шурчи.

температуры поверхностного слоя воды водохранилища от температуры воздуха МС Шурчи с использованием данных термических съемок в водохранилище в 1967—1971 гг. (рис. 4.1).

Изменение запасов воды в расчетах водного баланса Южно-Сурханского водохранилища было получено по данным наблюдений за уровнем воды Управлением эксплуатации водохранилища с использованием зависимости объемов от уровня воды, полученной в результате батиметрической съемки Узгидромета в 1975 г. В табл. 4.3—4.5 приводятся средний водный баланс с 1972 по 1987 г., многоводный 1973 г. и маловодный 1985 г.

Учкузылское водохранилище. Расположено в нижнем течении р. Сурхандарьи, на территории Сурхандарьинской области Узбекской ССР в 22 км на северо-восток от г. Термез.

Котловинное наливное водохранилище призвано осуществлять сезонное регулирование стока для повышения водообеспеченности орошаемых земель Термезского и Ангарского районов, а также для водоснабжения г. Термеза. Общая площадь земель, прилегающих к водохранилищу, составляет 11,4 тыс. га.

Чаша водохранилища занимает естественную котловину в урочище Котта-Кум. Котловина имеет подковообразную форму с концами, обращенными на юго-запад к руслу р. Амударьи. Концы подковы имеют небольшие пониженные выходы, обращенные на равнину и перекрытые дамбами обвалования — южной и западной.

В гидрологическом режиме Учкузылского водохранилища фаза осенне-зимнего наполнения приходится на октябрь — январь, при этом в водохранилище аккумулируется меженьный сток р. Сурхандарьи, а объем наполнения составляет в среднем 75 % полезного объема водохранилища. В феврале — марте наблюдается частичное его опорожнение на весеннюю промывку земель.

В марте — апреле, когда на р. Сурхандарье начинается подъем расходов воды, водохранилище наполняется по НПУ. Летняя сработка наблюдается в период июнь — сентябрь, при этом падение его уровня составляет в среднем 8 м и может достигать 10—12 м. Минимальные уровни ежегодно приходятся на сентябрь.

Основной приток воды в Учкузылское водохранилище осуществляется по Подводящему каналу, берущему начало от левой ветки канала «Нижний Занг», и учитывается гидрометрическим путем на ведомственном гидрологическом посту эксплуатационной гидрометрии Сурхандарьинского ОблУПСа. Точность учета стока составляет 5—8 %.

Приток воды по Подводящему каналу является господствующим компонентом водного баланса и составляет 99 % годовой суммы приходных статей.

Водосборная площадь, на которой может формироваться боковой приток, крайне мала, а местный сток совершенно не изучен. Судя по характеру временных русел и почвенному покрову, а также, учитывая засушливость климата, местный сток практически отсутствует и какой-либо роли в приходных статьях водного баланса не играет.

Для оценки объема осадков, выпадающих на водную поверхность Учкузылского водохранилища, были приняты данные наблюдений за осадками МС Термез.

Район водохранилища характеризуется зимне-весенним увлажнением с малым годовым слоем осадков (150—200 мм). Основной слой осадков выпадает в декабре — апреле — до 85 %, летне-осенний период засушлив и в течении июня — октября осадки вообще не выпадают. Осадки не являются существенным компонентом приходных статей водного баланса и оцениваются величиной до 1 % от суммы приходных статей.

Водозабор из водохранилища осуществляется по отводящему каналу и также фиксируется гидрометрическим путем органами эксплуатации водохранилища. Основной водозабор осуществляется в период май — сентябрь и составляет более 80 % регулируемого объема стока. Забор воды в Отводящий

Водный баланс Южно-Сурханского водохранилища за 1972—1987 гг., млн м³

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток по р. Сурхандарье (пост Шурчи)	110	109	173	409	522	409	143	35,0	32,6	54,5	80,0	101	2178,1
по р. Халкаджар (пост Устье)	5,6	5,8	16,9	41,4	35,6	13,8	10,0	5,9	4,5	6,4	9,2	8,5	163,6
Осадки на водную поверхность	1,6	1,8	3,3	2,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	11,0
Итого	117,2	116,6	193,2	452,4	558,9	422,8	153	40,9	37,1	60,9	89,6	110,1	2352,7
Расход													
Сток по р. Сурхандарье и забор воды в Шерабадский канал	14,0	8,7	200	341	439	406	421	266	77,3	50,4	60,7	34,0	2318,1
Испарение с водной поверхности	1,2	2,0	2,4	4,0	10,6	11,4	9,5	6,8	3,8	1,0	2,2	1,1	56,0
Итого	15,2	10,7	202,4	345	449,6	417,4	430,5	272,8	81,1	51,4	62,9	35,1	2374,1
Изменение запасов воды	106,7	106,9	-3,5	+103,1	103,1	-1,2	-292,7	-240,6	-38,2	13,9	26,1	77,5	-38,9
Невязка, абс.	-4,7	-1,0	-5,7	4,3	6,2	6,6	15,2	8,7	-5,8	-4,4	0,6	-2,5	-17,5
" , %	4	1	3	1	1	2	4	3	7	7	7	2	1

Таблица 4.4

Водный баланс Южно-Сурханского водохранилища за 1973 г., млн м³

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток по р. Сурхандарье (пост Шурчи)	130	142	281	593	878	767	270	77,7	57,2	64,0	65,3	104	3429,2
по р. Халкаджар (пост Устье)	2,0	2,8	20,9	39,1	32,9	11,5	6,6	6,0	6,2	8,5	7,1	2,4	146,0
Осадки на водную поверхность	1,7	3,0	3,8	3,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,0	14,2
Итого	133,7	147,8	305,7	635,1	912,4	778,5	276,6	83,7	63,4	72,5	72,6	107,4	3589,4
Расход													
Сток по р. Сурхандарье и забор воды в Шерабадский канал	5,7	5,3	107	599	824	732	583	403	108	78,9	80	21,5	3547,4
Испарение с водной поверхности	1,3	1,9	2,6	4,5	11,9	12,6	10,4	6,4	2,7	2,0	1,6	1,5	59,4
Итого	7,0	7,2	109,6	603,5	835,9	744,6	593,4	409,4	110,7	80,9	81,6	23,0	3606,8
Изменение запасов воды	12,2	147	211	25	77	20	-308	-358	-43	-6,4	25,5	90,0	-28,5
Невязка, абс.	+4,7	-6,4	-14,9	6,6	-0,5	13,9	-8,8	32,3	-4,3	-2,0	-3,5	-5,6	11,5
" , %	4	4	5	1	0	2	1	8	4	2	4	5	0

Таблица 4.5

Водный баланс Южно-Сурханского водохранилища за 1986 г., млн м³

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток по р. Сырдарье (пост Шурчи)	92,9	86,9	73,5	148	231	169	45,0	6,5	39,2	45,3	84,0	125	1146,3
по р. Халкаджар (пост Устье)	6,9	4,6	5,6	13,2	10,8	6,2	3,2	2,7	2,1	2,8	5,4	6,0	69,5
Осадки на водную поверхность	1,0	1,2	1,0	0,3	0,4						0,5	2,9	7,3
Итого	100,8	92,7	80,1	161,5	242,2	175,2	48,2	9,2	41,3	48,1	89,9	133,9	1223,1
Расход													
Поверхностный отток	8,6	27,3	184	65,0	118	152	226	163	29,3	10,8	12,9		996,9
Испарение с водной поверхности	0,7	3,2	2,9	4,2	11,4	11,6	10,8	4,7	1,6	0,7	1,1	0,7	53,6
Итого	9,3	30,5	186,9	69,2	129,4	163,6	236,8	167,7	30,9	11,5	14,0	0,7	1050,5
Изменение запасов воды	+87	+58	-109	+92	+115	+7,0	-195	-167	+6,5	+38,4	+78,1	+134,3	+145,3
Невязка, абс.	+4,5	+4,2	+2,2	+0,3	-2,2	+4,6	+6,4	+8,5	+3,9	-1,8	-2,2	-1,1	+27,3
" , %	4	5	1	0	1	3	3	5	10	4	2	1	2

канал составляет 90 % суммы расходных статей водного баланса и подсчитывается с точностью 5—8 %.

При расчете испарения с акватории Учкызылского водохранилища также была использована формула (2).

В качестве расчетных метеозадающих элементов были использованы данные наблюдений за скоростью ветра и абсолютной влажностью воздуха по континентальной МС Термез с приведением данных наблюдений на метеостанции к открытой водной поверхности водохранилища согласно Указаний [140].

Для определения максимального парциального давления водяного пара вследствие того что на Учкурганском водохранилище не проводятся наблюдения за температурой воды, в качестве аналога были использованы данные по Южно-Сурханскому водохранилищу.

Испарение является весьма существенным компонентом в расходных статьях водного баланса Учкызылского водохранилища и составляет в среднем за год 7—12 %. При составлении месячных водных балансов испарение достигает 40 %, а при отсутствии водозабора — 100 %.

Средний годовой слой испарения с водной поверхности Учкызылского водохранилища составил 1600 мм и колеблется от года к году от 1450 до 1800 мм.

Основной объем испарения приходится на период май — сентябрь (72 %).

Аккумуляция в чаше водохранилища определяется по разности объемов на 1-е число каждого месяца по данным наблюдений за уровнем воды с использованием зависимости, полученной в результате промеров по водохранилищу в 1973 г.

Водные балансы Учкызылского водохранилища были рассчитаны за средний многолетний период с 1973 по 1987 г. (табл. 4.6), а также за многоводный 1973 г. (табл. 4.7) и маловодный 1986 г. (табл. 4.8).

Чимкурганское водохранилище. Расположено в среднем течении р. Кашкадарьи в Камашинском районе Кашкадарьинской области. Долинное русловое водохранилище введено в эксплуатацию в 1964 г., осуществляет сезонное регулирование стока р. Кашкадарьи в целях повышения водообеспеченности оросительных систем и развития орошения в Камашинском, Гузарском, Бешкентском и Кассансайском районах.

В результате эксплуатации водных ресурсов водохранилища площади сельскохозяйственных угодий с нормальным орошением доведены до 77 тыс. га. Для орошения этих земель используется вода не только Чимкурганского водохранилища, но и воды, подаваемые из рек Гузар и Зеравшана по каналу Иски-Ангар.

Водохранилище лежит в обширной межгорной котловине, ограниченной с северо-востока отрогами Зеравшанского, с юго-востока Гиссарского хребтов, вытянуто с северо-востока на юго-запад, имеет площадь водной поверхности 44,4 км² и объем 449,0 млн м³ при НПУ.

В состав гидротехнических сооружений водохранилища входят земляная плотина, башенный водовыпуск и головные регуляторы Левобережного и Правобережного каналов, расположенные в нижнем бьефе водовыпуска. Башенный водовыпуск, пропускной способностью 350 м³/с, совмещен с водосбросом и служит для подачи воды из водо-

хранилища на орошение и одновременно для пропуска паводков при наполненном водохранилище.

Основной приток воды в Чимкурганское водохранилище осуществляется по р. Кашкадарье и учитывается на гидрологическом посту Чиракчи. Кашкадарья относится к рекам снегового питания со значительной долей дождевой составляющей. При этом максимальные расходы воды (731 м³/с 15/IV 1969 г.) приходятся на апрель, а минимальные на август — сентябрь (не наблюдались в 1977 г.). Ложе реки на участке гидрологического поста песчано-галечное и подвержено значительной деформации, вследствие чего берега реки укреплены насыпными дамбами и бетонными плитами. Точность подсчета стока на гидрологическом посту Чиракчи по зависимости $Q = f(H)$, определяемая по среднему квадратичному отклонению точек от кривой, составляет 5—7 %.

Помимо основного притока, на участке от гидрологического поста Чиракчи до водохранилища в русло реки и непосредственно в водохранилище сбрасываются воды шести коллекторов со средним годовым расходом воды до 1 м³/с. Учет коллекторного притока, который в отдельные месяцы может достигать 60—70 % суммы приходных статей водного баланса, осуществляется органами ММВХ УзССР и оценивается с точностью до 8—10 %.

Наблюдения за осадками, выпадающими на водную поверхность водохранилища, проводятся на МС Чимкурган, расположенной по левому борту долины в нижнем бьефе водохранилища. Осадки, наблюдаемые по одному пункту и трансформированные на всю акваторию водохранилища, с достаточной степенью точности характеризуют эту величину в водном балансе, так как площадь водной поверхности мала ($f = 44,4$ км²), а осадки оцениваются до 5 % суммы приходных статей месячных балансов и до 1—2 % для годовых. Район водохранилища характеризуется зимне-весенним (декабрь — апрель) увлажнением и малым годовым слоем осадков (300—350 мм).

Отток поверхностных вод из водохранилища осуществляется по башенному водовыпуску в русло р. Кашкадарьи, в Правобережный и Левобережный отводящие каналы. Учет стока воды на водосбросах осуществляется гидрологическими постами Узгидромета, расположенными в русле р. Кашкадарьи, в нижнем бьефе плотины и в головах каналов. Точность учета стока на гидрологическом посту Нижний бьеф оценивается в 5—7 %.

Сток воды по Правобережному отводящему каналу, пропускной способностью 22 м³/с, составляет в среднем около 10 % расходных компонентов водного баланса. Также около 10 % забираемой из Чимкурганского водохранилища воды приходится на Левобережный отводящий канал пропускной способностью 27 м³/с. Сток в головах каналов учитывается гидрометрическим путем, а точность учета стока составляет 8—10 %.

Испарение с водной поверхности водохранилища было рассчитано по формуле (2) с использованием данных наблюдений за метеозадающими элементами на МС Чимкурган с приведением их значений к открытой водной поверхности согласно Указаний [140]. Для определения парциального давления водяного пара по средней температуре водной поверхности была использована зависимость $t_{\text{пар}} = f(t_{\text{поверх}})$ (см. рис. 5.7).

Водный баланс Учкызылского водохранилища за 1973—1987 гг., млн м³

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток	20,5	10,2	10,8	13,0	13,9	8,3	—	—	—	—	9,8	26,4	112,9
Осадки на водную поверхность	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	—	—	—	—	—	0,0	0,1	0,8
Итого	20,7	10,3	11,0	13,1	14,0	8,3	—	—	—	—	9,8	26,5	113,7
Расход													
Поверхностный отток	0,4	0,5	9,2	10,6	12,0	16,2	18,1	15,8	8,8	4,6	3,0	1,3	100,5
Испарение с водной поверхности	0,3	0,3	0,6	1,1	1,5	2,8	2,0	1,1	0,7	0,5	0,3	0,2	11,4
Итого	0,7	0,8	9,8	11,7	13,5	19,0	20,1	16,9	9,5	5,1	3,3	1,5	111,9
Изменение запасов воды по кривой емкости	19,2	9,0	1,1	1,6	0,4	-11,4	-19,9	-17,0	-10,3	-5,4	7,1	25,0	-0,6
Невязка, млн м ³	0,8	0,5	0,1	-0,2	0,1	0,7	-0,2	+0,1	0,8	0,3	-0,6	0	2,4
%	4	5	1	2	1	4	1	1	8	6	6	0	2

Таблица 4.7

Водный баланс Учкызылского водохранилища за 1973 г., млн м³

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Приток по подводящему каналу	8,4	2,0	23,3	20,2	13,1	13,8	—	—	—	4,5	1,1	36,8	123,2
Осадки на водную поверхность	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	1,0
Итого	8,6	2,1	23,6	20,3	13,2	13,8	0,0	0,0	0,0	4,5	1,2	36,9	124,2
Расход													
Сток по отводящему каналу	0,8	0,1	5,3	10,4	15,8	21,5	24,8	21,4	9,1	8,1	7,6	1,5	126,4
Испарение с водной поверхности	0,1	0,1	0,6	1,2	2,4	2,6	1,3	0,8	0,7	0,2	0,2	0,2	10,4
Итого	0,9	0,2	5,9	11,6	18,2	24,1	26,1	22,2	9,8	8,3	7,8	1,7	136,8
Изменение запасов воды	8,0	2,0	18	10	-4,8	-9,7	-25	-22	-10,0	-3,4	-6,4	3,6	-7,3
Невязка, абс.	-0,3	-0,1	-0,3	-1,3	-0,2	-0,6	-1,1	-0,2	+0,2	-0,4	-0,2	-0,8	-5,3
%	3	5	1	6	1	2	4	1	2	5	3	2	4

Таблица 4.8

Водный баланс Учкызылского водохранилища за 1986 г., млн м³

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Приток по подводящему каналу	9,9	1,3	0,0	2,0	2,8	2,7	0,0	0,0	17,2	10,1	3,0	12,8	61,8
Осадки на водную поверхность	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5
Итого	9,9	1,3	0,1	2,2	2,8	2,7	0,0	0,0	17,2	10,1	3,0	13,0	62,3
Расход													
Сток по отводящему каналу	0,0	0,0	7,8	5,0	6,8	6,5	6,2	10,7	7,4	3,6	1,1	0,0	55,1
Испарение с водной поверхности	0,3	0,4	0,5	0,9	1,4	1,6	1,8	1,2	0,8	0,2	0,3	0,2	9,6
Итого	0,3	0,4	8,3	5,9	8,2	8,1	8,0	11,9	8,2	3,8	1,4	0,2	64,7
Изменение запасов воды по кривой емкости	10,3	1,1	-8,3	-3,5	-4,9	-5,6	-7,4	-10,9	8,6	6,9	1,4	13,8	1,5
Невязка, абс.	-0,7	-0,2	0,1	-0,2	-0,5	0,2	-0,6	1,0	0,4	-0,6	0,2	-1,0	-3,9
%	7	15	1	3	6	2	8	8	2	6	7	8	6

Водный баланс Чимкурганского водохранилища за 1964—1985 гг., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток													
основной	45,9	55,1	120,3	159,8	125,9	51,0	22,3	5,0	7,3	27,9	36,3	40,2	697,0
боковой	2,0	3,0	3,0	3,3	1,8	1,7	2,3	3,0	4,0	2,0	3,7	2,5	32,3
Осадки на водную поверхность	1,0	1,2	2,4	1,7	0,3	0,1	0	0	0	0,1	0,4	0,6	7,8
Итого	48,9	59,3	125,7	164,8	128,0	52,8	24,6	8,0	11,3	30,0	40,4	43,3	737,1
Расход													
Поверхностный отток	5,6	15,0	73,8	108,6	113,1	126,7	156,0	106	21,7	8,9	8,8	5,7	749,9
Испарение с водной поверхности	0,4	0,4	0,7	2,2	5,1	6,6	5,4	2,3	0,6	0,6	0,6	0,5	25,4
Итого	6,0	15,4	74,5	110,8	118,2	133,3	161,4	108,3	22,3	9,5	9,4	6,2	775,3
Изменение запасов воды	44,7	47,8	59,9	59,2	13,6	-81,0	-140	-95,8	-9,2	21,6	32,9	38,4	-7,9
Невязка, абс.	-1,8	-3,9	-8,7	-5,2	-3,8	0,5	3,2	-4,5	-1,8	-1,1	-1,9	-1,3	-30,3
" , %	3,7	6,6	6,9	3,2	3,0	0,4	2,0	4,2	8,1	3,7	4,7	3,0	3,9

Средний годовой слой испарения составил 1400 мм при амплитуде колебаний его значений 1100—1650 мм.

Испарение с водной поверхности водохранилища в месячных водных балансах может достигать 50 % суммы расходных статей баланса, а в годовых — 5—6 %. Точность учета испарения составляет 10—15 % и в отдельные месяцы может оказывать существенное значение на точность водного баланса в целом.

Изменение запасов воды в водохранилище определялось как разность их объемов на начало и конец расчетных периодов. За период составления водных балансов (1964—1985 гг.) для определения объемов воды водохранилищ была использована зависимость $W = f(H)$, рассчитанная по батиметрическим съемкам 1965, 1971, 1974 и 1980 гг.

В табл. 4.9 приводится водный баланс, средний за 1964—1985 гг.

Пачкамарское водохранилище. Расположено на р. Гузардарье в Кашкадарьинской области Узбекской ССР у сел. Пачкамар, является сложным котловинным долинным русловым водохранилищем, призванным осуществлять многолетнее регулирование стока в целях водообеспечения водой более 15 тыс. га орошаемых земель. Строительство водохранилища общим объемом 280 млн м³ было начато в 1962 г., а закончено в 1968 г.

Чашей водохранилища служит долина р. Гузардарья при слиянии ее двух составляющих — рек Урядарья и Кичикурдарья. Питание рек осуществляется за счет таяния сезонных снегов и многолетних снежников с ярко выраженным прохождением паводков в апреле — мае.

Водохранилище образовано земляной плотинной высотой 70 м, имеет длину по верху 589 м и ширину по гребню 8 м. Плотина смешанного типа с распластанным экраном из укатанного суглинка, защищенного с верховой стороны пригрузкой из каменной наброски, а с низовой — галечниковой призмой. От волнобоя верховой отвес защищен монолитным железобетонным креплением. В местах примыкания плотины к бортам и под ее ядром выполнена цементация.

Береговой поверхностный двухсекционный водосброс расположен на участке смыкания левого крыла плотины с бортом долины. Водосброс рассчитан

на пропуск 200 м³/с воды при уровне водохранилища 677 м и пропуск воды 320 м³/с при НПУ — 678,2 м.

Чаша водохранилища и створ плотины сложены меловыми и третичными отложениями, состоящими из переслаивающихся известняков, песчаников, алевритов, глин и других коренных пород. Местами они обнажены, а большей частью прикрыты четвертичными отложениями — суглинками, глинами и галечниками.

Наличие водоупорных глин в чаше и бортах водохранилища, их неглубокое залегание, а также наклон пластов в сторону чаши, обуславливает малые значения фильтрации воды в основании плотины и в ее обход.

Основной приток воды в водохранилище осуществляется по рекам Урядарье и Кичикурдарье, который составляет 99 % суммы приходных статей водного баланса. Реки Урядарья и Кичикурдарья — снегового питания со значительной долей дождевого стока в период формирования половодья, которое приходится на март — июнь, с прохождением его пика во второй половине апреля. Максимальные расходы воды селевого характера могут достигать 105 м³/с для р. Кичикурдарья и 117 м³/с для р. Урядарья.

Учет притока воды осуществляется гидрометрическим путем на гидрологических постах Узгидромета, расположенных в 12 и 9,5 км от слияния рек. Боковой приток, осуществляемый по временно-действующим водотокам-саям с водосборной площадью в 260 км², незначителен, составляет лишь 0,2 % приходных статей водного баланса и поэтому не учитывается.

В непосредственной близости к водохранилищу нет метеорологической станции, в связи с чем для оценки количества осадков, выпадающих на водную поверхность, были привлечены данные наблюдений за осадками на метеостанциях Гузар и Дехканабад, расположенных в бассейне р. Гузардарья на высоте 523 и 840 м соответственно. В расчетах принималось среднearифметическое значение осадков по этим станциям. Осадки не являются сколь-нибудь существенным компонентом водного баланса и оцениваются менее 1 %, его приходных статей и предложенный способ их учета в водном балансе не может повлиять на точность последнего.

Отток воды из водохранилища осуществляется через водовыпуск в теле плотины и учитывается гидрометрическим путем на гидрологическом посту р. Гузардарья у киша. Пачкамар, расположенного в 4 км ниже плотины. Точность учета стока на гидрометрических постах Угидромета в зоне Пачкамарского водохранилища оценивается в 5—7 %.

Испарение с водной поверхности Пачкамарского водохранилища было рассчитано по формуле (2) по средним многолетним данным за месячные интервалы времени с использованием метеорологических данных наблюдений на метеостанциях Гузар

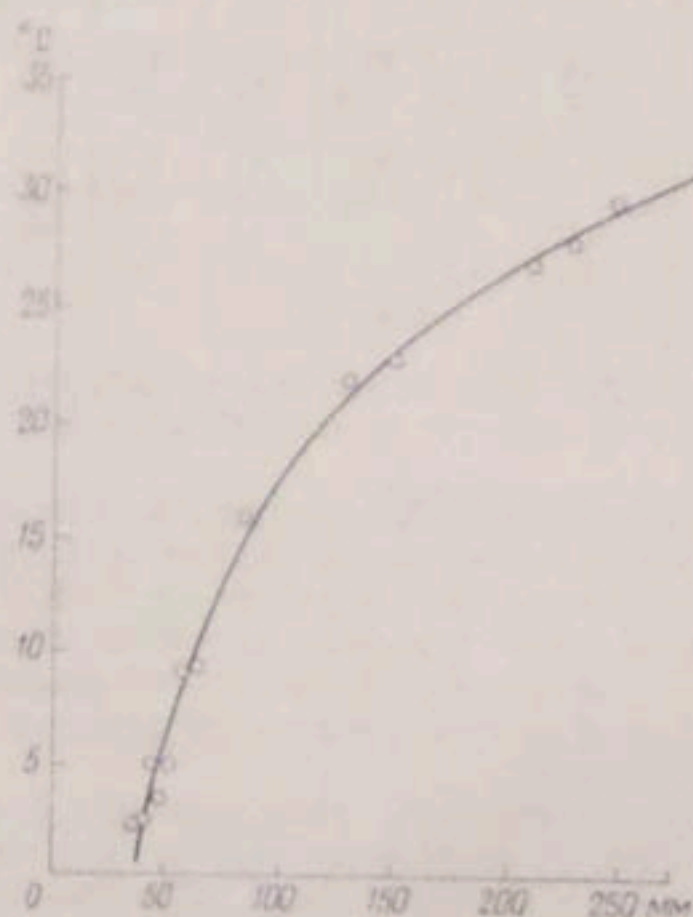


Рис. 4.2. Зависимость испарения (мм) с водной поверхности Пачкамарского водохранилища от температуры воздуха (°C), МС Гузар.

и Дехканабад. Для нахождения значений испарения с водной поверхности для конкретного года использовалась зависимость $E = f(t_{\text{воздуха МС Гузар}})$ (рис. 4.2).

Таблица 4.10

Водный баланс Пачкамарского водохранилища, млн м³

Год	Приток	Осадки	Сумма	Отток	Испарение	Сумма	Изменение запаса воды	Неизменчивость баланса	
								абсолютная	%
1970	180,4	2,0	182,4	298,4	7,7	306,1	-106,1	-17,6	6
1971	75,8	0,6	76,4	87,4	3,3	90,7	-14,4	0,1	0
1972	248,4	1,7	250,1	161,9	7,3	169,2	63,0	17,9	7
1973	204,0	1,9	205,9	232,3	7,8	240,1	-46,6	12,4	5
1974	81,2		81,2	91,3	3,5	94,8	-10,3	-3,3	4
1975	93,7	0,8	94,5	84,5	4,1	88,6	-3,6	9,7	10
1976	164,4	4,4	168,8	146,1	4,5	150,6	22,4	-4,2	3
1977	53,0	0,7	53,7	65,9	5,0	70,9	-18,8	1,6	2
1978	162,7	1,1	163,8	141,0	5,6	146,6	12,0	5,2	3
1979	172,7	1,3	174,0	168,8	6,2	175,0	-5,9	4,9	3
1980	135,2	1,3	136,5	130,7	3,9	134,6	-5,1	7,0	5
1981	202,8	4,7	207,5	161,1	3,3	164,4	38,8	4,3	2
1982	93,2	2,6	95,8	110,8	2,1	112,9	-22,9	5,8	5
1983	96,2	1,0	97,2	106,6	1,8	108,4	-15,7	4,5	4
1984	90,0	1,0	91,0	92,8	3,1	95,9	-3,5	-1,4	1
1985	100,6	1,9	102,5	103,8	2,1	105,9	1,1	-4,4	4
Среднее	134,6	1,8	136,4	136,5	4,5	141,0	-7,2	2,7	2

С 1982 г. на водохранилище функционирует озерный гидрологический пост, что позволило существенно уточнить значения испарения и выполнить его расчеты за 1982—1985 гг. по формуле (1).

Изменение запасов воды в водохранилище определялось по наблюдениям за уровнем воды, наблюдаемому на озерном гидрологическом посту с использованием зависимости $W = f(H)$, полученной по съемке 1978 г. (см. приложение 1).

Годовые водные балансы водохранилища приведены в табл. 4.10.

Каттакурганское водохранилище. Расположено в долине р. Зеравшан в 12 км к югу от р. Карадарья в предгорьях Зерабулакских гор на территории Самаркандской области Узбекской ССР. Его строительство было осуществлено в 1941—1952 гг. в несколько этапов с целью аккумуляции зимних и частично паводковых вод р. Зеравшан, повышение водообеспеченности 390 тыс. га существующих и получения прироста 65 тыс. га новых орошаемых земель.

В 1966—1967 гг. в результате реконструкции плотины объем чаши водохранилища был увеличен до 900 млн м³. За время эксплуатации в результате заиливания объем водохранилища сократился на 60 млн м³, и по съемке 1983 г. оценивается в 840 млн м³ при площади водного зеркала 79,5 км² при НПУ.

Под чашу водохранилища использована часть довольно широкой, вытянутой в меридианальном направлении котловины, образование которой связано с эрозионной деятельностью двух саев — восточного Шурча и западного Атчевар, и замкнутой с севера земляной плотинной.

В состав сооружений гидроузла входят плотина с железобетонным экраном длиной по гребню 3,9 км и максимальной высотой 35 м, и башенный водовыпуск пропускной способностью 140 м³/с.

Наполнение водохранилища осуществляется по Подводящему каналу длиной 28,6 км, берущему начало от Дам-Ходжинского ирригационного гидроузла на р. Карадарье, являющейся левой протокой р. Зеравшан, и впадающего в водохранилище в северо-восточной части в двух километрах от восточного крыла плотины. Учет стока по Подводящему каналу происходит на гидрометрическом посту, который в период наполнения водохранилища оказывается в зоне подпора. В этой связи учет стока на посту осуществляется по зависимости ежедневной скорости течения в точке от средней скорости потока $V_{cp} = f(V_t)$, а точность его подсчета оценивается в 5—7 % [76].

Общая водосборная площадь, с которой поступает боковой приток воды в водохранилище с Зерабулакской возвышенности составляет 617 км². Однако по саям и логам в весеннее время проходит лишь небольшое количество талых снеговых и дождевых вод с близлежащих холмов, большую же часть года они сухие. По наибольшему из них — Атчевар — в период таяния снегов или выпадения дождей может поступать в водохранилище не более 1,5—2 м³ воды. Отсутствие каких-либо следов прохождения селевых потоков по логам и саям позволяет сделать вывод, что боковой приток воды в водохранилище весьма незначителен, и поэтому в водном балансе он не учитывается.

Каттакурганское водохранилище расположено в районе распространения лёссов аллювиально-про-

лювиальной равнины левобережной части Зерав-
шавской долины, а борта водохранилища сложены
лёссом ташкентского комплекса мощностью до 60—
70 м, которые характеризуются исключительно ма-
лыми коэффициентами фильтрации.

Приток грунтовых вод в Каттакурганское водо-
хранилище — наименее изученный элемент водного
баланса, и данные имеющихся наблюдений четырех
периодически действующих гидрогеологических
створов в предгорьях Зерабулакской возвышенно-
сти позволяют высказать лишь некоторые сообра-
жения о возможном грунтовом притоке. Как видно

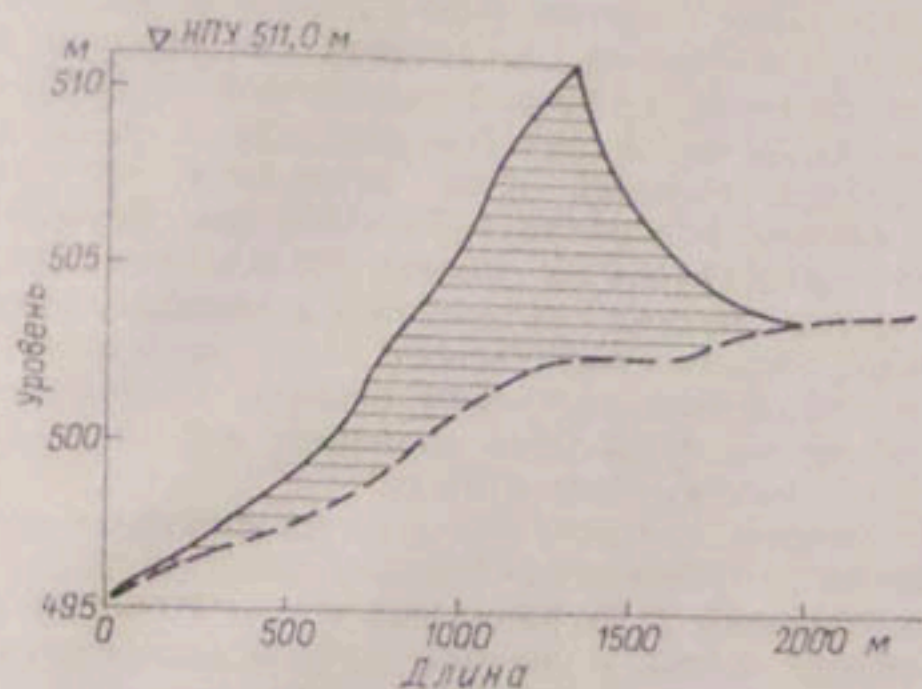


Рис. 4.3. Контур подземной регулирующей емкости
Каттакурганского водохранилища.
Штриховая линия — водоупор.

из рис. 4.3, уровень грунтовых вод повторяет коле-
бания уровня воды в водохранилище, и поэтому
можно скорее выдвинуть предположение о подзем-
ной регулирующей емкости, нежели о постоянном
грунтовом притоке в водохранилище. Изменение
уровня грунтовых вод прослеживалось лишь в уз-
кой прибрежной зоне шириной до 1 км. За преде-
лами этой зоны уровень грунтовых вод практиче-
ски постоянен в течение ряда лет и не испытывает
сезонных колебаний (рис. 4.3). Это позволяет сде-
лать вывод, что грунтовая составляющая ничтожно
мала и в расчетах баланса ею можно пренебречь.

Для определения количества осадков, выпадаю-
щих на водную поверхность, использованы данные
метеостанции, расположенной на восточном берегу
в приплотинной зоне водохранилища. Осадки вы-
падают в основном в весенний и частично осенне-
зимний периоды с максимумом в марте — апреле.
Осадки, выпадающие на водную поверхность, не яв-
ляются сколь-нибудь существенным элементом вод-
ного баланса и составляют до 6 % суммы приход-
ных статей последнего для месячных интервалов и
2 % годовых.

Забор воды из водохранилища осуществляется
по каналам Отводящему и Чиганак и учитывается
гидрометрическим путем. Основной объем водоза-
бора (75 %) приходится на вегетационный период
(июнь — август). Забор воды в каналы составляет
более 90 % суммы расходных статей водного ба-
ланса и фиксируется с точностью 5—7 %.

При расчете испарения с акватории водохрани-
лища была использована формула (2). Переход от
данных о метеоэлементах, наблюдаемых на метео-
станции, к таким же данным для открытой водной
поверхности осуществлялся согласно Указаниям

[140]. Максимальное парциальное давление водя-
ного пара определялось по осредненному значению
температуры поверхности воды, полученной по за-
висимости $t_{\text{пов. вод}} = f(t_{\text{возд}})$ (см. рис. 5.7).

Абсолютная влажность воздуха над водоемом
на высоте 200 см рассчитана по зависимости между
абсолютной влажностью воздуха на озерном посту
и абсолютной влажностью воздуха над открытой
водной поверхностью [3].

Средняя годовая сумма испарения за 1968—
1985 гг. составила 1360 мм. В годовых водных ба-
лансах значение испарения может достигать 5—
6 %, а в месячных — 30—40 % суммы расходных
статей балансов, тем самым определяя сходимость
последних в эти месяцы, так как согласно работе

Таблица 4.11

Зависимость фильтрационного расхода от уровня
воды Каттакурганского водохранилища

Уровень, см	Фильтрационный расход, м ³ /с	Уровень, см	Фильтрационный расход, м ³ /с
100	0,53	1200	2,41
200	0,74	1300	2,57
300	0,91	1400	2,73
400	1,08	1500	2,88
500	1,25	1600	3,04
600	1,42	1700	3,27
700	1,52	1800	3,46
800	1,76	1900	3,95
900	1,92	2100	4,43
1000	2,09	2200	4,85
1100	2,25	2250	5,17

[86] точность расчета испарения с водной поверх-
ности Каттакурганского водохранилища оценивает-
ся в 12—15 %.

Непосредственное влияние на режим грунтовых
вод нижнего бьефа плотины оказывает фильтрация
воды сквозь тело и под основанием плотины. Для
сокращения фильтрации верхний напорный откос
плотины был покрыт трехслойной отмосткой из
рваного камня толщиной 80 м и укреплен армобе-
тоном до отметки 508,0 м. До отметки 510,5 м от-
мостка омоноличена литым асфальтным раствором,
а по вновь возведенной части плотины до отметки
514 м было выполнено армобетонное монолитное
крепление толщиной 0,40 м.

Наблюдения за фильтрацией воды сквозь тело
плотины велись по пьезометрам, расположенным на
низовом откосе, а общий фильтрационный сток с
правого крыла плотины учитывался и по водосливу
Чипполетти. В результате анализа этих материалов
наблюдений и водных балансов установлено, что
расчетный осредненный расход фильтрации на
метр погонный длины напорного откоса, который
был принят постоянным (0,41 м³/с), не совсем кор-
ректен, так как не учитывалось изменение напора
воды в условиях глубокой сработки водохрани-
лища.

В этой связи институтом Средазгипроводхлоп-
ком были проведены натурные исследования и
предложен расчетный метод определения фильтра-
ционного расхода, учитывающий изменение напора
воды через изменение длины смоченного периметра
плотины, который изменяется при колебании уро-
вня воды в водохранилище.

На основе расчетных данных была получена
зависимость фильтрационного расхода воды от на-
полнения водохранилища (табл. 4.11).

Аккумуляция в чаше водохранилища определялась по разности объемов воды на 1-е число каждого месяца по данным наблюдений за уровнем воды с использованием зависимости $W=f(H)$, полученной по батиметрическим съемкам 1966, 1974 и 1983 гг. Помимо аккумуляции в чаше водохранилища, в его зоне, как показывают наблюдения за уровнем грунтовых вод, существует подземная регулирующая емкость объемом при НПУ до 35 млн м³. Однако отсутствие постоянных гидрогеологических наблюдений в зоне водохранилища затрудняют учет этих компонентов в месячных водных балансах. В годовом водном балансе роль подземного водного притока нивелируется.

Водные балансы Каттакурганского водохранилища средние за период 1968—1985 г., маловодный 1977 г. и многоводный 1973 г. приведены в табл. 4.12—4.14.

Куюмазарское водохранилище. Оно расположено в пустынно-солончаковой степи Бухарской области в 25 км на северо-восток от г. Бухары, введено в эксплуатацию в 1957 г., но строительство второй очереди гидротехнических сооружений продолжалось до 1966 г.

Водохранилище — наливное (питание из р. Зеравшан), основное значение которого состоит в аккумуляции избыточных вод реки и повышении водообеспеченности зеравшанских оросительных систем в Каракульском оазисе, расположенном в устьевом участке реки.

Водохранилище гарантирует полную водообеспеченность Каракульского оазиса в годы 75 %-ной обеспеченности по водности, кроме того, действуя в составе ирригационных сооружений Хархуского и Дуабинского гидроузлов, обеспечивает надежное питание крупнейших водных магистралей Бухарской области.

С вводом в эксплуатацию Амубухарского канала, который проходит в непосредственной близости от водохранилища, подпитывание водохранилища осуществляется также и амударьинской водой, аккумуляция которой происходит в зимний период.

В 1966 г. было проведено обвалование котловины, занимаемой водохранилищем, что позволило увеличить его емкость. В настоящее время полная емкость водохранилища оценивается в 306 млн м³. Наполнение водохранилища было осуществлено за 1958 г.

Куюмазарское водохранилище относится к группе водохранилищ с использованием водных ресурсов в зимне-весенний и летний периоды, что вызвано необходимостью зимних влагозарядных поливов, промывкой, рассолением земель и вегетационным забором воды на орошение.

Водный баланс Куюмазарского водохранилища был рассчитан за период нормальной эксплуатации после его реконструкции (1966—1985 гг.), а также за многоводный 1969 г. и маловодный 1982 г.

Приток поверхностных вод в Куюмазарское водохранилище осуществляется по Подводящему каналу из р. Зеравшан и Амубухарскому каналу и непосредственно с водосборной площади котловины, занимаемой водохранилищем. Поступление этих вод совершенно не изучено и, судя по характеру временных русел и почвенному покрову, а также засушливости климата, практически отсут-

ствует и значительной роли в приходных статьях водного баланса не играет.

Основное поступление воды происходит в сентябре—ноябре и марте—мае и составляет 85 % суммы приходных статей баланса. В летний период июнь—август приток воды незначителен и совсем отсутствует.

Испарение с водной поверхности водохранилища было рассчитано по формуле (2). Метеорологические элементы, входящие в эту формулу и наблюдаемые на метеостанции, были приведены к открытой водной поверхности водоема согласно Указаний [140]. Максимальное парциальное давление водяного пара рассчитывалось по средней температуре поверхности воды водоема, определенной по графику связи $t_{\text{пов. вод.}} = f(t_{\text{поста}})$ (см. рис. 5.7).

Средний годовой слой испарения составил 1600 мм при колебании 1450—1800 мм. Внутригодовой ход испарения с водной поверхности характеризуется малыми значениями в декабре—марте и последующим увеличением слоя испарения в связи с быстрым прогревом водных масс. Основное испарение приходится на период май—сентябрь (80 %) с максимумом в июле.

Испарение является весьма существенным компонентом в расходных статьях водного баланса Куюмазарского водохранилища и за 1961—1965 гг. составляет за год в среднем 10 % и может достигать за отдельные годы 20 %, а при месячных балансах даже 100 % суммы расходных статей водного баланса.

Изменение запасов воды в чаше водохранилища определялось по разности ее объемов на 1-е число каждого месяца, определенных по уровню воды с использованием зависимости $W=f(H)$ для 1963, 1973, 1981 гг. Водные балансы водохранилища приведены в табл. 4.15—4.17.

Кайраккумское водохранилище. Расположено в верхнем течении р. Сырдарьи и введено в эксплуатацию в 1959 г. Русловое долинное водохранилище имеет площадь водосбора 130000 км², осуществляет сезонное регулирование стока р. Сырдарьи и ориентировано на решение оросительных и частично энергетических целей. Водные ресурсы водохранилища используются в зимне-весенний период для выработки электроэнергии, влагозарядных поливов и промывания засоленных земель. В вегетационный период (с апреля по сентябрь) производится регулирование стока реки по оросительному графику. Сток половодья частично (не каждый год) аккумулируется в водохранилище для последующего получения гидроэлектроэнергии в зимний период Кайраккумской приплотинной ГЭС и нижерасположенной деривационной Фархадской ГЭС.

К числу сооружений Кайраккумского водохранилища относятся плотинный гидроузел (ГЭС мощностью 600 тыс. кВт), дамбы обвалования левого берега общей длиной 27 км и комплекс устройств с насосными установками для горизонтального и вертикального дренажа зоны подтопления. Кроме того, в районе водохранилища действуют две оросительные насосные станции: Ходжа-Бакирганская на левом берегу и Самгарская на правом — с пропускной способностью около 20 м³/с.

Водохранилище эксплуатируется с 1956 г., при этом объем заиливания за этот период составил 800 млн м³. В настоящее время заилена значитель-

Водный баланс Каттакурганского водохранилища за период 1968—1985 гг., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток	107,2	63,6	38,1	51,5	49,2	45,6	34,6	7,1	50,3	163,9	177,3	162,6	950,9
Осадки на водную поверхность	3,1	2,4	4,3	3,0	1,6	0,2	0,2	0,0	0,0	0,4	1,1	2,1	18,4
Итого	110,3	66,0	42,4	54,5	50,7	45,8	34,8	7,1	50,3	164,3	178,4	164,7	969,3
Расход													
Поверхностный отток по каналу													
отводящему	9,8	12,3	27,6	32,0	54,3	165,7	227,2	177,2	27,0	0,5	0,5	4,1	738,2
Чиганак	6,2	6,2	11,9	7,1	4,5	5,8	12,3	10,1	2,2	3,7	6,6	10,1	86,7
Испарение с водной поверхности	1,1	0,8	0,8	1,5	5,4	8,4	9,3	5,4	2,4	2,4	2,4	1,8	41,7
Фильтрация	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,2	1,8	1,1	0,7	1,2	0,6	2,0	21,5
Итого	19,4	21,7	42,7	43,0	66,6	182,1	250,6	193,8	32,3	7,8	10,1	18,0	888,1
Изменение запасов воды	89,8	42,5	-1,5	10,2	-18,0	-144,6	-224,0	-191,0	20,3	151,0	162,0	140,0	36,7
Невязка													
млн м ³	1,1	1,8	1,2	1,3	2,1	8,3	8,2	4,3	2,3	5,5	6,3	6,7	44,5
%	1	3	3	2	3	5	3	2	5	3	4	4	5

Таблица 4.13

Водный баланс Каттакурганского водохранилища за 1973 год, млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток	142	64,1	49,0	127	47,2	117	22,1	0	77,2	196	177	87,9	1110
Осадки на водную поверхность	2,12	4,35	6,03	3,03	1,11	0	0	0	0,3	0,01	0,70	0,14	17,8
Итого	143	68,4	55,0	130	48,2	117	22,1	0	77,5	196	178	87,6	1120
Расход													
Поверхностный отток	6,96	12,1	23,4	6,40	23,4	77,9	251	324	18,2	10,5	10,4	16,2	780
Испарение с водной поверхности	1,50	0,44	0,43	0,31	4,95	12,7	15,6	10,2	3,42	2,97	3,26	0,31	56,1
Фильтрация	2,31	2,50	2,52	2,62	2,76	2,70	2,50	1,73	1,20	1,62	2,00	2,26	26,7
Итого	10,8	15,0	26,4	9,33	31,1	93,3	269	336	22,8	15,1	15,7	18,8	863
Изменение запасов воды	115	42,5	18,4	102	-1,48	-1,49	-276	-359	51,9	166	148	51,0	56,8
Невязка													
млн м ³	17,2	10,9	10,2	18,7	18,6	25,2	29,1	23,0	2,80	14,9	14,3	17,8	200
%	12,0	15,9	18,5	14,4	37,4	21,3	9,8	6,4	3,6	7,6	8,0	20,3	17,9

Таблица 4.14

Водный баланс Каттакурганского водохранилища за 1977 г., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток	132	74,5	19,0	0,00	7,45	67,6	28,4	13,4	12,5	83,9	101	139	679
Осадки на водную поверхность	0,86	1,42	1,27	1,49	0,35	0	0	0	0,04	0,11	0,23	3,23	9,00
Итого	32,80	76,92	20,27	1,49	7,80	67,6	28,4	13,4	12,54	84,01	101,23	142,23	688,0
Расход													
Поверхностный отток по каналу													
отводящему	0,40	3,58	12,5	113	101	141	206	131	0	0	0	0	708
Чиганак	4,23	13,3	8,50	1,30	1,37	6,84	1,34	2,06	1,45	1,88	5,13	5,27	49,9
Испарение с водной поверхности	2,05	2,21	3,78	3,21	6,15	6,76	7,70	2,75	0,90	1,03	1,11	0,48	38,1
Итого	9,00	21,6	27,3	120	111	157	217	137	2,65	3,65	7,42	4,62	816
Изменение запасов воды	109	64,8	-13,9	-109	-99,5	-100	-200	-138	0,03	81,9	87,6	132	-176
Невязка													
млн м ³	15,0	-10,5	6,90	-9,51	-3,70	10,6	11,4	14,4	0,82	1,55	5,98	5,38	48,0
%	11,3	12,2	20,2	7,9	3,3	6,3	5,0	9,5	6,6	1,8	5,9	3,8	5,6

Водный баланс Куюмазарского водохранилища за 1966—1985 гг., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток по каналу													
подводящему	9,8	12,7	19,4	17,5	14,5	4,8	7,7	3,3	25,8	47,0	16,0	2,9	181,5
Амубухарскому	2,6	1,9	14,1	29,6	21,4	0,2	0,1	0,0	47,0	70,9	12,0	0,2	190,8
Осадки на водную поверхность	0,3	0,3	0,5	0,3	0,2	0	0	0	0	0,1	0,2	0,3	2,9
Итого	12,8	14,9	34,0	47,4	36,1	5,0	7,8	3,3	72,8	118,0	28,2	3,3	385,2
Расход													
Поверхностный сток	42,3	45,7	29,6	8,40	7,0	53,7	84,4	61,0	5,1	0,96	1,6	16,0	355,8
Испарение с водной поверхности	0,6	0,3	0,3	0,7	2,1	2,6	2,8	2,2	1,6	1,6	1,2	0,8	16,8
Итого	42,9	46,0	29,9	9,1	9,1	56,3	87,2	63,2	6,7	2,6	2,8	16,8	372,6
Изменение запасов воды	-31,5	-33,8	5,8	37,3	26,0	-47,6	-76,0	-56,0	65,0	108,0	26,3	-13,9	9,6
Невязка													
млн м ³	1,4	2,7	-1,7	1,0	1,0	-3,7	-3,4	-3,9	1,1	7,4	-0,9	0,4	1,4
%	3	6	5	2	3	7	4	6	2	6	3	2	0

Таблица 4.16

Водный баланс Куюмазарского водохранилища за 1973 г., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток	11,2	14,2	67,5	55,0	4,12	13,2	23,9	8,20	40,7	101	111	5,60	456
Осадки на водную поверхность	0,20	0,22	0,99	0,66	0,20	0	0	0	0	0	0,01	0,07	2,35
Итого	11,4	14,4	68,5	55,7	4,32	13,2	23,9	8,20	40,7	101	111	5,67	458
Расход													
Поверхностный отток	2,45	62,7	57,0	0	7,07	37,3	94,3	109	12,5	1,61	0	41,8	448
Испарение с водной поверхности	0,68	0,08	0,24	0,53	2,06	0,84	0,93	1,27	1,63	0,95	0,80	0,64	10,6
Итого	25,2	62,8	57,2	0,53	9,13	38,1	95,2	110	14,1	2,56	0,80	42,4	459
Изменение запасов воды	-11,4	-46,0	9,91	45,7	-6,30	-28,5	-71,4	-96,5	22,8	86,0	96,3	-36,6	-36,0
Невязка													
млн м ³	-2,40	2,40	1,39	9,47	1,49	3,60	0,10	-5,30	3,80	12,4	13,9	-0,13	35,0
%	9,5	3,8	2,0	17,0	14,0	8,6	0,1	4,8	9,3	12,3	12,5	0,3	7,1

Таблица 4.17

Водный баланс Куюмазарского водохранилища за 1982 г., млн м³

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток по каналу													
подводящему	0,29	0,00	1,07	0	0	0	0	0	19,3	36,2	0	0	56,9
Амубухарскому	0,00	10,7	34,3	11,1	37,8	0	0	0	58,3	118	0	0	271
Осадки на водную поверхность	0,73	0,74	0,38	0	0,12	0,06	0,03	0,00	0,02	0,15	0,42	0,17	2,82
Итого	1,02	11,4	35,8	11,1	37,9	0,06	0,03	0,00	77,6	154	0,42	0,17	331
Расход													
Поверхностный отток	11,0	33,6	3,81	18,9	1,07	88,1	65,7	53,1	1,35	0	0	0	277
Испарение с водной поверхности	0,46	0,34	0,38	0,94	2,06	2,42	2,82	2,22	1,35	1,40	1,37	0,57	16,3
Итого	11,5	33,9	4,19	19,8	3,13	90,5	68,5	55,3	2,70	1,40	1,37	0,57	293
Изменение запасов воды	-11,4	-25,7	29,6	-14,9	32,3	-87,0	-62,4	-49,2	66,7	133	-4,30	-3,80	2,90
Невязка													
млн м ³	0,92	3,20	2,01	6,20	2,47	-3,44	-6,07	-6,10	8,20	19,6	3,35	3,40	35,1
%	7,4	8,6	5,6	23,8	6,5	3,8	8,9	11,0	10,6	12,7	71,0	85,6	10,6

ная по площади верхняя мелководная и средняя зона. Поверхностный приток в Кайраккумское водохранилище осуществляется по р. Сырдарье, ряду временно действующих водотоков по правобережью этой реки и водохранилища, а также по широко развитой сети коллекторов и сбросов левобережья.

На участке от слияния рек Нарына и Карадарьи до водохранилища р. Сырдарья протекает в сильно заглубленном русле и является по существу коллектором, особенно в низкие по водности периоды и годы. Сырдарья — река снегово-ледникового типа питания ($\sigma = 0,57$) и характеризуется следующим внутригодовым распределением стока: в осенне-зимние месяцы (октябрь—февраль) сток составляет ежемесячно 5—6 % годового. Существенное увеличение стока начинается с апреля с достижением наибольших расходов воды в июне (объем стока 17 %). Средний годовой расход воды при входе в Кайраккумское водохранилище оценивается в 519 м³/с, наибольший — в 4300 м³/с (2/VI 1969 г.), а наименьший — в 78 м³/с (5—7/VII 1974 г.). Учет притока воды по р. Сырдарье осуществляется на гидрологических постах Акджар и Чильмахрам, расположенных в 48 и 26 км выше водохранилища.

Как показывает анализ материалов по расчетам притока воды в гидрометрическом створе Акджар, погрешность этого расчета следует оценить в 5 %. Средний многолетний приток по р. Сырдарье в Кайраккумское водохранилище на современном этапе использования водных ресурсов бассейна оценивается в 16,1 км³, который составляет 97 % суммы приходных статей водного баланса.

На участке гидрологический пост Акджар — водохранилище по левому берегу р. Сырдарьи осуществляется сброс коллекторных вод Сохской и частично Исфаринской оросительных систем.

Правобережье представлено остатками песчаного массива, не попавшего в зону затопления пустыни Кайраккум, и холмами Акбель. Поверхностного стока эта часть водосбора практически не дает вследствие исключительно малого количества выпадающих осадков (менее 100 мм) и малой площади водосбора. Боковая приточность по правобережью ничтожно мала (менее 0,1 % приходных статей водного баланса) и в водном балансе нет необходимости ее учитывать.

Левобережная приточная зона р. Сырдарьи и водохранилища с юга ограничена Большим Ферганским каналом, который перехватывает стоки предгорных саев Туркестанского хребта. Реки, выходящие из гор, полностью разбираются на орошение. Это — зона высокоразвитого орошаемого земледелия с разветвленной оросительной сетью и значительным отводом коллекторно-дренажных вод, которые сбрасываются в водохранилище. Учет стока на коллекторах и сбросах осуществляется службами эксплуатационной гидрометрии Ленинабадского и Исфаринского УОС. Коллекторный сток на этом участке оценивается в 2,5 % среднего годового значения приходной части и достигает 7—8 % месячных балансов, в связи с чем его недоучет может привести к большим погрешностям при расчете водных балансов межениных периодов и маловодных лет, а также периодов, когда выше водохранилища из р. Сырдарьи отмечается значительный водозабор.

По генезису и по формам рельефа долина р. Сырдарьи в районе водохранилища имеет различный характер. Правый берег водохранилища представляет террасированную песчаную отмель. Глубина залегания грунтовых вод на первой и второй террасах находится в пределах 0—5 м, на третьей террасе грунтовые воды погружены глубже 5 м. Правобережье — малоувлажненный район, и поэтому грунтовый приток ничтожно мал.

Территория, прилегающая к левому берегу р. Сырдарьи, представлена волнистой равниной с уклоном в сторону водохранилища. В формировании левобережья принимали участие пролювиальные отложения предгорного шлейфа, а также конусы выноса р. Исфары.

Питание подземных вод левобережья в основном осуществляется за счет притока из предгорий Туркестанского хребта. Глубина залегания грунтовых вод изменяется от 0,2—0,7 м на орошаемых до 2,6—3,0 м на неорошаемых землях. Наблюдения за уровнем грунтовых вод, проведенные здесь, позволяют, хотя и приближенно, количественно оценить подземный приток [15]. Учитывая однородность строения этого района, полученное значение подземного стока в сторону водохранилища было распространено на все левобережье и составило в годовом объеме 76 млн м³, что, вероятно, несколько занижено. Грунтовый приток в приходных статьях водного баланса незначителен и оценивается в 0,5 %. В связи с малым значением этого элемента водного баланса и низкой точностью его оценки в месячных и годовых оперативных водных балансах учет грунтового притока не имеет смысла.

Учет осадков на водное зеркало Кайраккумского водохранилища в различные годы осуществлялся на двух—шести осадкомерных постах, а в настоящее время они регистрируются МС Кайраккум и ОГП Джидалык. Сравнивая средний слой осадков, принятый по одной метеостанции Кайраккум и рассчитанный по шести постам методом изогет, получаем значительные расхождения в оценке этого компонента водного баланса, достигающие до 30 %. В связи с вышесказанным необходимо при регистрации осадков на гидрологических постах Кайраккум и Джидалык в расчетах принимать их среднеарифметическое значение. В целом же осадки не являются сколь-нибудь существенной статьей водного баланса и составляют менее 1 % его приходных статей для годовых интервалов времени и до 3—4 % для весенних месяцев (февраль—март).

Вследствие значительной площади водного зеркала водохранилища (250—540 км²) и малого числа пунктов наблюдений, точность подсчета осадков следует оценить в 15—20 % [37].

Сток воды из Кайраккумского водохранилища складывается из расходов воды по р. Сырдарье, заборов воды насосными станциями и ее фильтрацией в основании и сквозь тело плотины. Учет стока в нижнем бьефе ГЭС «Дружба народов» гидрометрическим путем осуществляется на гидрологическом посту Кызылшлак, расположенном в 18 км ниже створа ГЭС, а также на ГЭС по выработке электроэнергии на основе натуральных эксплуатационных характеристик.

Согласно инспекции ГЭС, проведенной в 1974 г. Госкомгидрометом СССР с представителями

ОРГРЭС, учет стока на Кайраккумском водохранилище отличается от данных гидрометрических измерений в гидрометрическом створе Кызылшак на 3—5 %. Оценивая точность подсчета стока в этом створе в 3—5 %, при проведении расчетов водного баланса принимаются данные гидрометеорологической службы.

К стоку воды из Кайраккумского водохранилища добавляется также водозабор насосными станциями Самгар и Ходжабакирган, учет стока на которых осуществляется по эксплуатационным характеристикам насосов. Обе станции могут забирать более 20 м³/с, а годовой объем водозабора с их помощью может достигать 7—8 % стока через ГЭС. Согласно инспекции ККГМО насосных станций, учет стока на них осуществляется достаточно надежно ($\sigma = -2...3 \%$), а относительная ошибка учета среднего годового водозабора насосными станциями составляет $\sigma_{от} = 0,6 \%$. Испарение с водной поверхности Кайраккумского водохранилища рассчитывалось согласно Указаний [140] с использованием формулы (2).

Фильтрация в основании плотины и дамбы в русловом участке учитывается службой эксплуатационной гидрометрии ГЭС, а также гидрологическим постом Кызылшак. Фильтрационные воды через левобережную дамбу собираются в коллектор и насосной установкой сбрасываются в водохранилище. Фильтрационный отток исключительно мал и его учет не имеет смысла.

Изменение запасов воды в водохранилище устанавливалось по данным наблюдений за уровнем воды и определения объемов на начало и окончание расчетных периодов по зависимости $W = f(H)$ 1974 и 1983 гг.

Средний водный баланс за период 1959—1985 гг., маловодный 1974 и многоводный 1969 гг. приведены в табл. 4.18—4.20.

Чардаринское водохранилище. Расположено в среднем течении р. Сырдарьи на территории Чимкентской области Казахской ССР. Долинное русловое водохранилище создано двумя гидроузлами — Чардаринским на р. Сырдарье у возвышенности Джаусум-Кум у г. Чардара и Арнасайским на входе в Арнасайское понижение, и введено в эксплуатацию в 1968 г.

Чашей водохранилища служат аллювиальные террасы долины р. Сырдарьи, литологический разрез которых весьма однообразен.

Створ плотины и ГЭС приурочен к возвышенности Джаусум-Кум, подступающей к правому берегу р. Сырдарьи и сложенной породами мелового и четвертичного периодов. Меловые породы представлены переслаивающейся толщей глин, алевроитов, глинистого мергеля и песчаников. Левый берег сложен золыми песками Кызылкум. В пределах долины р. Сырдарьи, где размещается земляная плотина с Кызылкумским регулятором, широкое развитие имеют отложения меловых террас реки. Они представлены мелкозернистыми песками, покрытыми супесями и суглинками.

В состав гидротехнических сооружений водохранилища входят: Чардаринская ГЭС мощностью 600 тыс. кВт, земляная плотина, Кызылкумский водовыпуск пропускной способностью 50 м³/с и Арнасайский гидроузел с земляной плотинной пропускной способностью 2100 м³/с.

Основное назначение Чардаринского водохранилища и ГЭС заключается в создании нормальной водообеспеченности существующих и вновь осваиваемых земель на площади 340 тыс. га, освоении орошаемых земель по Кызылкумскому массиву в 175 тыс. га, а также прироста лиманного орошения 200 тыс. га, в более полном использовании водных ресурсов в среднем и верхнем течении р. Сырдарьи с орошаемой площадью около 1,5 млн. га при улучшении работы Кайраккумского и Фархадского водохранилищ, в ликвидации опасных наводнений, вызывающих затопление населенных пунктов, земель и железной дороги в низовьях р. Сырдарьи вследствие паводков летом и заторных явлений зимой, в получении гидравлической энергии и рыбопромысловые цели. Река Сырдарья в районе водохранилища среднеизвилиста и протекает в широкой долине, принимая на этом участке правые притоки — р. Чирчик, канал Боз-Су, реки Келес и Куруккелес. С левой стороны в нее впадают четыре крупных коллектора — Иржар, Шурузак, Кызыл Узбекистан, ГПК — и ряд малых.

Главным компонентом приходных статей водного баланса Чардаринского водохранилища является приток поверхностных вод по р. Сырдарье, который составляет 80—90 % суммы приходных статей. Гидрометрический створ Чиназ замыкает водосборную площадь в 167 000 км². Боковая приточность осуществляется с площади 7000 км². При этом площадь, с которой не учитывается сток гидрометрическим путем, составляет 1400 км². Основной приток по р. Сырдарье в створе Чиназ оценивается в среднем с 5 %-ной точностью. На участке от створа Чиназ до водохранилища река принимает боковые притоки: канал Боз-Су, коллекторы ГПК и Шурузак.

Приток по каналу Боз-Су учитывается Узбекэнерго по выработке электроэнергии ГЭС № 6, находящейся в нижнем течении канала. Точность учета стока оценивается в 7 %.

До 1971 г. сток по р. Келес учитывался гидрологическим постом Степное, расположенном в 145 км выше устья, а с 1971 г. — гидрологическим постом Устье. На участке между гидрометеорологическими постами Степное и Устье река принимает ряд мелких притоков, а также дренирует грунтовые воды большого массива низовьев р. Келес. По данным параллельных наблюдений за период 1971—1972 гг. была получена зависимость средних месячных расходов воды по посту Устье от средних месячных расходов воды их по посту Степное и восстановлены расходы воды до 1967 г. Приток по р. Келес составляет до 3 % приходных статей водного баланса.

Коллекторы ГПК и Шурузак собирают и отводят возвратные воды северо-восточных частей орошаемых территорий Голодной степи. Их суммарный сброс по р. Сырдарье составляет 4—5 % суммы приходных статей водного баланса.

Помимо боковой приточности в русле реки, дополнительный приток осуществляется по контуру водохранилищ по коллекторам: Восточный, Западный, Земля и Труд, Северный, Тугайный, Концевой — и по правому берегу р. Куруккелес. Сток по коллекторам оценивается с точностью 10—15 %.

Осадки на акватории Чардаринского водохранилища учитывались на ГМС Чардара, озерными постами Арнасай и Амангельды и гидрометри-

Водный баланс Кайраккумского водохранилища за 1959—1985 гг., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток	885	864	1 020	1 302	2 001	2 275	1 696	1 194	792	1 011	1 077	964	15 080
основной	38,0	73,0	44,1	39,8	38,6	30,9	29,3	32,4	32,6	35,3	31,9	36,4	462,3
по коллекторно-дренаж- ной сети	5,6	6,9	10,2	11,6	8,0	2,4	1,2	0,5	0,5	3,7	4,0	5,7	60,3
Осадки на водную поверх- ность	928,6	943,8	1 074	1 353	2 048	2 308	1 726	1 227	825	1 050	1 113	1 006	15 602
Итого													
Расход													
Поверхностный сток	964	789	870	1 150	2 034	2 320	2 079	1 580	728	620	658	923	14 714
Забор насосными станциями	4,0	4,7	26,0	50,8	70,3	82,0	92,3	86,8	68,6	38,0	15,8	3,0	542,3
Испарение с водной поверхно- сти	9,7	9,1	15,4	29,4	58,1	87,6	77,6	56,1	36,9	29,7	20,3	15,3	445,2
Итого	978	803	911	1 230	2 162	2 490	2 249	1 723	833	688	694	942	15 702
Изменение запасов воды	-29,9	160,9	195,4	103	-127	-232	-517	-489	-30	388	463	87,1	-27,0
Невязка	-19,0	-20,0	-33	20	12,6	50	-6,2	-7	21,9	-25,6	-44	-22,6	-73,0
млн м³	2	2	3	2	1	2	1	1	3	2	4	2	1
%													

Таблица 4.19

Водный баланс Кайраккумского водохранилища за 1969 г., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток	886,8	851,6	2 153	2 530	4 928	6 635	4 875	2 475	1 213	18,56	1 890	1 505	31 798,2
боковой		121											121
по коллекторно-дренажной сети	40,0	41,0	54,0	44,0	38,0	26,0	24,0	22,9	34,0	44,0	40,0	45,0	452,9
Осадки на водную поверх- ность	19,1	8,2	26,4	24,7	11,6	3,3	8,8	0	0	16,5	2,0	10,2	130,8
Итого	945,7	1 021,8	2 233,4	2 598,7	4 977,6	6 664,3	4 907,8	2 497,9	1 247	1 916,5	1 932	1 560,2	32 502,9
Расход													
Поверхностный отток	830,3	883,0	2 261,0	3 396	4 125	5 754	4 125	2 317	1 418	1 454	1 853	2 084	30 500
Забор насосными станциями	0	0	0	12,2	50,0	72,0	88,3	95,2	81,0	47,3	3,2	0	449,4
Испарение с водной поверхно- сти				15,5	39,9	71,1	80,5	86,2	83,3	69,5	33,3	8,5	487,8
Изменение запасов воды	88,7	110,9	-31,1	-767,3	727,4	368,1	689,4	-61,4	-342,5	424,3	51,1	-536,8	720,8
Невязка	26,7	27,9	3,5	-57,7	35,3	409,1	-75,4	60,9	7,2	-78,3	-8,6	4,5	354,1
млн м³	2,8	2,7	0,2	2	0,7	6	1,5	2,4	0,5	4	0,4	0,2	1
%													

Таблица 4.20

Водный баланс Кайраккумского водохранилища в 1974 г., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток	916	847	999	713	627	321	448	959	731	1 010	811	635	9 017
Осадки	7	7	22	22	6	1	1	1	0	0	3	1	71
Промышленные и сельскохо- зяйственные сбросы	28	23	24	24	27	24	15	13	17	22	22	22	261
Итого	951	877	1 045	759	660	346	464	973	748	1 032	836	658	9 349
Расход													
Поверхностный отток	654	479	313	710	1 077	1 661	1 382	1 079	454	284	441	793	9 327
Испарение	—	7	22	23	58	84	34	12	12	21	16	13	302
Суммарный водозабор	—	—	42	76	79	86	77	73	64	49	33	—	579
Итого	654	486	377	809	1 214	1 831	1 493	1 164	530	354	490	806	10 208
Изменение запасов воды	329	458	581	-100	-516	-1 550	-1 043	-189	265	749	338	-113	-796
Невязка	-32	-62	87	50	-38	65	14	-2	-47	-71	8	-35	-63
млн м³	3,3	6,6	7,0	5,8	3,1	3,4	0,9	0,2	5,9	6,4	1,0	4,3	0,6
%													

функционировал лишь один гидрометеорологический пост Чардара. Так как водохранилище занимает площадь около 900 км² и имеет значительную протяженность — до 80 км, то для характеристики осадков были привлечены также материалы наблюдений на дождемерных постах Сырдарья и Чиназ. С 1970 г. осадки на зеркало водохранилища подсчитывались методом изогнет, с привлечением всего имеющегося материала.

Поле осадков района Чардаринского водохранилища характеризуется крайней неравномерностью, в связи с чем метод изогнет оказался наиболее обоснованным в подсчете среднего значения осадков, выпадающих на зеркало водохранилища.

Район Чардаринского водохранилища характеризуется континентальным климатом с большой амплитудой колебания температур воздуха и малым количеством осадков. Годовая сумма осадков, по данным наблюдений на ГМС Чардара, колеблется от 150 до 450 мм. При этом во внутригодовом распределении осадков отмечаются два периода: период зимне-весеннего увлажнения и летне-осенний засушливый период. Основное количество осадков выпадает в марте—апреле (до 75 % годовой суммы осадков). В июне—октябре осадков практически не наблюдается. Осадки не являются сколько-нибудь существенным компонентом в приходных статьях водного баланса.

Сброс воды из водохранилища осуществляется через основное гидротехническое сооружение — ГЭС «Чардара» и Арнасайский гидроузел. Безопасный сброс воды из водохранилища осуществляется через турбины ГЭС и достигает 2500 м³/с. При открытии донных водосбросов кратковременный попуск может составлять 1800 м³/с. Сброс учитывается по данным работы ГЭС, а также расположенного в 1 км от ГЭС гидрологического поста Нижний бьеф на р. Сырдарье. Этот пост учитывает до 90 % расходных статей водного баланса в нормальном режиме работы водохранилища и до 60 % в случае сброса воды в Арнасайское понижение. Несмотря на то что ГЭС и гидротвор находятся на близком расстоянии и дополнительного притока на этом участке не имеется, то, казалось бы, расходы воды по ГЭС должны согласовываться с данными по стоку гидрологического поста Нижний бьеф. Однако зачастую расходы воды, отмечаемые на гидрометрическом посту Нижний бьеф, превышают расходы, рассчитанные по данным ГЭС, что в отдельные месяцы составляет до 5 % расходных статей водного баланса [100].

Для пропуска катастрофических расходов воды используется сброс в Арнасайскую впадину. По расчетным данным, водосброс может пропускать до 2100 м³/с воды. Сброс осуществляется через пять водосливных отверстий шириной по 10 м каждое. В крайне многоводном 1969 г. в Арнасайскую впадину было сброшено 20 105 млн м³ воды, что составило 40 % суммы расходных статей водного баланса. Учет стока осуществлялся по открытию щитов и наблюдением за уровнем воды в верхнем бьефе. Однако в связи с тем, что это сооружение не тарифовано, к данным по учету стока следует отнести весьма критически.

Забор воды из Чардаринского водохранилища на орошение осуществляется Кылкумским регулятором, расположенном в теле намывной плотины

200 м³/с воды. Назначение регулятора — понижение водообеспеченности Кылкумского орошаемого массива. Водозабор в канал может составлять менее 6 % расходных статей водного баланса.

Испарение с водной поверхности Чардаринского водохранилища подсчитывалось согласно Указаниям [140] с использованием формулы (2).

Среди расходных компонентов водного баланса до настоящего времени остается слабоизученной фильтрация через щиты водосбросов, хотя она учитывается гидрологическим постом Нижний бьеф в общем стоке сброса через сооружение. Помимо этого, фильтрация осуществляется и сквозь донные намывные Чардаринской и Арнасайской плотин. По данным Управления эксплуатации ГЭС, общий фильтрационный расход воды сквозь тело плотин не превышает в среднем 1 м³/с. В то же время значения фильтрации через донные водосбросы позволили бы существенно уточнить размеры сброса из водохранилища.

Приток и отток грунтовых вод через ложе водохранилища до настоящего времени практически не изучен. Однако косвенная оценка притока и оттока грунтовых вод позволяет предположить, что они не могут оказывать сколько-нибудь существенного влияния на водный баланс водохранилища.

Изменение запасов воды в водохранилище определялось по зависимости объемов от уровня воды. В 1978 г. Кайраккумской гидрометеорологической обсерваторией совместно с гидрометеостанцией Чардара были проведены промеры водохранилища, подсчитан его объем и построена зависимость объемов от площадей водного зеркала и уровня воды.

Объем водохранилища определялся по уровням воды на 1 число каждого месяца, после чего вычислялось изменение объема воды в водохранилище за расчетный период.

Аккумуляция составила от нескольких десятков миллионов метров до 2 млрд м³ за месяц. В табл. 4.21—4.23 приводятся водные балансы водохранилища за период нормальной эксплуатации 1968—1985 гг., а также за многоводный 1969 и маловодный 1974 гг.

Токтогульское водохранилище расположено в обширной Кетмень-Тюбинской впадине, ограниченной с севера Таласским и Сусамырским хребтами, с юга и юго-востока хр. Молдо-Тоо и северо-западными отрогами Ферганского хребта, с юго-запада Атоинокским хребтом, на территории Токтогульского района Ошской области Киргизской ССР. Под чашу водохранилища использована часть широкой, вытянутой с востока на запад котловины с абсолютными отметками 600—1000 м. Котловинное русловое долинное водохранилище образовано бетонной, гравитационной водосливной плотиной высотой 215 м длиной по гребню 292 м и шириной 43 м. Водохранилище призвано осуществлять многолетнее регулирование стока для целей комплексного использования водных ресурсов в бассейне р. Сырдарьи.

В каскаде с Токтогульской ГЭС на базе водохранилища эксплуатируются Нижне-Нарынская, Курупсайская, Ташкумырская и Учкурганская ГЭС. Заполнение водохранилища было начато в июле 1974 г., однако до НПУ ни разу не наполнялось. Наибольший его уровень, достигнутый в 1987 г., соответствует объему 14 458 млн м³.

Водный баланс Чардаринского водохранилища за 1968—1985 гг., млн м³

Таблица 4.21

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток													
основной	890,4	1 052,0	1 377,1	1 497,0	2 007,2	1 890,0	1 155,8	703,5	656,5	714,8	809,7	781,0	13 595,6
боковой	24,9	25,2	42,9	57,6	40,3	17,4	12,1	15,6	24,2	28,8	29,9	26,7	345,5
Осадки на водную поверхность	19,7	17,1	35,2	31,4	16,4	4,5	0,0	0,0	0,8	5,4	12,5	17,5	160,5
Сбросы дренажной коллекторной сети	136,3	146,1	154,1	123,1	120,3	86,8	84,3	60,2	77,2	139,7	122,8	159,5	1 401,4
Итого	1 071,3	1 240,4	1 609,3	1 709,1	2 184,2	1 988,7	1 252,2	779,2	758,7	879,7	974,9	984,7	15 432,4
Расход													
Поверхностный отток	438,9	439,9	555,1	1 591,6	2 383,8	2 103,4	1 948,0	1 133,1	478,9	439,4	415,6	402,1	12 329,8
Потери на фильтрацию	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	21,5
Испарение с водной поверхности	7,8	2,8	7,0	22,7	69,5	106,6	108,7	81,7	55,8	44,2	23,2	14,4	544,4
Забор воды в каналы	109,1	45,3	185,3	294,3	434,4	512,9	340,1	222,2	80,8	2,8	90,3	134,7	2 472,2
Итого	557,6	489,7	749,2	1 910,4	2 889,5	2 724,7	2 398,6	1 438,8	617,3	488,2	530,9	553,0	15 347,9
Изменение запасов воды	575,0	770,2	774,1	-275,8	-750	-775,3	-1 252,5	-598,4	187,9	445,7	473,9	417,4	-7,8
Невязка													
млн м³	-61,3	-19,5	86,0	74,5	44,7	39,3	106,1	-61,2	-46,5	-54,2	-29,9	14,3	92,3
%	6	2	5	4	2	1	4	4	6	6	3	3	1

Водный баланс Чардаринского водохранилища за 1969 г., млн м³

Таблица 4.22

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток	1 387	1 522	4 178	6 247	3 410	9 772	6 375	2 673	1 820	2 378	2 851	2 839	50 452
Осадки на водную поверхность	85	28	80	64	37	2	26	0	1	21	40	13	451
Промышленные и сельскохозяйственные сбросы	64	168	322	231	210	155	176	180	189	235	210	210	2 432
Итого	1 536	1 718	4 580	6 542	3 657	9 929	6 577	2 853	2 010	2 634	3 101	3 080	53 217
Расход													
Поверхностный отток	1 270	1 546	1 889	3 110	3 964	4 458	4 044	2 893	1 985	2 261	1 148	1 106	29 509
Испарение с водной поверхности	0	0	0	3	55	165	226	171	150	108	45	17	998
Суммарный водозабор	0	0	0	2	108	130	131	127	39	0	0	0	455
Сброс в Арнасайскую впадину	0	708	3 082	3 756	3 410	4 795	1 127	0	0	0	1 555	2 164	19 875
Фильтрация	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	33
Итого	1 272	2 256	4 273	6 874	7 540	9 551	5 531	3 194	2 177	2 372	2 751	3 290	52 181
Изменение запасов воды	293	-587	320	-596	388	-444	362	-452	-265	155	268	-285	-843
Невязка													
млн м³	-29	49	-13	-264	729	822	684	111	98	122	82	75	1 879
%	2	2	0	4	8	8	10	3	4	5	3	2	4

Водный баланс Чардаринского водохранилища за 1982 г., млн м³

Таблица 4.23

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток													
основной	1 190	1 830	1 330	751	957	1 180	954	627	430	533	754	1 080	11 616
боковой	19,4	20,3	50,1	65,2	14,7	12,8	13,6	7,8	13,5	25,8	29,8	25,3	298,3
Осадки на водную поверхность	10,7	4,0	25,8	7,8	2,3	4,2	1,5	0,5	1,8	12,5	17,4	9,2	97,7
Сбросы дренажной коллекторной сети	109	52,8	49,3	57,5	84,4	62,7	62,7	53,9	51,3	53,1	45,3	56,5	738,5
Итого	1 329,1	1 907,1	1 455,2	881,5	1 058,4	1 259,7	1 031,8	689,2	496,6	624,4	846,5	1 171	12 750,5
Расход													
Поверхностный отток	268	393	608	1 240	2 180	1 830	1 720	579	163	161	148	149	9 439
Потери на фильтрацию	2,4	2,2	2,4	2,3	2,4	2,3	2,4	2,4	2,3	2,4	2,3	2,4	28,2
Испарение с водной поверхности	11,3	9,8	13,9	28,8	52,3	85,8	88,0	53,0	37,3	29,4	19,2	11,7	440,5
Забор воды на нужды народного хозяйства	26,8	14		147	340	350	351	311	70,7			54,1	1 650,6
Итого	308,5	405	624,3	1 418,1	2 574,7	2 268,1	2 161,4	945,4	273,3	192,8	169,5	217,2	11 558,3
Изменение запасов воды	941	1 360	766	-569	-1 406	-860	-1 040	-247	226	417	654	926	1 168
Невязка													
млн м³	-79,6	-142,1	64,9	32,4	-110,3	148,4	-89,6	-9,2	-2,7	14,6	23,0	27,8	24,2
%	6	7	4	2	4	6	4	1	0,5	2	3	2	0,2

Основным источником питания водохранилища служит поверхностный сток по р. Нарын, а также по его менее крупным боковым притокам — рекам Чичкан, Торткент и Узунахмат. Кроме этих притоков водохранилище аккумулирует весенний сток множества временно действующих водотоков левого бережья. Общая площадь водосборного бассейна составляет 52 520 км², а объем среднего годового стока — 12 330 млн м³.

Вышеперечисленные реки относятся к снегово-ледниковому типу питания с формированием основного объема стока в мае—июле и прохождением

Таблица 4.24

Водный баланс Токтогульского водохранилища за 1977—1985 гг., млн м³

Год	Приток	Осадки	Сумма	Отток	Испарение	Сумма	Изменение запасов воды	Невязка	
								абсолютная	%
1977	10 600	30	10 630	9 150			1 580	-100	1
1978	11 800	48	11 848	7 330			3 180	338	3
1979	12 600	53	12 753	7 140			4 920	593	5
1980	10 600	37	10 777	9 830			658	289	3
1981	12 000	78	12 178	13 000	254	13 254	-464	612	5
1982	8 450	37	8 537	13 900	159	14 059	-5 530	8	0
1983	11 000	35	11 135	11 100	159	11 259	-63	-61	1
1984	10 900	67	11 067	12 100	135	12 235	-867	-291	2
1985	10 300	48	10 348	10 200	137	10 337	686	675	6
Среднее	10 900	52	11 052	10 400	169	10 569	521	-138	1

ника половодья в третьей декаде июня. Максимальные расходы воды р. Нарын достигают 2400 м³/с (20/VI 1966 г.).

Гидрометрический учет притока воды в водохранилище осуществляется на гидрологических постах Киргизгидромета на р. Нарын у с. Учтерек, р. Торткент у кишла. Торткент, р. Чичкан в 5,5 км ниже устья р. Бала-Чичкан и р. Узунахмат в устье р. Устасай.

Сток по временно действующим водотокам незначителен, в приходных статьях водного баланса не учитывался.

Осадки не являются сколько-нибудь существенным компонентом водного баланса, составляют ме-

нее 1 % суммы его приходных статей и учитываются по данным осадкомерного пункта озерной станции Токтогул. Годовая сумма осадков составляет 290 мм, при этом около 50 % осадков выпадает в весенний период.

Отток из водохранилища определяется по данным учета стока на Токтогульской ГЭС на основании сведений о гидроагрегатах, перепаде уровня верхнего и нижнего бьефа и сведений о выработке электроэнергии. Инспекция ГЭС специалистами Госкомгидромета СССР и ОРГ ГРЭС Минэнерго СССР показала, что учет стока на ГЭС осуществляется с точностью до 5—7 %.

Испарение с водной поверхности водохранилища было рассчитано по формуле ГГИ с привлечением гидрометеорологических данных по озерному посту и МС Токтогул.

Аккумуляция воды в водохранилище вычислялась по данным уровенных наблюдений на одном гидрометрическом посту Токтогул и проектных зависимостей изменения объема от уровня воды.

Годовые водные балансы водохранилища составлены за 1977—1985 гг. (табл. 4.24), а также за средний по водности 1983 г. (табл. 4.25).

Уртатокайское водохранилище. Расположено в долине р. Кассансай в 6 км к югу от пос. Ала-Бука в урочище Урта-Токой и в 90 км северо-западнее г. Наманган на территории Ошской области Киргизской ССР.

Река Кассансай стекает с южного склона Чаткальского хребта и является крупным правобережным притоком р. Сырдарьи.

На участке Уртатокайского водохранилища наблюдается чередование расширений и сужений русла реки. Здесь прочные породы палеозойского возраста разделены широкой в 5—6 км полосой рыхлых меловых и третичных пород, заполняющих большую тектоническую впадину. На севере эта впадина граничит с окраинной основного горного массива, сложенного палеозойскими породами, на юге — с массивом палеозойских пород, представленных по обращенному в сторону впадины краю массива мощной свитой эффузивов.

В пределах последних, где долина р. Кассансай образует теснину, расположена плотина, а резко

Таблица 4.25

Водный баланс Токтогульского водохранилища за 1983 г., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IX	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток													
основной	330	278	343	510	1 160	1 580	1 900	1 470	717	493	422	353	9 560
боковой	60,8	51,1	52,8	81,8	248	321	281	143	75,6	61,9	59,6	51,5	1 490
Осадки на водную поверхность	3,14	0	2,22	3,82	9,82	4,49	3,29	0,65	0	1,65	2,42	4,04	35,5
Итого	394	329	398	596	1 420	1 900	2 180	1 610	793	557	484	410	11 100
Расход													
Поверхностный отток	563	467	490	997	1 760	1 880	2 140	1 700	391	230	155	346	11 100
Испарение с водной поверхности	6,15	4,99	5,73	5,19	8,06	19,8	16,3	26,3	26,7	16,8	13,5	9,30	159
Итого	569	472	496	1 000	1 770	1 900	2 160	1 730	418	247	168	355	11 300
Изменение запасов воды	-205	-172	-105	-382	-350	51	85	-54	384	315	304	66	-63
Невязка													
млн м ³	30	29	7,0	-22	0	-51	-65	-66	-9,0	-5,0	12	-11	-137
%	5	6	1	2	0	3	3	4	1	1	2	3	1

расширенная часть долины в пределах впадины создает чашу водохранилища площадью 6 км². Таким образом, чашей служит современная террасированная долина р. Кассансай в полосе мезозойских и третичных пород.

Рельеф дна водохранилища — равнинный, лишь в южном приплотинном заливе встречаются впадины и выступы, грунт дна суглинистый. Глубина в водохранилище постепенно увеличивается от берегов к центральной части зоны, достигая передских и третичных пород.

Строительство водохранилища было начато в 1941 г., осуществлялось в несколько этапов и продолжалось 15 лет. К полевому сезону в 1942 г. было накоплено 3 млн м³ воды. К 1947 г. завершена первая очередь строительства и емкость водохранилища составляла 30 млн м³. Полностью строительство водохранилища емкостью 100 млн м³ было завершено в 1955 г. С 1963 по 1965 г. на Уртатокайском водохранилище проведены работы по реконструкции и наращиванию плотины. Высота плотины возросла до 64 м, это позволило увеличить емкость водохранилища до 165 млн м³. При этом сток р. Кассансай зарегулирован на 90 %. Долинное русловое водохранилище осуществляет сезонное регулирование стока и предназначено повышать водообеспеченность более 30 тыс. га орошаемых земель Киргизии и Узбекистана.

Сток в бассейне Уртатокайского водохранилища формируется на площади водосбора 1422 км², охватывающего южные склоны Чаткальского хребта.

Приток поверхностных вод в водохранилище осуществляется по основной р. Кассансай с площади водосбора 1130 км² в замыкающем гидрометрическом створе Кызылтокай, а также по боковым притокам, из которых наиболее значимыми являются канал Алабука, по которому перебрасывается сток из бассейна р. Алабуки в бассейн рек Кассансай и Урюкты с площадью водосбора в 116 км².

Сток по вышеперечисленным водотокам составляет почти 97 % приходных статей водного баланса и учитывается гидрометрическим путем на гидрологических постах Узгидромета.

Помимо выше указанных водотоков, в водохранилище и р. Кассансай ниже гидрометрического створа Кызылтокай впадает ряд мелких саев, сток которых формируется на площади водосбора 176 км². Сток по этим саям был рассчитан по аналогу, в качестве которого был использован створ р. Урюкта-устье, достаточно надежно характеризующий условия формирования стока низкорослой зоны бассейна р. Кассансай. Полученные для среднего по водности года данные были введены в многолетний водный баланс Уртатокайского водохранилища.

Осадки на водную поверхность определены по данным наблюдений МС Уртатокайское водохранилище, расположенной в непосредственной близости к акватории водохранилища. Осадки отмечаются в основном в весенний период с максимумом в марте-мае, когда выпадает до 50 % годовой их суммы, которая составляет за многолетний период 440 мм. Осадки не являются сколь-нибудь существенным компонентом приходных статей водного баланса и оцениваются для месячных интервалов в 1—2 %, годовых в 0,5 %.

Отток воды из водохранилища осуществляется через доинный и катастрофический водовыпуск максимальной пропускной способностью 120 м³/с и фиксируется на гидрометрическом створе Узгидромета р. Кассансай у Нижнего бьефа, который расположен в 400 м ниже плотины Уртатокайского водохранилища. Таким образом, возможная фильтрация учитывается на этом посту суммарно со сбросом воды из водохранилища.

Отток воды из водохранилища составляет более 99 % расходных статей водного баланса, точность его учета во многом определяет точность самого баланса и планы водопользования. Согласно экспертной оценке материалов наблюдений, точность учета стока составляет 3—4 %.

Предгорное расположение водохранилища определяет незначительные значения испарения в его водном балансе, которое составляет менее 1 %. Расчет испарения был выполнен с использованием материалов наблюдений специализированной озерной станции Уртатокайское водохранилище согласно Указаниям [140] по формуле (3). При возможной погрешности в расчетах испарения с водной поверхности в 15—20 % [119], его относительная ошибка в балансе $\sigma_{отв}$ может составить 0,2 %.

Аккумуляция в чаше водохранилища определялась по данным наблюдений за уровнем воды на начало и окончание расчетного периода. В связи с малыми размерами акватории водохранилища ($f = 7,6$ км², $l = 5$ км) данные наблюдений одного гидрометрического поста достаточно надежно характеризуют изменение горизонтального положения водной поверхности водохранилища. Объемы на 1 число каждого месяца снимались с зависимости $W = f(H)$, полученной по съемке 1969 и 1980 гг. При точности в определении уровня ± 1 см точность расчета ΔW при максимальном наполнении водохранилища может составить 0,15 млн м³, или 2—3 % водных балансов за зимние месяцы.

Водные балансы Уртатокайского водохранилища были рассчитаны за период нормальной эксплуатации 1968—1985 гг., маловодный 1985 и многоводный 1969 гг. (табл. 4.26—4.28).

Туябугузское водохранилище. Расположено в нижнем течении р. Ахангаран и является сложным долинным русловым водохранилищем, осуществляющим сезонное регулирование стока с целью его рационального использования в вегетационный период для нужд орошаемого земледелия. Водохранилище проектной емкостью 250 млн м³ было призвано обеспечить водой более 60 тыс. га поливных земель Ташкентской области.

В состав гидротехнических сооружений водохранилища входит земляная плотина длиной 2,8 км и высотой 36,5 м с башенным катастрофическим водовыпуском пропускной способностью 950 м³/с, позволяющим осуществлять сброс воды в русло р. Ахангаран. Правобережный доинный водовыпуск размещен в поле плотины и позволяет отводить воды в Правобережный канал пропускной способностью до 90 м³/с. В левом крыле плотины расположен доинный водовыпуск Левобережного канала пропускной способностью 25 м³/с.

Верхний откос плотины с отметкой 367,0 м до гребня закреплен бетонными монолитными плитами, препятствующими размыву плотины при волнении и сокращающие фильтрацию сквозь тело плотины.

Водный баланс Уртатокайского водохранилища за период 1966—1985 г., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток													
основной	5,0	4,3	5,8	23,9	57,7	56,8	28,9	14,1	8,3	7,4	6,1	5,3	223,6
измеренный на боковых притоках	1,9	1,6	1,3	1,9	3,4	3,1	1,7	0,6	0,5	0,9	1,1	1,6	19,6
рассчитанный по боковым притокам	0,5	0,4	0,5	0,7	1,3	0,9	0,7	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	7,1
Осадки на водную поверхность	0,05	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,02	0,01	0,01	0,04	0,1	1,2
Итого	7,45	6,4	7,8	26,7	62,6	61,0	31,4	15,0	9,2	8,7	7,7	7,5	251,5
Расход													
Поверхностный отток	1,1	1,3	1,8	10,2	30,2	45,5	72,5	56,7	18,9	8,0	2,4	1,1	249,7
Испарение с водной поверхности	0	0	0	0,1	0,2	0,4	0,4	0,3	0	0	0	0,1	1,54
Итого	1,1	1,3	1,8	10,3	30,4	45,9	72,9	57,0	18,9	8,0	2,4	1,1	251,2
Изменение запасов воды	6,4	5,2	6,3	16,2	32,1	11,5	-41,9	-41,0	-8,9	1,1	5,0	6,1	-1,9
Невязка													
млн м ³	-0,05	-0,1	-0,3	0,2	0,1	3,6	0,4	-1,0	-0,8	-0,4	0,3	0,3	2,2
%	1	2	4	1	0	6	1	2	4	5	4	4	1

Таблица 4.27

Водный баланс Уртатокайского водохранилища за 1969 г., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток													
р. Кассансай	6,34	5,90	15,34	15,76	136,33	141,78	78,74	35,09	17,83	15,53	13,45	10,94	534,0
р. Урюкты	1,37	1,21	1,66	2,64	5,36	6,95	4,79	2,30	1,14	1,18	1,30	1,42	81,32
кан. Алабука	2,52	2,32	3,08	3,08	2,28	1,66	3,78	1,61	0,91	1,12	4,28	3,88	30,42
Осадки на водную поверхность	0,15	0,07	0,44	0,36	0,54	0,26	0,77	0,01	0,09	0,07	0,09	0,03	2,88
Итого	10,38	9,50	20,52	62,74	144,51	150,65	88,08	39,01	19,97	17,90	19,12	16,27	598,6
Расход													
Поверхностный отток	0,62	0,77	1,07	15,40	95,89	137,64	101,24	96,24	73,35	32,41	4,10	0,78	559,51
Испарение с водной поверхности	0	0	0,00	0,04	0,10	0,11	0,03	0,15	0,06	0,02	0,02	0,04	0,57
Итого	0,62	0,77	1,07	15,44	95,99	137,75	101,27	96,39	73,41	32,43	4,12	0,82	560,08
Изменение запасов воды	9,36	7,93	19,46	45,53	43,34	9,14	-15,91	-57,54	-57,70	-14,57	15,12	16,31	20,47
Невязка													
млн м ³	0,40	0,80	-1,01	1,77	5,18	3,76	2,72	0,16	4,26	0,04	-0,12	-0,86	18,10
%	4	8	0	3	4	2	3	0	6	0	1	5	3

Таблица 4.28

Водный баланс Уртатокайского водохранилища за 1985 г., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток													
боковой	5,06	4,07	4,86	24,4	52,0	45,4	20,3	9,51	6,02	5,84	5,42	4,54	187
основной	2,36	1,93	1,45	1,07	1,47	1,56	0,27	0,20	0,25	0,50	0,78	1,13	13,0
Осадки	0,06	0,06	0,17	0,06	0,17	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,62
Итого	7,48	6,06	6,48	25,5	53,64	47,0	20,6	9,71	6,27	6,34	6,21	5,70	201
Расход													
Поверхностный отток	1,69	1,72	2,39	9,58	30,6	37,0	68,9	50,1	8,44	7,93	2,72	0,94	222
Испарение с водной поверхности	0,00	0,00	0,02	0,12	0,22	0,44	0,36	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,17
Итого	1,69	1,72	2,41	9,70	30,8	37,4	69,3	50,1	8,44	7,93	2,73	0,94	223
Изменение объема запасов воды	7,07	4,75	5,67	17,4	25,0	11,6	-45,9	-36,5	0,00	0,00	5,58	5,84	0,51
Невязка													
млн м ³	1,28	-0,41	-1,60	-1,60	-2,20	-2,00	-2,80	-3,89	-2,17	-1,59	-2,10	-1,08	-22,5
%	14,6	6,3	19,8	5,9	3,9	4,1	4,0	7,8	25,7	20,0	25,3	15,9	10,0

За период эксплуатации объем водохранилища сократился на 59 млн м³: в 1960—1965 гг. — на 29 млн м³, в 1966—1968 гг. — на 10,5 млн м³ и в 1969—1978 гг. — на 19 млн м³. В заилении водоема принимали участие как сток взвешенных и мелко-мелких наносов, так и отложения за счет переформирования берегов, особенно в первые годы эксплуатации (1961—1965 гг.). Питание водохранилища осуществляется водами рек Ахангаран, Бургалик, коллектора Гайрат и частью р. Чирчик, поступающему по Ташкентскому каналу.

Основным компонентом приходных статей баланса является приток по р. Ахангаран, значительно меньшее наполнение водохранилища осуществляется за счет стока р. Бургалик и сброса из Ташкентского канала. Река Ахангаран является рекой снего-дождевого питания с тяготением к снеговому. Основной объем ее годового стока в апреле — июне составляет около 70 %. В это же время осуществляется основное наполнение водохранилища. В июле — октябре поверхностный приток по р. Ахангаран в гидрометрическом створе Дюкера практически отсутствует.

Сбросы воды из Ташкентского канала, включая и сброс коллектора Гайрат, имеют неравномерный режим, хотя за многолетний период гидрограф значительно выравнивается, характеризуясь повышением стока в вегетационный период. Сток на вышеперечисленных водотоках учитывается гидрометрическим путем на гидрологических постах Узгидромета, а точность его измерений оценивается в 3—5 %.

Наблюдения за осадками на водную поверхность водохранилища осуществляются на МС Туябугуз. Годовые суммы осадков колеблются здесь от 300 до 700 мм. Удельный вес осадков среди приходных статей баланса невелик и составляет 1—2 % для годовых и до 10 % для месячных периодов расчета водного баланса. При распространении значений осадков по данным одной метеостанции Туябугуз на всю акваторию водохранилища, точность расчета осадков можно оценить в 10 %, а относительную погрешность их определения в водном балансе в 0,1 %.

Отток поверхностных вод из водохранилища осуществляется в нижний бьеф, в русло р. Ахангаран и в Правобережный и Левобережный каналы. Учет стока на сбросах ведется по открытию щитов, а также контролируется гидрологическими постами Узгидромета. Сток, составляющий 90—96 % расходных статей водного баланса, учитывается достаточно надежно и возможные случайные ошибки могут быть оценены в 5 %.

Расчет испарения выполнен по формуле (2) с использованием метеорологических данных МС Туябугуз и озерного водомерного поста, а также значений температуры поверхности водохранилища, определенных по зависимости рис. 5.7.

Годовой слой испарения колеблется от 1000 до 1400 мм. В летние месяцы объем испарения может достигать 10 % суммы расходных компонентов водного баланса, а в осенние, когда отток воды существенно сокращается, доходить до 15—20 %. Точность расчетов испарения с водной поверхности водохранилища оценивается 10—15 % [86].

На участке водохранилища расположено пять эрозионно-аккумулятивных террас, две из них служат бортами водохранилища, а первая — третья —

дном. Отложения нижних террас представлены водопроводимыми галечниками, которые перекрыты слоем мелкозема мощностью до 8 м. До строительства водохранилища река на этом участке дренировала грунтовые воды и получала дополнительное питание за счет их выклинивания.

Наблюдения за уровнем грунтовых вод и уровнем воды в водохранилище показали, что они гидравлически взаимосвязаны. Следовательно, имеет место аккумуляция в борта и ложе водохранилища. По данным гидрогеологического разреза, влияние водохранилища прослеживается по его левому берегу на расстояние до 1000 м, по правому на расстоянии 1500 м (рис. 4.4). Для оценки возможного оттока — притока в подземную регулируемую емкость был произведен расчет берегового регулирования путем решения уравнения Ф. Форгеймера [63]. Общий объем притока — оттока за счет берегового регулирования оценивается менее чем в 2 млн м³, что составляет 1 % общей емкости водохранилища. Введение в водный баланс этого аккумулятивного компонента не повышает его точность, а отсутствие постоянных надежных наблюдений за уровнем грунтовых вод и малые значения аккумуляции позволяют сделать вывод о нецелесообразности включения их в водный баланс.

Основная же регулирующая подземная емкость приходится на пойму р. Ахангаран, сложенную рыхлыми галечниками с прослойками лёссовых грунтов. Мощность водовмещающих пород увеличивается вниз по долине реки от 30 до 150 м. Общий объем емкости, ежегодно заполняемый в период подъема уровня воды в водохранилище и сбрасываемый в период вегетационного опорожнения, оценивается в 20—30 млн м³, причем основные объемы подземного регулирования приурочены к верхним зонам водохранилища. Основное поступление грунтовой составляющей (200 млн м³) подземного притока осуществляется со стороны долины р. Ахангаран в виде быстрого подруслового потока. Взаимодействие подземных и поверхностных вод в пределах р. Ахангаран установлено на основании детальных гидрогеологических исследований и результатов воднобалансовой гидрометрии. Водоносный комплекс разделен прослойками мелкозема на ряд горизонтов, среди которых нижние приобретают характер напорных вод. Благодаря подпору со стороны Туябугузского водохранилища горизонты напорных вод устанавливаются на одном уровне с грунтовыми. Именно этим объясняется постоянный приток вод в водохранилище.

Годовое значение грунтового притока вод пропорционально стоку р. Ахангаран и изменяется от 160 до 280 млн м³ при стоке реки в 300—600 млн м³.

Результирующая взаимодействия поверхностных и подземных вод имеет меньшие значения в весенний период, когда происходит наполнение внутригалечниковых емкостей поймы, регулирующих емкостей и отток воды в берега водохранилища. На спаде половодья эта величина возрастает за счет оттока из галечниковых емкостей и постоянно действующего подруслового потока [113].

При окончании половодья, когда поверхностный сток отсутствует, отмечается в начале небольшой рост, а затем плавное уменьшение грунтовой составляющей, продолжающееся вплоть до следующего паводка. Суточные колебания грунтового

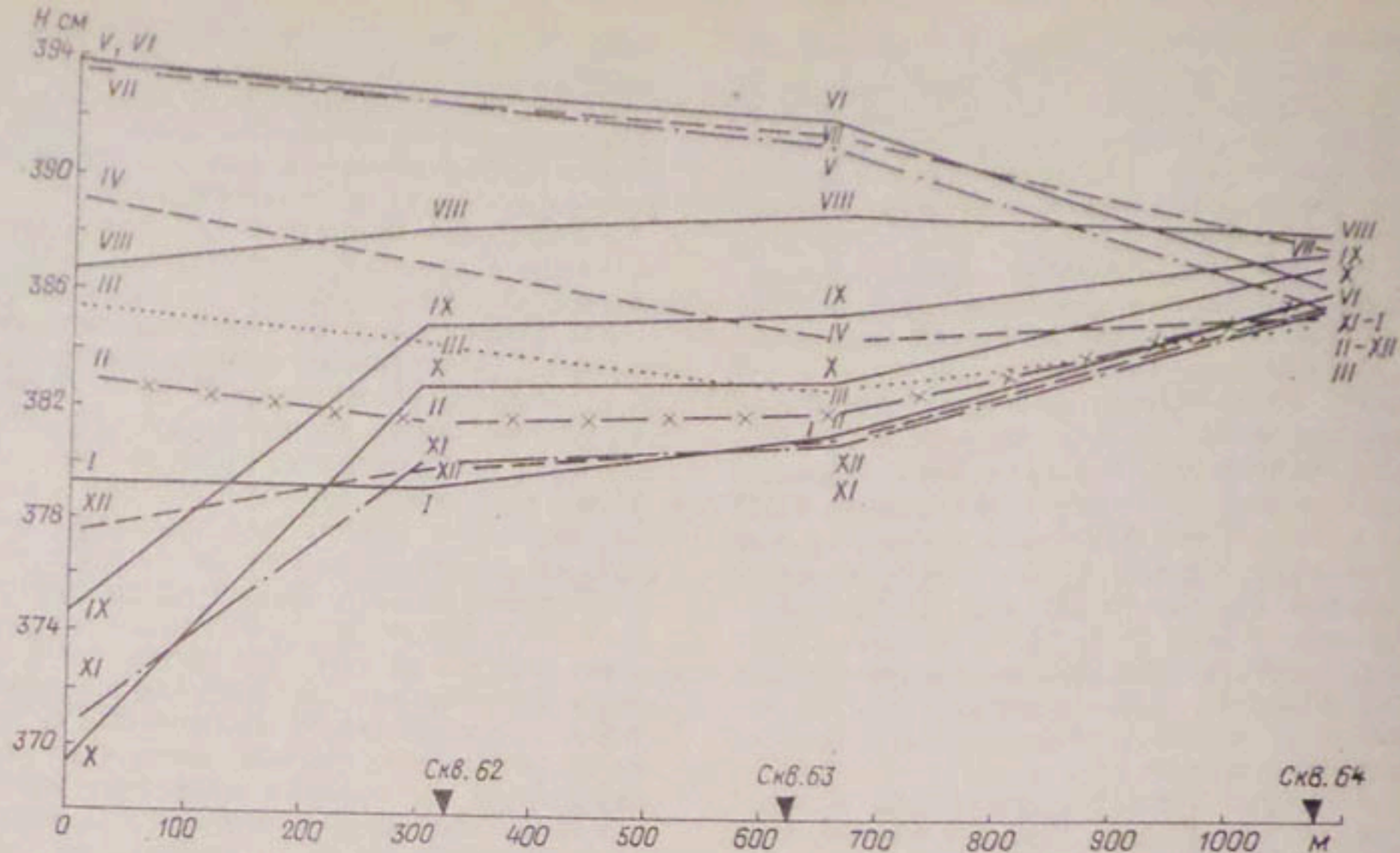


Рис. 4.4. Внутригодовой ход уровня воды в водохранилище и скважинах гидрологического разреза левобережья Туябугузского водохранилища.
I—XII — месяцы.

притока воды могут составлять 0,04—0,8 млн м³ при его суммарных декадных значениях 7—10 млн м³, особенно в августе — ноябре. Гидрограф грунтового стока имеет плавный ход, однако в период прохождения паводков выделить грунтовый приток в явном виде весьма сложно, так как резкое увеличение расходов воды сопровождается сменой знака невязок и потери в русле превышают грунтовый приток в водохранилище (рис. 4.5).

Характерной особенностью периода половодья является возрастание интенсивности потерь воды с увеличением ее расходов. Однако при наполнении регулирующих галечниковых емкостей до 20—

30 млн м³, даже в условиях постоянно высоких расходов воды р. Ахангаран, значение невязки меняется, и грунтовый приток превышает потери воды. Сток, сформированный в бассейне реки, как бы проваливается в галечник, образуя быстрый подземный сток. Даже когда поверхностного притока в створе Дюкера не наблюдается, примерно 8—10 м³/с воды подрусловым путем поступает в водохранилище. Пропускная способность галечниковой толщи в районе створа составляет 10 м³/с, и при возрастании объема притока его избыток поступает поверхностным путем. В период прохождения паводка подрусловый приток примерно такой же, однако рез-

Водный баланс Туябугузского водохранилища за 1967—1985 гг., млн м³

Таблица 4.29

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Приток													
поверхностный	11,0	13,2	67,4	212	240	69,5	10,9	4,2	7,6	12,4	18,2	20,7	687,1
подземный	14,0	11,0	7,0	0,0	0,0	0,0	20,0	24,0	30,0	28,0	20,0	16,0	170,0
Осадки на водную поверхность	0,5	0,5	0,8	0,9	0,6	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	4,2
Итого	25,5	24,7	75,2	212,9	240,6	69,6	30,9	28,2	37,7	40,6	38,4	37,0	861,3
Расход													
Отток													
поверхностный	10,8	8,9	44,9	170	207	93,1	90,2	103	45,9	34,9	21,5	18,0	848,2
подземный	0,0	0,0	0,0	3,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0
Испарение с водной поверхности	0,2	0,1	0,2	0,9	2,0	2,5	2,6	4,5	0,7	0,4	0,3	0,2	14,6
Итого	11,0	9,0	45,1	173,9	217	95,6	92,8	107,5	46,6	35,3	21,8	18,2	873,8
Изменение запасов воды	15,5	16,6	30,5	38,4	-21,4	26,4	-62,2	-77,6	-10,1	5,9	15,6	17,7	-14,7
Невязка													
млн м ³	-1,0	-0,9	-0,4	0,6	2,2	0,4	0,3	-1,7	1,2	-0,6	1,0	1,1	2,2
%	3,9	3,6	0,5	0,3	0,9	0,4	0,3	1,6	2,6	1,5	2,6	2,9	0,2

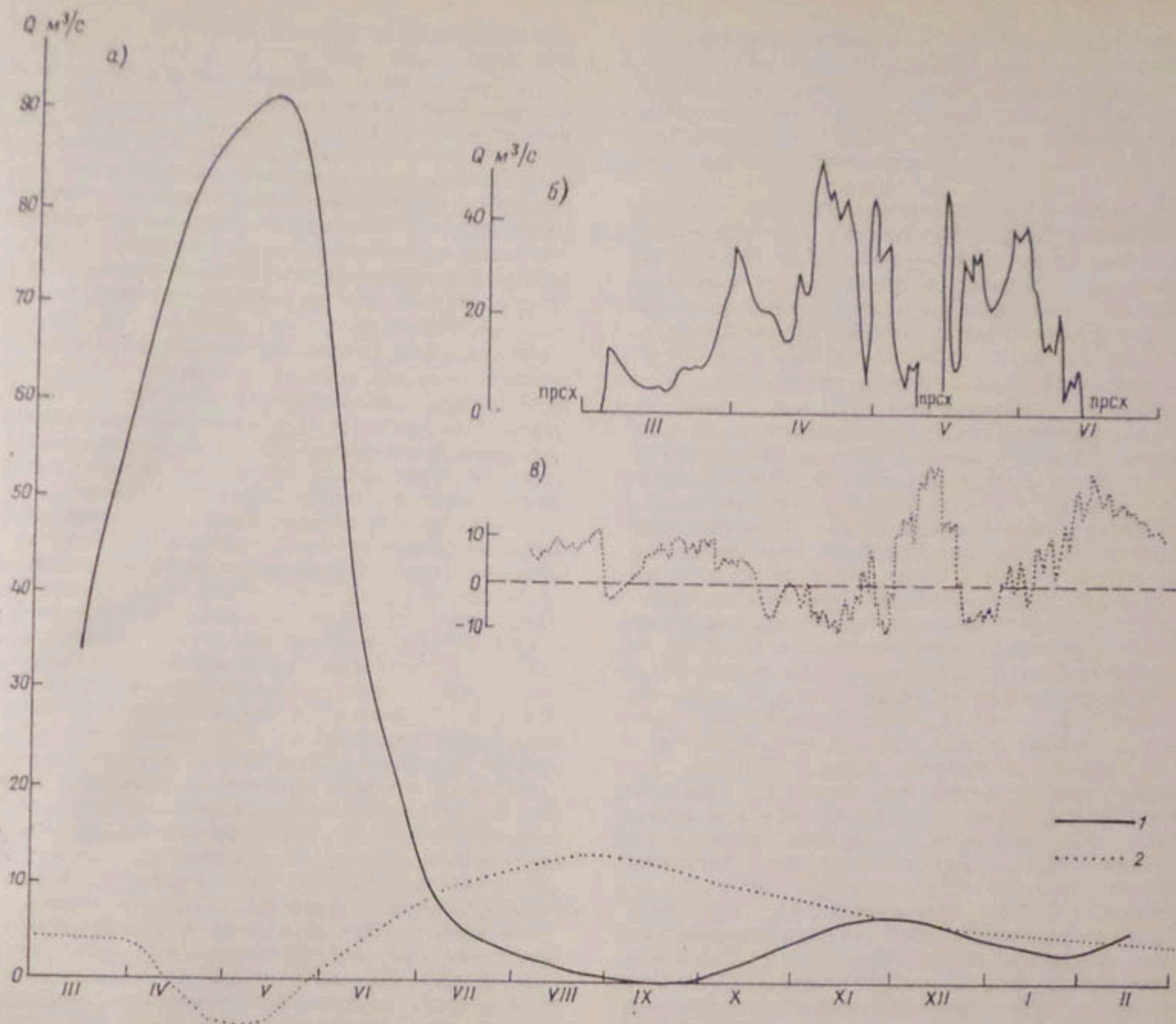


Рис. 4.5. Гидрограф стока р. Ахангаран и результирующей дополнительного притока в Туябугузское водохранилище. а — средние многолетние значения, б — паводковый период 1975 г., г — невязка суточных балансов, 1975 г. 1 — приток из р. Ахангаран, 2 — подземный приток.

кий подъем воды в реке приводит к ее потерям на заполнение галечниковых террас и суммарный знак невязок становится положительным. Эти емкости невелики, и с прекращением роста уровня воды в реке невязки становятся отрицательными. Каждый значительный и продолжительный подъем уровня воды в реке сопровождается увеличением ее потерь. На спаде паводка происходит опорожнение временно заполненных емкостей, и грунтовый приток опять возрастает.

В упрощенном виде для определения грунтового притока воды в водохранилище возможно также использование зависимости объема грунтовой составляющей от уровня воды в водохранилище, построенной по скользящим трехлетиям (рис. 4.6). При этом грунтовая составляющая измеряется как остаточный член водного баланса. Водный баланс водохранилища за период с 1964 по 1985 гг. приводится в табл. 4.29.

Чарвакское водохранилище. Расположено в Бричмулинской котловине при слиянии рек Пскем и Чаткал, является долинным русловым водохрани-

лищем и осуществляет сезонное регулирование стока р. Чирчик. Основное значение водохранилища объемом в 2006 млн m^3 заключается в перерегулировании стока для комплексного использования

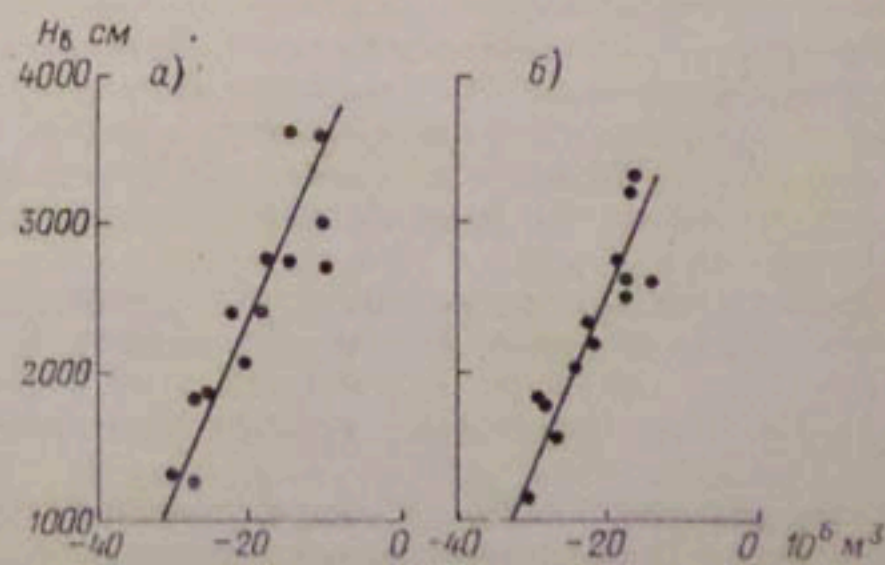


Рис. 4.6. Зависимости подземного притока от наполнения Туябугузского водохранилища по скользящим трехлетиям.

а — 1981—1983 гг., б — 1982—1984 гг.

водных ресурсов бассейна, а именно, в повышении водообеспеченности орошаемых территорий Ташкентского оазиса на площади в 164 тыс. га, целей гидроэнергетики и покрытия пиковых нагрузок в энергетической сети Ташкентского экономического района, а также водоснабжения городов Ташкент и Чирчик.

В состав основных сооружений гидроузла входят каменно-набросная плотина высотой 168 м, строительство которой было начато в 1963 г. и закончено в 1977 г., катастрофический водосброс шахтный и ГЭС общей мощностью в 600 тыс. кВт.

Сток с водосборного бассейна Чарвакского водохранилища формируется на площади в 10 000 км², охватывающей горную область системы Таласского Алатау с его юго-западными отрогами. Режим этого стока определяется высотным положением водосборов (900—4500 м над ур. м) ориентацией основных хребтов и гидрометеорологическими процессами, происходящими в Западном Тянь-Шане.

Приток поверхностных вод в водохранилище осуществляется по трем основным водотокам — рекам Чаткал, Пскем и Коксу, относящимся к рекам снегово-ледникового питания. Сток по этим рекам составляет 96 % годового притока воды в водохранилище и учитывается гидрометрическим путем на гидрологических постах Госкомгидромета СССР р. Чаткал выше устья р. Худайдодсай, площадь водосбора — 6580 км², р. Пскем у с. Муллала, площадь водосбора — 2540 км², что составляет более 91 % общей водосборной площади бассейна. Согласно анализу материалов по расчету стока на этих створах, точность учета притока в водохранилище по основным рекам следует оценить в 3—4 % при среднем многолетнем значении основного притока воды в водохранилище 172,1 м³/с.

Бассейн р. Коксу (площадь 372 км²) имеет юго-западную ориентацию, доступен влагонесущим массам и его средний многолетний расход воды оценивается в 12 м³/с. В 1931—1944 и 1949—1977 гг. сток воды по р. Коксу учитывался гидрометрическим путем на гидрологическом посту Бурчмулла, однако вследствие заполнения Чарвакского водохранилища он был закрыт. В настоящее время определение притока воды по р. Коксу осуществляется по зависимости с рекой-аналогом р. Ахангаран у гидрологического поста Иерташ [98].

Помимо основных водотоков, в Чарвакское водохранилище впадает около двух десятков малых рек и саев с общей водосборной площадью 510 км². К наиболее крупным из них относятся Авлиянсая, Шакрамсая, Кайнарсая, Сыджаксая, Наувалисая, Богустансая, Янгикурбан, Чимгансая, Ишаккупрюксая и т. д. Это — водотоки с низкими водосборами ($H_{\text{ср}} = 1500—1700$ м), получающие питание за счет таяния сезонных снегов и дренирования руслами грунтовых вод.

Боковой приток воды учитывается гидрометрическим путем на реках Янгикурбан у кишла. Янгикурбан ($F = 33,7$ км²); Наувалисая у с. Сиджак ($F = 101$ км²) и Чимгансая у курорта Чимган ($F = 23,3$ км²).

Сток водосбора в 265 км² не учитывается гидрометрическим путем и определяется по модулю стока с карты, составленной И. Р. Алимухамедовым [98]. В качестве аналога внутригодового распределения принималось распределение стока воды рек Янгикурбан и Наувалисая. Оцененный таким обра-

зом объем средней боковой приточности, не учтенной гидрометрическим путем, составил 167 млн м³, а общий боковой приток с учетом рек Наувалисая, Янгикурбан и Чимгансая оценивается в 247,6 млн м³. В отдельные месяцы боковая приточность может достигать 10—15 % суммы приходных статей водного баланса, а ее недоучет может сказаться на точности расчетов, особенно в период весеннего снеготаяния в низкогорной зоне (март — апрель).

Осадки на водную поверхность Чарвакского водохранилища фиксируются метеостанцией Юсупхана, расположенной на левом берегу центрального плеса водоема.

Данные наблюдений достаточно хорошо характеризуют выпадающие на акваторию осадки, так как площадь водного зеркала мала ($f = 40,1$ км²). Осадки не являются сколь-нибудь существенным элементом приходных статей водного баланса и оцениваются в менее 1 % приходной части. Среднее годовое значение осадков составляет 856 мм.

Отток воды из водохранилища осуществляется в нижний бьеф плотины Чарвакской ГЭС через турбины, катастрофический сброс и фильтрационным путем сквозь и в обход плотины. Учет суммарного стока гидрометрическим путем до 1977 г. осуществлялся на гидрометрическом створе р. Чирчик у г. Ходжикента, расположенном в 3,5 км ниже плотины. Однако с пуском в эксплуатацию Ходжикентской ГЭС он оказался в зоне подпора и в настоящее время наблюдения за стоком перенесены в нижний бьеф Газалкентской ГЭС. На этом участке р. Чирчик принимает ряд притоков, наиболее крупным из которых является р. Угам, сток с водосборного бассейна которого фиксируется гидрометрическим постом Ходжикент. Боковая приточность по мелким саям на участке от Чарвакской плотины до гидрометрического створа Газалкент в связи с ее незначительностью в водный баланс не включалась. Водохранилища Ходжикентской и Газалкентской ГЭС объемом 70 млн м³ являются бассейнами суточного регулирования, а их наибольший суточный объем транзитного стока оценивается в 120 млн м³, и при расчете суточных водных балансов необходимо оценивать возможную аккумуляцию стока воды в условиях суточного регулирования при работе ГЭС в пиковом режиме.

Отток воды через сбросные сооружения гидроузла составляет более 85 % суммы расходных статей месячных водных балансов и более 95 % годовых. Согласно анализу материалов по обработке данных о стоке воды точность его учета в нижнем бьефе, определяемого гидрометрическим путем, оценивается в 3—4 %.

Испарение с водной поверхности Чарвакского водохранилища было рассчитано по данным наблюдений метеостанции и озерного гидрометрического поста Юсупхана по формуле (3) [140].

Безвозвратные потери воды на испарение с акватории Чарвакского водохранилища в условиях нормальной эксплуатации составляют около 30 млн м³, или 0,5 % суммы расходных статей водного баланса. Как показывают исследования различных авторов [86, 119] погрешность в расчетах испарения в условиях Средней Азии может быть оценена в 15—20 %, а их относительная погрешность при определении средних месячных значений площадей зеркала в водном балансе водохранилища с погрешностью 1—2 % и с учетом удельного веса

испарения в расходных статьях баланса составляет 0,1 %.

Грунтовый приток воды на отдельных участках осуществляется по контуру водохранилища, а отток — путем фильтрации под основанием и сквозь тело плотины.

В зоне водохранилища развиты следующие виды подземных вод: трещинно-карстовые в палеозойских породах, трещинные в зоне тектонических разрушений, межпластовые в мезо-кайнозойских породах, грунтовые в четвертичных галечниках и покровных лёссовидных породах.

Основными водонесущими породами являются лёссовые, грунтовые воды которых могут разгружаться непосредственно в водохранилище. Фильтрационные способности лёссовых пород района водохранилища колеблются от 0,002 до 0,436 м/сут с общим дебитом до 3 дм³/с на погонный километр длины. Оценивая возможный периметр притока грунтовых вод в 30—35 км, следует сказать, что грунтовый приток воды в водохранилище исключительно мал и составляет лишь 0,05 % суммы приходных статей водного баланса и в него не включен.

В то же время фильтрация воды составляет в среднем около 1 м³/с, колеблясь от 0,2 до 2 м³/с в зависимости от статического напора в верхнем бьефе Чарвакской плотины.

Однако при использовании в расчетах водного баланса данных по учету стока воды на гидрометрическом створе Газалкент, фильтрация учитывается суммарно со стоком воды через турбины ГЭС и водосбросы и в балансе не фигурирует.

Точность расчета изменения запасов воды определяется относительной погрешностью измерения уровня воды и построения зависимости $W = f(H)$. Погрешность определения уровня воды складывается из инструментальной и динамической ошибок. Ошибка наблюдения уровня воды на посту [89] оценивается в ± 1 см. Динамическая ошибка, вызванная девиацией уровня воды за счет действия ветра, при длине разгона воздушных масс до 5—10 км в результате сгонно-нагонных явлений может составить $\pm 2—3$ см. Наблюдения за уровнем воды на Чарвакском водохранилище с 1977 г. ведутся на двух постах — в приплотинной зоне эксплуатационной гидрометрической службой ГЭС и в районе с. Юсупхана на ОГП Узгидромета.

Ошибка определения изменения объема воды водохранилища обусловлена именно погрешностью расчета среднего уровня водохранилища, так как погрешность определения площади водного зеркала равна 1—2 %, что ничтожно мало (0,4—0,8 км²). Относительная ошибка в определении значения ΔW по зависимости $W = f(H)$ для месячного интервала времени составляет $\pm 1,6$ %.

На основе вышеизложенных методов и расчетов компонентов водного баланса были составлены месячные и годовые балансы Чарвакского водохранилища за период нормальной эксплуатации (1979—1985 гг.), а также за маловодный (1982) и многоводный (1979) годы (табл. 4.30—4.32).

Ортокойское водохранилище. Расположено в бассейне р. Чу на высоте 1762 м на границе Иссык-Кульской и Нарынской областей Киргизской ССР в 10 км на северо-восток от с. Кочкорка.

Долина р. Чу на участке водохранилища расширяется, образуя тектоническую впадину, к кото-

рой и приурочена чаша водохранилища. Котловинное долинное русловое водохранилище осуществляет сезонное регулирование стока и позволяет повысить водообеспеченность оросительных систем в среднем течении р. Чу и прирост зон орошения на площади более 100 тыс. га.

В состав гидротехнических сооружений входят насыпная плотина высотой 52 м, в правом крыле которой при сопряжении с бортом долины в скальных породах расположен тоннельный водовыпуск, и открытый катастрофический сброс. Плотина длиной 365 м и шириной 60 м сложена однородным щебенчатым грунтом и имеет в плане вогнутую форму в чашу водохранилища.

В первые годы эксплуатации водохранилища имела место значительная фильтрация через тело плотины и ее основание. Для сокращения фильтрации в 1962 г. в теле плотины сделана противофильтрационная завеса инъекций глиноцементного раствора в скважины, расположенные в два ряда по гребню плотины. Инъекционные колонны в основании плотины доведены до коренных пород на глубине 30 м.

Наполнение водохранилища было начато в 1956 г., осуществлялось поэтапно. Впервые наполнено до НПУ в 1967 г. В режиме водохранилища отмечается период весенне-зимнего наполнения (октябрь — апрель) и летний — вегетационной сработки (май — сентябрь).

Основной приток воды в водохранилище происходит по р. Чу (ледниково-снегового питания) с площадью водосбора 6000 км². Основной приток учитывается гидрометрическим путем на гидрологическом посту Кочкорка, расположенном в 10 км выше водохранилища и замыкающем водосборную площадь в 5370 км².

Боковой приток воды в водохранилище осуществляется с площади водосбора 630 км² и может быть оценен в 2 м³/с, что составляет 10 % годового стока р. Чу. В связи с тем что для Ортокойского водохранилища рассчитывались годовые водные балансы, а боковой приток составляет 10 % годового объема стока р. Чу, его значение было введено в расчет водного баланса с учетом водности года.

Поскольку непосредственно на водохранилище нет осадкомерного поста, осадки на водную поверхность водохранилища были оценены по данным осадкомерных пунктов на МС Рыбачье и МС Кочкорка.

Отток воды из водохранилища осуществляется через эксплуатационный, пробитый в скале, туннель длиной 566 м и пропускной способностью 165 м³/с. Отток определяется гидрометрическим путем на гидрологическом посту Орто-Токой.

В связи со значительной высотой расположения водохранилища, малой площадью водной поверхности и как следствие этого малыми объемами испарения (менее 1 % суммы расходных статей водного баланса) этот компонент в расчет водного баланса не вводился.

Изменение запасов воды было оценено по данным наблюдений за уровнем воды эксплуатационной гидрометрической службой водохранилища с использованием зависимости объемов от уровня воды по промерам 1978 г.

Годовые водные балансы рассчитаны за период нормальной эксплуатации с 1967 по 1985 г. (табл. 4.33).

Водный баланс Чарвакского водохранилища за 1979—1985 гг., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток													
основной	144,7	128,0	164,7	511,6	954,4	1190,1	954,4	519,9	283,1	213,7	175,6	157,7	5398,2
боковой	5,3	5,4	9,3	22,1	24,0	15,7	10,8	8,3	6,7	6,3	5,7	5,8	125,4
рассчитанный	8,6	9,6	15,8	50,6	75,8	71,9	45,2	24,3	16,2	14,9	12,9	10,6	356,4
Осадки на водную поверхность	2,2	2,0	2,3	2,3	1,9	0,7	0,2	0,2	0,3	1,2	2,0	1,5	16,8
Итого	160,8	145,0	192,1	586,6	1056,4	1278,4	1010,6	552,7	306,3	236,1	196,2	175,6	5896,8
Расход													
Поверхностный отток	225,7	217,0	230,6	257,0	657,9	1031,4	1239,9	930,6	378,3	238,4	199,3	208,0	5814,1
Испарение с водной поверхности	1,6	1,1	0,8	0,9	2,5	4,0	5,0	4,4	3,0	2,5	2,2	2,0	30,0
Итого	227,3	218,1	231,4	257,9	660,4	1035,4	1244,9	935,0	381,3	240,9	201,5	210,0	5844,1
Изменение запасов воды	-64,0	-75,6	-37,0	345,4	353,6	197,2	-272,0	-400,0	-70,0	-9,5	-2,0	-32,7	-66,6
Невязка													
млн м ³	-2,5	2,5	-2,3	-16,7	42,4	45,8	37,7	17,7	-5,0	4,7	-3,3	-1,7	119,3
%	1	1	1	3	4	4	3	2	1	2	1	1	2

Таблица 4.31

Водный баланс Чарвакского водохранилища за 1979 г., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток													
основной	173	151	188	852	1200	1790	1530	718	338	244	191	172	7547
боковой	7,10	8,25	11,3	36,1	32,4	22,8	16,0	12,4	9,69	7,91	5,89	6,18	176,01
(р. Наувалисай и др.)	12,0	16,4	18,7	75,2	102	117	83,0	34,8	21,0	17,4	10,9	11,2	519,6
рассчитанный													
Осадки на водную поверхность	5,58	2,32	1,26	5,93	1,65	0,62	0,00	0,00	0,22	2,34	0,85	5,11	25,88
Итого	197,68	177,97	219,26	969,23	1336,05	1930,42	1629,0	765,2	368,9	271,65	208,64	194,49	8268,49
Расход													
Поверхностный отток	458	457	487	402	1030	1780	1520	1150	521	268	262	343	8678
Испарение с водной поверхности	2,27	1,37	0,95	0,24	1,66	2,61	4,22	4,81	3,54	3,35	3,75	3,05	31,82
Итого	460,27	458,37	487,95	402,24	1031,66	1782,61	1524,22	1154,81	524,54	271,35	265,75	346,05	8709,82
Изменение запасов воды	-257,60	-278,00	-255,30	615,0	353,6	194,00	135,20	-366,00	-119,0	50,80	-31,20	-132,90	-91,40
Невязка													
млн м ³	-4,99	-2,40	-13,39	-48,01	-49,21	-46,19	-30,42	-23,61	-36,64	-5,05	-25,91	-18,66	-349,93
%	1	1	3	5	4	2	2	2	7	2	10	5	4

Таблица 4.32

Водный баланс Чарвакского водохранилища за 1982 г., млн м³

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приход													
Поверхностный приток													
основной	133	114	134	402	720	537	471	371	218	207	179	154	3640
боковой	4,77	4,18	6,08	16,4	17,7	9,74	6,75	5,25	4,97	5,83	5,29	4,80	91,76
рассчитанный	8,57	6,77	12,8	40,2	49,5	42,8	22,8	17,4	15,6	20,9	20,0	12,8	270,14
Осадки на водную поверхность	1,72	2,32	3,32	0,60	0,82	0,51	0,18	0,00	0,52	1,32	0,82	0,51	12,64
Итого	148,06	127,27	156,20	459,20	788,02	590,05	500,73	393,65	239,09	235,05	205,11	172,11	4114,54
Расход													
Поверхностный отток	224	219	289	313	748	778	769	517	243	174	175	194	4637
Испарение с водной поверхности	2,26	1,53	0,83	1,44	3,82	5,00	2,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	18,54
Итого	226,26	220,53	289,83	314,44	751,82	783,00	771,91	517,00	243,00	174,00	175,00	194,75	4655,54
Изменение запасов воды	-77,20	-84,50	-130,50	152,10	0,50	-211,70	-319,20	-124,30	0,00	74,60	31,00	-27,80	-717,00
Невязка													
млн м ³	-1,00	-8,76	-3,13	-7,34	35,70	24,75	48,02	0,95	-13,55	0,89	5,16	5,16	76,0
%	0,4	4	1	2	5	3	6	0,2	6	0,4	2,5	3	2

Таблица 4.33

Водный баланс Ортотокской водохранилища, млн м³

Год	Приток		Осадки	Сумма	Отток	Изменение запасов воды	Невязка	
	основной	боковой					млн м ³	%
1967	811	63	2	876	983	116	9	1
1968	929	72	3	1004	966	3,30	34,7	3
1969	1002	78	3	1083	983	74,6	25,4	2
1970	939	73	3	1015	1002	-1,50	14,5	1
1971	879	69	2	950	1078	-87,5	-40,5	4
1972	763	59	2	824	827	-17,5	14,5	2
1973	919	72	2	993	972	13,0	8,0	1
1974	897	54	3	954	816	-42,2	-19,8	2
1975	659	51	1	711	750	-19,9	-19,1	2
1976	683	53	2	738	651	39,5	47,5	6
1977	759	59	2	820	785	-5,80	40,8	5
1978	757	59	2	818	738	19,3	60,7	7
1979	749	58	2	809	830	36,2	-57,2	7
1980	699	54	2	755	793	-37,3	-0,7	0
1981	909	72	5	986	858	88,4	39,6	4
1982	667	52	1	720	782	-97,9	35,9	5
1983	792	62	3	857	904	29,3	-76,3	8
1984	639	50	2	691	868	-22,7	-54,3	6
1985	648	51	2	701	710	12,1	-72,1	3
Среднее	780	63	2	848	861	-12,2	-0,8	0

Кировское водохранилище. Расположено в бассейне р. Талас в 40 км на запад от г. Талас на территории Таласской области Киргизской ССР. Чаша водохранилища занимает часть обширной Таласской долины, которая в северо-западной части на участке водохранилища переходит в узкое скальное ущелье. Водохранилище образовано плотинной консольного типа высотой 83,7 м, за которой удерживается 550 млн м³ воды.

Русловое котловинное долинное водохранилище осуществляет сезонное регулирование стока в основном для орошения сельскохозяйственных угодий Южного Казахстана. Наполнение водохранилища было начато в 1975 г. В его режиме ежегодно наблюдается фаза наполнения (сентябрь — апрель) и фаза сработки (июнь — август). Следует отметить, что водохранилище до НПУ наполнено не было.

Приток воды в Кировское водохранилище формируется на площади водосбора в 7940 км² и составляет 1212 млн м³. Основной приток воды в водохранилище осуществляется по р. Талас и измеряется гидрометрическим путем на гидрологическом посту Ключевка. Помимо основного, наблюдается боковой приток по более мелким речкам и родникам: р. Бейкеше у клх Бейшеке, р. Карабура у клх им. Кирова, Бакиянские родники у с. Бакиян, Чимкентские родники у устья, Кировские родники у устья.

Сток по р. Талас ледниково-снегового питания составляет более 99 % суммы приходных статей водного баланса и оценивается с точностью 5—7 %.

Осадки на водную поверхность водохранилища рассчитаны по данным осадкомерного пункта ОС Кировская. Годовая сумма осадков составляет 313 мм. При этом основной слой осадков выпадает в весенне-летние месяцы (174 мм).

Отток воды из водохранилища определен по данным учета стока на ведомственном гидрометрическом створе Управления эксплуатации водохранилища.

Испарение с водной поверхности рассчитано по формуле ГГИ с привлечением материалов наблюде-

ний на озерном гидрологическом посту Киргизгидромета. Испарение не играет сколько-нибудь существенную роль в водном балансе водохранилища и не превышает 1 % объема поступления.

Изменение объема воды в чаше водохранилища определено по данным уровенных наблюдений из ОГП Верхний бьеф и ОГП с. Кировское с использованием проектной зависимости $W = f(H)$.

Годовые водные балансы за период с 1978 по 1985 гг. приведены в табл. 4.34.

Таблица 4.34

Водный баланс Кировского водохранилища, млн м³

Год	Приток	Осадки	Сумма	Отток	Испарение	Сумма	Изменение запасов воды	Невязка	
								млн м ³	%
1978	739	4	743	778			-58,0	-23	3
1979	954	5	959	857			147	-45	5
1980	663	5	668	822			-143	-11	1
1981	937	4	941	833	6	839	93	9	1
1982	555	2	557	716	5	721	-126	-38	5
1983	910	3	913	880	9	889	33	-9	1
1984	780	3	783	820	5	825	-41	-1	0
1985	644	4	648	743	4	747	-77	-22	3
Среднее	773	4	777	806	6	812	-22	-13	2

Копетдагское водохранилище. Расположено в концевой зоне Каракумского канала в 35 км на юго-восток от пгт Бахарден на территории Ашхабадской области Туркменской ССР. Котловинное русловое водохранилище осуществляет сезонное регулирование стока воды в нижнем течении Каракумского канала. Под чашу водохранилища использовано естественное понижение на пролювиальной предгорной равнине, оконтуренное на севере и северо-западе дамбой обвалования и вододерживающей плотинной с шахтным водовыпуском.

Строительство гидроузла и дамбы осуществлялось в два этапа. С 1976 г. водохранилище эксплуатировалось при объеме 218 млн м³, а его наполнение осуществлялось по подводящему каналу. Второй этап строительства водохранилища с объемом 550 млн м³ был начат в 1985 г. Вода стала поступать в водохранилище непосредственно по Каракумскому каналу. Таким образом водохранилище эксплуатируется как русловый водоем. Учет притока воды в водохранилище осуществляется органами эксплуатационной гидрометрии Главкаракумстроя на посту 837-й км Каракумского канала.

Осадки на водную поверхность водохранилища рассчитывались по данным метеостанций Ашхабад и Бахарден, расположенных соответственно в 70 км на юго-восток и в 35 км на северо-запад от него. Осадки оцениваются в 200—250 мм и составляют 5 % суммы приходных статей водного баланса.

Забор воды из водохранилища осуществляется через шахтный водовыпуск в русло Каракумского канала пропускной способностью на этом участке до 60 м³/с. Учет стока в нижнем бьефе водохранилища осуществляется на гидрометрическом створе Туркменгидромета — 851-й км. Русло канала на участке имеет корытообразную форму шириной до 30 м. Дно — илистое, зарастает водной растительностью. Точность подсчета стока оценивается в 3—5 %.

Испарение с водной поверхности рассчитывалось по данным наблюдений на испарительной

площади метеостанции Ашхабад с введением редуцированного коэффициента, равного 0,75, на показания испарителя ГГИ-3000. Испарение сокращает водные запасы водохранилища для среднего по водности года на 10 %.

В связи с отсутствием гидрогеологических наблюдений фильтрация воды из водохранилища не определялась.

Изменение запасов воды Копетдагского водохранилища рассчитано по данным уроченных наблюдений на озере гидрологическом посту Туркменгидромета с использованием проектных зависимостей $W = f(H)$. Годовые водные балансы водохранилища с 1979 по 1985 г. приведены в табл. 4.35.

Таблица 4.35
Водный баланс Копетдагского водохранилища, млн м³

Год	Приход			Расход			Изменение запаса воды	Баланс	
	Приток	Осадки	Сумма	Отток	Испарение	Сумма		млн м ³	%
1979	302	8,4	310	221	48,9	270	22,5	17,5	6
1980	302	7,3	309	296	47,0	343	-30,0	-4,6	1
1981	382	8,3	390	338	46,2	384	28,4	-22,4	6
1982	480	5,5	486	387	45,1	432	62,6	-8,6	3
1983	574	4,4	578	478	39,6	518	-4,1	56,9	10
1984	532	6,9	539	570	36,1	606	12,8	-79,8	13
1985	551	5,2	556	539	61,7	601	-23,8	-21,2	4
Среднее	446	6,6	453	404	46,4	450	9,8	-5,8	1

ГЛАВА 5. ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

В зависимости от поступления и потерь тепла через водную поверхность и ложе, перераспределения тепла в водоеме вследствие динамических процессов и режима эксплуатации термический режим водохранилищ Средней Азии характеризуется наличием периодов весенне-летнего нагревания, летне-осеннего охлаждения и осенне-зимнего минимума.

При общности основных черт термического режима водохранилищ, который формируется под воздействием ряда факторов, в первую очередь климатических, определяемых широтным и высотным положением водоемов, весьма существенные различия вносят особенности морфологического строения чаш водохранилищ, характер их наполнения и сработки, водообмен, а также динамические факторы — ветровое волнение и течения. Эти факторы сказываются в сроках наступления и продолжительности циклов годового теплообмена и в особенностях распределения температуры воды по акватории и в чаше водохранилищ.

Термический режим среднеазиатских водохранилищ может быть охарактеризован лишь по небольшому числу водоемов, на которых существует сеть озерных гидрологических постов и станций Госкомгидромета СССР. Сведения о средних, наибольших и наименьших за период наблюдений месячных значениях температуры воды прибрежной зоны, о датах ее перехода через 0, 2, 4 и 10 °C, а также о высшей температуре за год за период наблюдений по 1985 г. приводятся в табл. 5.1.

ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

По термической классификации Ф. Фореля, водохранилища Средней Азии относятся к водоемам умеренного типа со значительным внутригодовым диапазоном колебания температуры воды (0—36 °C) [24]. Об идентичности внутригодового хода температур воды прибрежных зон водохранилищ свидетельствует рис. 5.1, который также указывает на различия в максимальном прогреве водохранилищ в зависимости от их широтного и высотного положения и морфометрических показателей котловин.

С наступлением минимума теплозапасов и момента начала устойчивого положительного суточного теплового баланса в годовом термическом цикле водохранилищ начинается период весеннего нагревания. Этот период годового теплообмена характеризуется прогревом водной массы и совпадает с периодом наполнения водохранилищ, т. е. рез-

ким увеличением объема и площади водной поверхности.

При этом следует отметить, что наливные водохранилища (Учкуйзское, Каттакурганское, Куюмазарское, Хауз-Ханское в период весеннего нагревания уже значительно наполнены (до 80—90 % своего объема), в то время как на русловых водохранилищах (Чимкурганское, Кайраккумское, Уртатокайское, Туябугузское, Чарвакское) наблюдается интенсивный рост их уровня воды, что во многом оказывает влияние на распределение температур по акватории.

Начало весеннего периода годового теплообмена приходится на конец января, февраль для равнинных водохранилищ и на март для предгорных

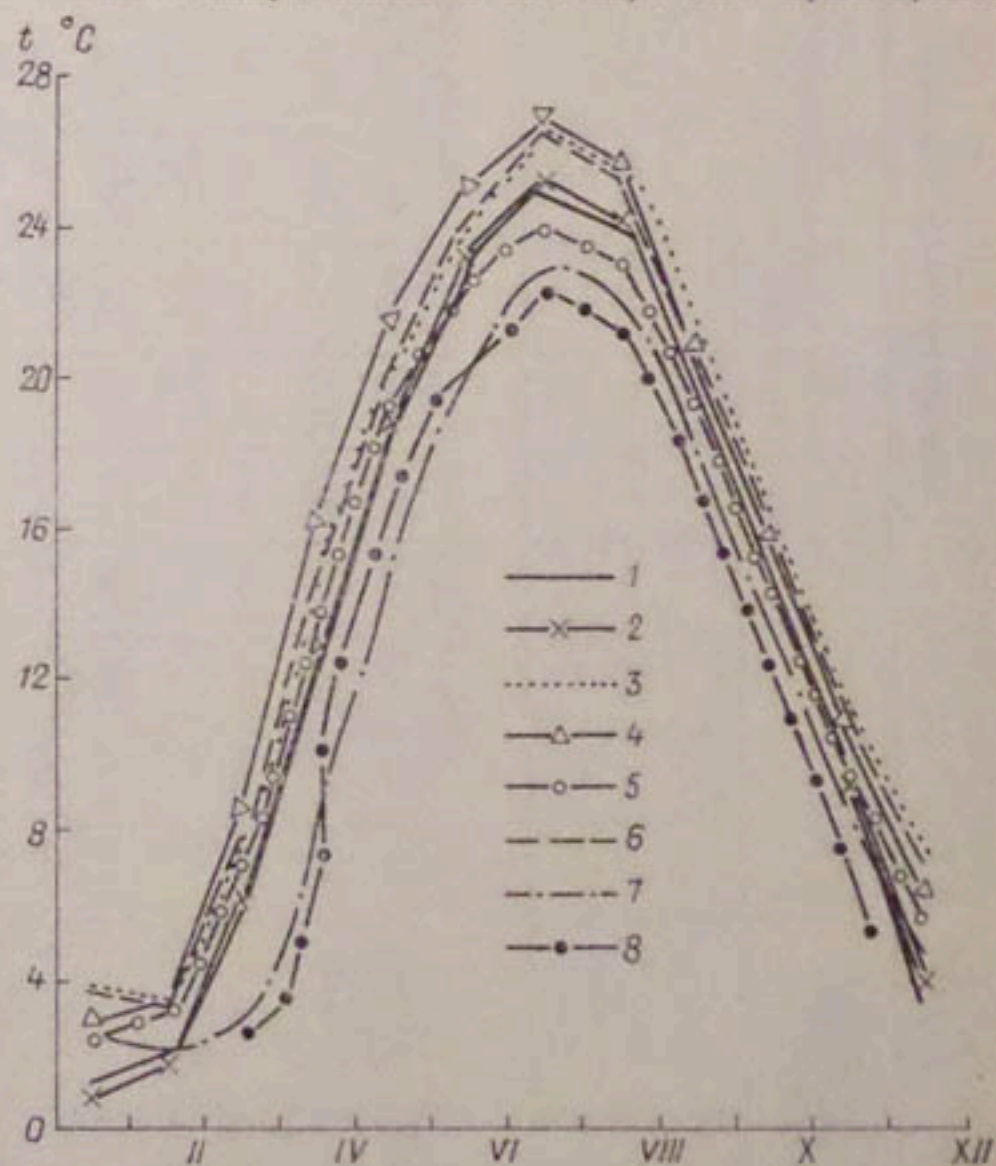


Рис. 5.1. Внутригодовой ход температуры воды (t) водохранилищ.

Водохранилища: 1 — Кайраккумское у кишла. Джиддалык, 2 — Кайраккумское у г. Кайраккум, 3 — Туябугузское, 4 — Чимкурганское, 5 — Каттакурганское, 6 — Куюмазарское, 7 — Чарвакское, 8 — Уртатокайское.

и «северных», таких, как Чарвакское, Уртатокайское, Бугуньское, и характеризуется началом прогрева воды, находящихся подо льдом водохранилищ, при этом прогрев осуществляется как за счет потока проникнувшей через лед солнечной радиации, так и за счет более теплых водных масс притоков, которые аккумулируются в это время в

Температура воды у берега

Характеристика	Дата перехода температуры воды весной через		Средняя месячная температура воды, T °C												Дата перехода температуры воды осенью через		Наивысшая температура воды из спонных наблюдений и ее дата	
	4 °C	10 °C	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	10 °C	4 °C	T °C дата	Дата средн. крайная
вдхр Кайраккумское — кишл. Джидалык. 1959—1985 гг.																		
Средняя	01.03 (89 %)	31.03 (89 %)	1,4	2,2	6,6	13,8	19,3	23,3	25,0	24,0	20,3	14,8	8,6	3,4	13,11 (70 %)	14,12 (85 %)	28,6	15.07 (74 %)
Наибольшая (ранняя)	30.01.66	18.03.62	3,6	6,2	10,1	15,9	20,8	25,0	27,1	25,8	22,8	16,1	11,9	6,7	01.11.64	17.11 1961	32,3 17.07.80	25.06.85
Год (% случаев)	23.03.72	16.04.60	1981	1966	1962	1977	1976	1977	1980	1979	1981	1966	1980	1971			26,6 09.07.72	18.08.79
Наименьшая (поздняя)			0	0	0	11,2	17,7	22,3	24,3	22,5	17,9	13,1	6,2	0,4	01,12 1980	05,01 1980		
Год (% случаев)			41 %	37 %	1969, 1972	1960	1960	1962	1959, 1985	1972	1962	1961	1982	1962				
вдхр Кайраккумское — г. Кайраккум. 1958—1985 гг.																		
Средняя	05.03	05.04	1,1	2,0	6,0	12,9	19,0	23,3	25,2	24,2	21,1	15,8	9,3	3,9	16,11	17,12	27,3	17.07
Наибольшая (ранняя)	03.02.66	25.03.58	3,6	5,9	9,4	15,5	20,5	25,3	26,5	25,6	22,5	18,0	12,2	7,9	27,10.75	15,11.75	28,4 15.07.83	26.06.77
Год (% случаев)	27.03.72	20.04.60	1981	1966	1958	1977	11 %	1977	1983	1966	1959	1979	1980	1971			25,5 22.07.71	16.08.75
Наименьшая (поздняя)			0	0	2,0	9,8	17,2	21,8	24,1	22,9	19,7	13,9	4,1	0	01,12.80	07,01.70		
Год (% случаев)			29 %	29 %	1972	1960	1979	1979	1959	1974	1976	1976	1975	11 %				
вдхр Ургатокайское — с. Ала-Бука. 1957—1985 гг.																		
Средняя	23.03 (93 %)	11.04			2,6	11,3	16,5	19,8	22,3	22,0	17,1	10,8	5,5		23,10 (76 %)	27,11 (86 %)	26,0	23.07
Наибольшая (ранняя)	04.03.58, 70	21.03.62			12,2	16,6	19,2	22,1	24,3	23,9	20,6	18,6	19,4	14,2	27,09.73	26,10.64	28,8 29.07.84	07.06.57
Год (% случаев)	13.04.79	06.05.79			1962	1967	1982	1961	1984	1983	1977	1977	1977	1977				
Наименьшая (поздняя)					0	1,7	14,1	17,1	19,9	19,6	14,0	5,4	0	0	10,12.77	07,01.70	22,5 07.09.69	07.09.69
Год (% случаев)					48 %	1979	1969	1960	1969	1969	1957	1964	14 %	66 %				
вдхр Туюбугузское — пгт Туюбугуз. 1964—1985 гг.																		
Средняя	26.02 (68 %)	02.03.70	3,9	3,7	7,9	15,2	20,3	24,0	26,6	25,7	20,9	16,1	11,5	7,6	30,11	10,01 (45 %)	28,6	25.07
Наибольшая (ранняя)	05.02.64		7,0	9,0	11,3	17,5	21,9	25,8	28,0	27,5	22,1	17,6	12,7	10,4	09,11.75	21,12.84	29,6 15.07.74, 12.07.81	08.07.72
Год (% случаев)	14.03.84	08.04.76	1970	1970	1964	1977	1980	1973, 1977	1984	1984	1966, 1978	1979	1980	1971				
Наименьшая (поздняя)			0	0	0	13,3	18,0	22,4	25,0	23,8	19,3	14,7	8,9	4,7	20,12.71	05,02.68	26,7 15.07.74, 12.07.81	14.08.66
Год (% случаев)			13 %	26 %	1972	1984	1966, 1979	1969	1972	1972	1973	1971	1975	1982, 1984			08.07.72	

		вдхр Чимкурганское — плотина. 1962—1985 гг.																
Средняя		20.02 (83 %)	24.03 (96 %)	3.0	3.4	8.6	16.2	21.7	25.1	26.8	25.7	20.9	15.9	10.7	24.11 (96 %)	02.01 (83 %)	29.6	16.07
Наибольшая (ранняя)		15.01.63	25.02.62	5.9	8.3	13.3	18.5	23.3	26.9	28.4	26.7	23.1	17.9	12.4	04.11.75	11.12.82	32.6	21.06.70, 77
Год (% случаев)				1970	1966	1962	1970, 1977	1965	1977	1973	1984	1979	1978	1965	1980		15.07.65	
Наименьшая (поздняя)		16.03.72	04.04.76, 82	0	0	4.1	13.3	19.7	23.8	25.5	24.6	18.4	14.6	7.2	11.12.80	30.01.70	27.2	17.08.84
Год (% случаев)				13 %	17 %	1972	1981	1983	1983	1962	1963	1973	1971	1975	1982, 1984		26.07.66	
		вдхр Каттакурганское — пгт Каттакурганское водохранилище. 1954—1985 гг.																
Средняя		20.02 (94 %)	03.04	2.7	3.6	7.3	13.8	19.2	22.6	24.0	23.0	19.3	14.3	9.6	17.11	26.12 (94 %)	27.5	08.07 (97 %)
Наибольшая (ранняя)		06.01.76	15.03.62	6.0	7.1	11.7	16.8	21.3	24.3	25.9	24.8	21.4	17.1	12.2	16.11.75	24.11.57	30.1	29.05.56
Год (% случаев)				1981	1962	1962	1959	1965	1977	1983	1954	1954	1979	1968	1971		20.06.65	
Наименьшая (поздняя)		25.03.72	18.04.60	0	0	4.0	10.6	16.3	21.4	22.7	21.3	17.7	12.5	5.9	11.12.71	25.01.79	25.2	18.08.70
Год (% случаев)				22 %	16 %	1984	1969	1957	1971	1975	1975	1975, 1977	1974, 1964	1964	1964		13.07, 08.08.61	
		вдхр Куумазаарское — пгт Куумазаар. 1961—1985 гг.																
Средняя		02.02 (84 %)	04.04	3.8	3.3	6.5	13.6	20.1	23.1	23.9	22.0	19.3	15.7	11.5	30.11	08.01 (76 %)	28.2	06.07
Наибольшая (ранняя)		01.02.62	11.03.62	6.7	6.8	10.1	17.4	22.6	25.6	26.1	23.9	21.2	17.7	13.4	07.11.61	07.11.61	31.0	29.05.84
Год (% случаев)				1981	1966	1962	1963	1961	1977	1981	12 %	1978	1982	1982	1983		10.07.81	
Наименьшая (поздняя)		21.03.69	21.04.69	0	0	0	9.8	16.7	20.5	22.5	19.6	17.9	12.2	7.3	17.12.79	20.12.84	26.0	02.08.75
Год (% случаев)				1977	12 %	1969, 1972	1969	1979	1971	1976	1978	1967	1961	1962	1962		29.06.68	
		вдхр Чарвакское — кишла Юсулхана																
Средняя		01.04	22.04	2.85	2.22	2.84	8.3	15.8	19.7	22.9	22.5	18.70	14.6	9.6	22.11	8.01	27.1	19.07
Наибольшая (ранняя)		22.03.81	07.04.83	5.3	3.9	3.2	11.5	17.7	21.3	24.0	23.4	20.2	16.8	13.0	28.10.83	03.12.84	29.0	24.06.83
Год (% случаев)				1980	1979	1982	1983	1982	1985	1980	1984	1980	1980	1979	1979		25.2	
Наименьшая (поздняя)		08.04.84	24.04.81	0.2	0.5	1.9	4.6	12.9	16.9	21.3	21.6	16.3	12.0	5.1	22.12.81	01.02.80		10.08.84
Год (% случаев)				1984, 1985	1985	1978	1980	1979	1984	1982	1980	1983	1983	1982	1982			
		вдхр Тедженское II — пгт Тедженстрой-2. 1962—1985 гг.																
Средняя		15.02 (79 %)	19.03 (92 %)	3.6	5.5	10.2	17.3	21.8	24.8	25.9	24.8	21.3	16.5	10.4	02.12	01.01	29.0	12.07
Наибольшая (ранняя)		12.01.81	08.03.68	6.8	9.7	13.3	18.7	23.1	26.5	27.3	27.5	22.6	18.6	13.5	30.10.76	01.12.84	31.15	03.06.63
Год (% случаев)				1966	1966	1981	1984, 85	1985	1977	1983	1970	1980	1969	1980		13.08.64, 30.08.66		
Наименьшая (поздняя)		14.03.69	02.04.82	0.9	0	4.7	14.8	19.1	23.5	24.9	22.1	19.4	14.6	6.3	01.01.70	25.02.76	25.7	30.08.66
Год (% случаев)				1977	1972	1972	1968	1979	1971	1962, 66	1972	1974	1964	1976		09.06, 06.07 1962		
		вдхр Хауэ-Ханское — пгт Хауэ-Хан. 1972—1985 гг.																
Средняя		21.02	22.03	4.1	4.8	9.1	17.3	21.5	24.9	24.7	23.7	22.4	17.2	11.2	29.11	10.01	28.7	18.07 (92 %)
Наибольшая (ранняя)		01.02.83	10.03.81	6.2	7.5	12.3	19.5	22.9	26.6	28.3	26.5	24.1	19.4	13.6	10.11.76	06.12.85	30.8	26.07.83
Год (% случаев)				1976	1981	1981	1977	1980	1977	1983	1983	1978	1979	1980			26.04.83	
Наименьшая (поздняя)		30.03.72	09.04.72	1.3	0	2.3	14.9	19.4	23.6	26.2	24.7	18.0	12.5	7.4	15.12.83	25.02.76	27.8	31.07.82
Год (% случаев)				1977	1972	1972	1972	1979	1975	1973	1978	1981	1981	1976			26.07.84	
		вдхр Копетдагское — пос. Копетдаг																
Средняя		09.03 (71 %)	27.03	3.4	4.1	8.1	14.1	20.6	26.1	29.1	27.8	23.9	17.3	11.2	27.11	04.01	32.2	17.07
Наименьшая (ранняя)		24.02.79, 82	11.03.81	6.3	6.7	11.5	15.8	22.7	27.7	30.0	29.6	24.9	19.7	13.3	10.11.82	11.12.84	33.1	26.06.85
Год (% случаев)				1981	1981	1983	1983	1982	1983	1979	1983	1984	1979	1980	10.11.82	11.12.84	1980	
Наименьшая (поздняя)		19.03.80, 85	14.04.85	0.7	1.0	4.9	12.5	18.2	22.6	27.0	26.6	22.1	13.4	7.8	14.12.83	25.01.83	31.0	30.07.81
Год (% случаев)				1985	1980	1985	1985	1979	1981	1981	1985	1982	1982	1982			1981	

чаще водохранилища. При этом плавное суточное приращение температуры воды составляет 0,05—0,1 °C/сут.

Следует отметить, что равнинные водохранилища Средней Азии замерзают не ежегодно или замерзает лишь незначительная часть их акватории, чаще всего приплотинная.

В этой связи в зимний период за счет выхолаживания поверхностного слоя на водохранилище может наблюдаться состояние мезотермии, которое разрушается под действием ветрового волнения.

Нагревание поверхностных слоев воды начинается с устойчивого перехода средних суточных температур воздуха через их значения, равные температуре поверхности воды, при этом в штилевые периоды за счет быстрого прогрева верхнего слоя наблюдается состояние дихотермии.

После вскрытия и очищения водохранилищ ото льда, которое занимает непродолжительный период, интенсивность роста температуры поверхности



Рис. 5.2. Распределение температуры поверхности воды (°C) Кайраккумского водохранилища.

воды возрастает. В связи с перемешиванием водных масс вследствие наполнения водохранилища и динамических факторов, в основном ветрового волнения, может наблюдаться весьма пестрая картина распределения температур воды по его акватории с разницей в температурах наиболее прогреваемых мелководных зон и центральных глубоководных участков 1—5 °C (рис. 5.2).

Для большинства водоемов в этот период устанавливается гомотермия при температурах, близких к 4 °C. На таких мелководных и значительных по площади водохранилищах, как Кайраккумское, Чардаринское гомотермия может проследиваться в течение всего летнего периода.

Переход температуры воды через 4 °C для «южных» водоемов (туркменские водохранилища, водохранилища бассейнов рек Сурхандарья и Кашкадарья) приходится на февраль, а для водоемов, расположенных севернее или в предгорных районах, — на март.

Летний период годового теплообмена характеризуется интенсивным ростом температур воды и их изотермическим распределением для мелководных равнинных водоемов (рис. 5.3) и увеличением стабильности водных масс с выделением температурной неоднородности с ярко выраженными слоями активной зоны эвн- и металимниона и зоной замедленного теплообмена — гипolimниона — для предгорных глубоководных водохранилищ. Пере-

ход значений температуры воды через 10 °C наблюдается в конце марта—апреля (22/III для Хаусханского водохранилища, 19/III для Тедженского II; 22/III для Чимкурганского, 11/IV для Уртатокайского; 25/IV Чарвакского) (табл. 5.1).

Обращает внимание, что прогрев более низкорасположенного Чарвакского водохранилища осуществляется менее интенсивно, чем Уртатокайского, вследствие большей инертности его водной массы, которая по объему более чем в 10 раз превышает водную массу Уртатокайского водохранилища.

Рост температуры воды водохранилищ продолжается до июля, повторяя ход температуры воздуха (рис. 5.4). При этом с марта по сентябрь температура воды ниже температуры воздуха, а с октября по март выше. Периоды наступления наибольшей средней месячной температуры воды и воздуха совпадают. Наибольшие средние месячные значения температуры воды в большинстве случаев приходится на июль, реже на август и колеблются от 30 (Копетдагское водохранилище) до 24 °C (Чарвакское водохранилище). Амплитуда колебания наибольших средних месячных температур воды за период наблюдения составляет 3—5 °C.

Абсолютный максимум температуры воды наблюдался в 1980 г. на Копетдагском водохранилище (33,1 °C), в то время как на предгорном Чарвакском она не поднималась выше 24 °C.

Распределение температуры поверхности воды по акватории водохранилищ в период летнего прогрева не претерпевает существенного изменения в сравнении с весенним (см. рис. 5.3).

На мелководных равнинных водохранилищах наблюдается уменьшение температуры воды на 2—3 °C от мелководных наиболее прогреваемых зон верховьев по длине водохранилищ к зонам наибольших глубин, а следовательно, и объемов водной массы.

Обратная картина может наблюдаться на предгорных водохранилищах, где существенное значение в формировании температурного режима водной массы оказывает приток речных вод в связи со значительным водообменом K_2 , который особенно возрастает в период прохождения половодья. Так, на Нурекском и Чарвакском водохранилищах в течение всего года отмечается увеличение поверхностной температуры воды от устья впадающих рек к плотине [47, 66, 116].

Подобная картина наблюдается в летний период на Туябугузском водохранилище, водный баланс которого в летний период формируется под влиянием значительного подруслового грунтового потока (см. главу 4).

При этом весеннее распределение температуры воды по акватории, заключающееся в ее уменьшении по длине водоема от мелководья к плотине, изменяется в обратную сторону. Мелководную зону формирует холодная грунтовая водная масса притока, которая прогревается по мере продвижения ее к центральной плотинной зоне (см. рис. 5.3).

Продолжительность периода весенне-летнего нагревания колеблется от 90 до 180 сут при средней продолжительности 120 сут для предгорных водохранилищ и 150 сут для равнинных.

Период летне-осеннего охлаждения начинается с момента максимального прогрева водоемов и возникновения устойчивой отрицательной средней

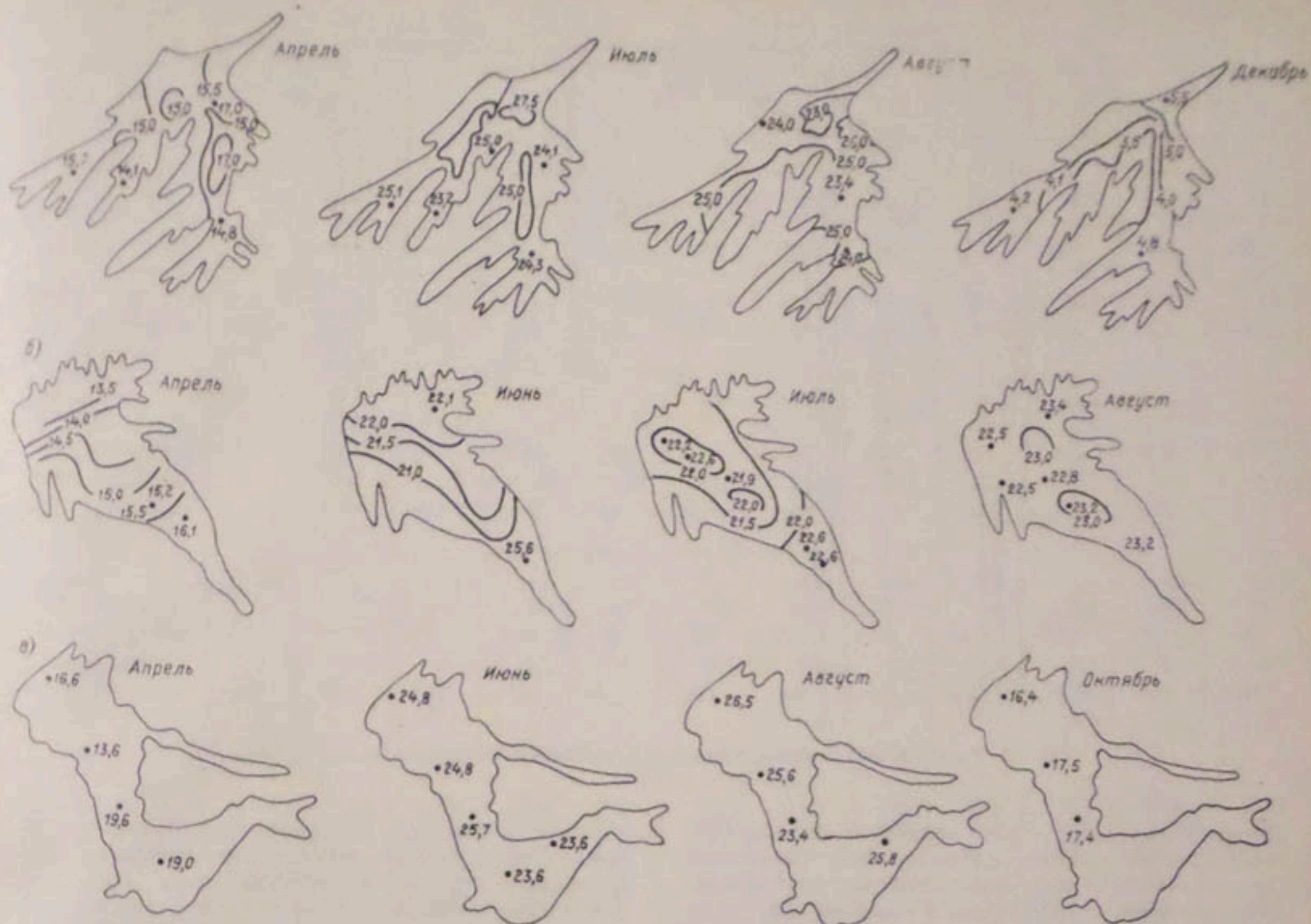


Рис. 5.3. Изменение температуры воды ($^{\circ}\text{C}$) по сезонам года на поверхности водохранилищ. Водохранилище: а — Каттакурганское, б — Уртатокайское, в — Туябугузское.

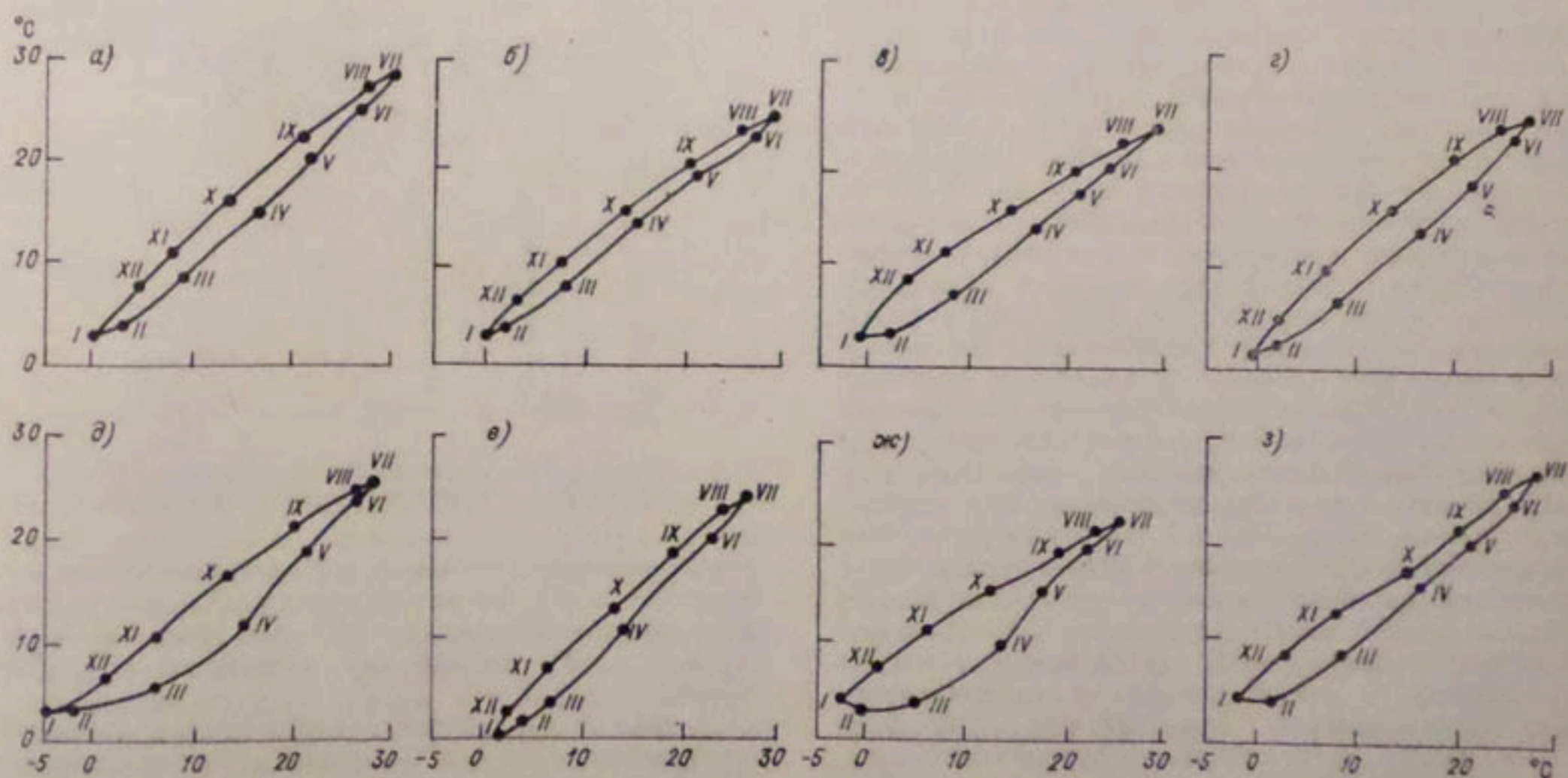


Рис. 5.4. Зависимости температуры поверхности воды (вертикальная шкала) от температуры воздуха (горизонтальная шкала). Водохранилище: а — Чимкурганское, б — Каттакурганское, в — Куюмазарское, г — Кайраккумское, д — Чардаринское, е — Уртатокайское, ж — Чарвакское, з — Туябугузское.

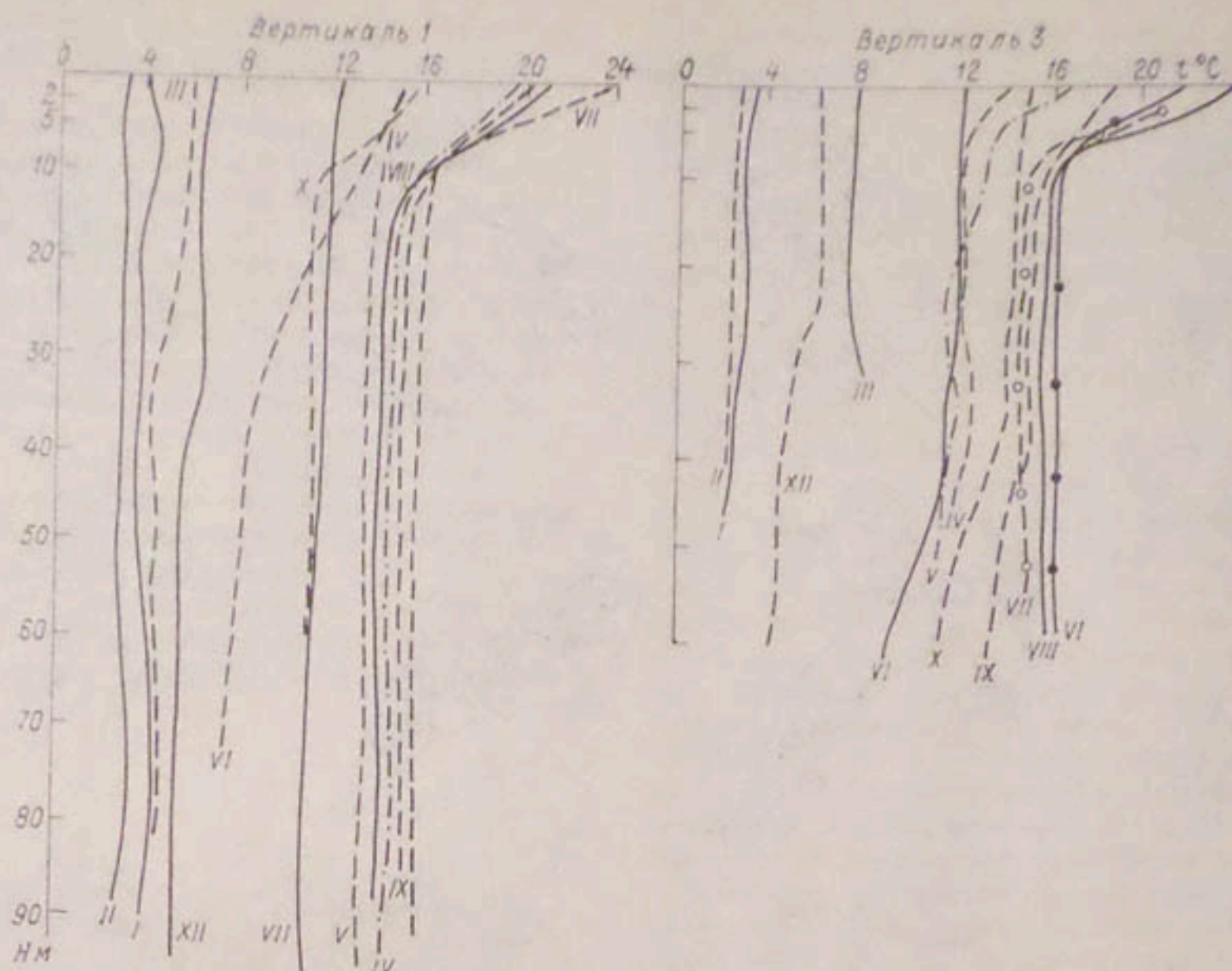


Рис. 5.5. Распределение температуры воды (t) по глубине Нурекского водохранилища (H).

суточной результирующей теплового баланса. На этом этапе охлаждение осуществляется при прямой стратификации и характеризуется для глубоководных водоемов (Нурекское и Чарвакское водохранилища) уменьшением разности температур эпи- и гипolimниона и погружением слоя скачка, которое продолжается до установления осенней гомотермии (рис. 5.5).

На мелководных равнинных водохранилищах (Кайраккумское, Чардаринское), для которых характерно наличие в летний период слабовыраженной прямой температурной стратификации и отсутствие слоя температурного скачка, состояние гомотермии наступает очень быстро при понижении температуры поверхности воды до 20—18°C. Этому в равной степени способствуют ветровое перемешивание и водообмен в условиях интенсивной сработки водохранилищ, которая приходится на июль—август (см. главу 3). Благодаря этим же факторам наблюдается выравнивание неоднородности температуры воды по акватории водоемов (рис. 5.3). Наиболее ранний переход температуры воды через 10°C наблюдается в октябре на малых предгорных водохранилищах (Уртатокайское), когда водная масса, сосредоточенная в их чашах, имеет минимальные объемы. На равнинных (Чимкуртанское, Каттакурганское, Кайраккумское и др.) и предгорных водохранилищах со значительным объемом водной массы (Нурекское, Токтогульское, Чарвакское) этот процесс наблюдается в ноябре и смещается на начало декабря на водохранилища южных районов (Копетдагское) (табл. 5.1). В этот период на равнинных водохранилищах наблюдается гомотермия, которая может сменяться изотермическим расслоением в непродолжительные штилевые периоды (см. рис. 5.10). В подобном со-

стоянии охлаждения водная масса находится до января когда на равнинных водохранилищах наблюдается переход температуры воды через 4°C. На малых предгорных водоемах состояние осенней гомотермии при температуре близкой к 4°C наблюдается в ноябре (табл. 5.1; рис. 5.6).

Летне-осенний период годового теплообмена, который заканчивается с наступлением обратной

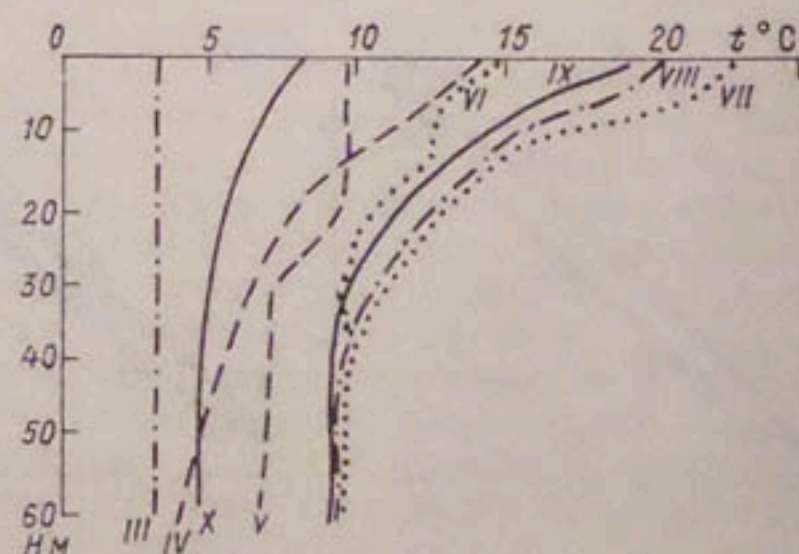


Рис. 5.6. Распределение температуры воды (t) по глубине Чарвакского водохранилища (H).

температурной стратификации или состоянием гомотермии при температурах ниже 4°C, имеет среднюю продолжительность 150—160 сут для равнинных и 120—130 сут для предгорных водохранилищ.

В зимний период температура воды водохранилища опускается до 0°C, однако в южных районах подобная температура наблюдается лишь в крайне холодные зимы. Минимальные значения средних месячных температур воды приходятся на январь

Температура воды поверхностного слоя акватории водохранилищ

Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
вдхр Чимкурганское. 1962—1985 гг.												
Средняя	3,7	4,3	9,0	16,9	22,8	26,3	28,1	26,9	20,1	16,7	11,2	6,6
Наибольшая	6,2	8,7	13,9	19,4	24,4	28,2	29,8	28,0	24,2	18,8	13,0	9,6
Год (% случаев)	1970	1966	1962	1970, 1977	1965	1977	1973	1984	1979	1978	1965	1980
Наименьшая	0,9	1,1	4,2	15,4	20,6	25,0	26,8	25,8	19,3	15,3	7,6	3,9
Год (% случаев)	1964	1974	1972	1983	1984	1983	1962	1963	1973	1971	1975	1984
вдхр Каттакурганское. 1954—1985 гг.												
Средняя	2,5	3,0	5,6	11,8	17,0	20,8	23,1	22,4	18,4	14,0	9,1	5,8
Наибольшая	4,5	5,5	9,5	14,5	19,2	22,7	25,0	24,5	20,6	16,4	11,7	8,9
Год (% случаев)	1981	1962	1962	1959	1965	1977	1981	1954	1964	1979	1968	1971
Наименьшая	0,8	0	2,8	8,5	14,0	18,8	21,4	20,5	17,0	12,0	5,8	2,7
Год (% случаев)	1957	1977	1984	1969	1957	1979	1975	1975	11 %	1974—75	1964	1984
вдхр Куюмазарское. 1961—1985 гг.												
Средняя	2,8	3,1	6,9	12,3	17,5	21,1	23,2	22,3	18,6	14,1	9,4	5,9
Наибольшая	6,7	6,8	10,1	17,4	22,6	25,6	25,1	23,9	21,2	17,4	12,9	9,7
Год (% случаев)	1981	1966	1962	1963	1961	1977	1981	1964	1978	1979	1971	1971
Наименьшая	0	0	0	9,8	16,7	20,5	22,9	19,6	17,9	12,2	6,6	1,8
Год (% случаев)	1977	15 %	1969, 1972	1969	1979	1971	1976	1978	1967	1961	1982	1962
вдхр Кайраккумское. 1958—1985 гг.												
Средняя	1,8	3,0	6,9	14,8	20,2	25,1	26,1	24,5	20,8	15,1	8,9	3,5
Наибольшая	4,0	6,6	11	17,0	21,7	26,7	27,2	26,1	22,5	17,5	11,2	7,1
Год (% случаев)	1981	1966	1958	1977	13 %	1977	1983	1966	1959	1979	1980	1971
Наименьшая	0	0,6	2,3	11,6	18,5	23,5	25,2	23,0	19,4	13,0	3,6	0,2
Год (% случаев)	1977	1964	1972	1960	1979	1974	1959—60	1974	1976	1976	1975	1962
вдхр Уртатокайское. 1957—1985 гг.												
Средняя			13,4	16,8	19,7	22,5	23,2					
Наибольшая			15,3	19,2	21,7	24,0	24,0	22,0	20,8			
Год (% случаев)			1975	1981	1961	1961	1961	1977	1977			
Наименьшая			10,9	14,6	17,4	20,8	21,5	16,6	12,5			
Год (% случаев)			1967	1969	1960	1969	1969	1957	1957			
вдхр Туябугузское. 1964—1985 гг.												
Средняя	3,9	4,4	7,6	15,3	21,0	25,1	28,0	27,0	21,6	16,3	11,2	6,8
Наибольшая	6,3	5,5	10,9	17,8	22,8	27,1	29,6	29,0	23,0	18,0	12,6	10,0
Год (% случаев)	1970	1981	1964	1977	1980	1973	1984	1984	1966	1979	1980	1971
Наименьшая	2,3	2,8	3,5	13,2	13,3	18,4	23,3	26,2	24,9	19,8	14,8	3,8
Год (% случаев)	1964	1985	1972	1984	1968	1966, 1979	1969	1972	1972	1973	1971	1984

и варьируют в весьма широких пределах — от 0 до 7°C (табл. 5.1).

На мелководных равнинных водохранилищах (Кайраккумское, Чардаринское), водные массы которых подвержены интенсивному перемешиванию под воздействием ветра, осенне-зимняя гомотермия продолжается при температуре ниже 4°C, что приводит к значительному понижению температуры всей водной массы. Следует отметить, что в этот период осуществляется зимнее наполнение водохранилищ, что также способствует перемешиванию и выравниванию температуры воды как по акватории, так и по глубине. В связи с высоким показателем водообмена водохранилищ K_2 теплоток от дна ложа существенной роли не играет и теплоза-

пас водной массы во многом определяется температурой воды притока и характером сброса воды из водохранилища, т. е. какие, поверхностные или глубинные, слои воды сбрасываются в нижний бьеф [47, 61, 82].

В зависимости от суровости зим и наличия ледостава температурный режим этого периода различен.

В суровые зимы в условиях замерзания водохранилищ минимальные температуры воды наблюдаются перед установлением ледостава.

В связи с резким сокращением теплоотдачи в атмосферу на водохранилищах, регулирование водных запасов которых в этот период незначительное,

наблюдается небольшой зимний прогрев водной массы.

После вскрытия водохранилищ возрастание теплообмена с атмосферой и затрат тепла на испарение с водной поверхности может привести к формированию весеннего минимума температуры воды.

На водохранилищах, эксплуатируемых в двухтактном режиме, в условиях частичной зимней сработки и повышенного водообмена, температура воды понижается вплоть до начала весеннего прогрева.

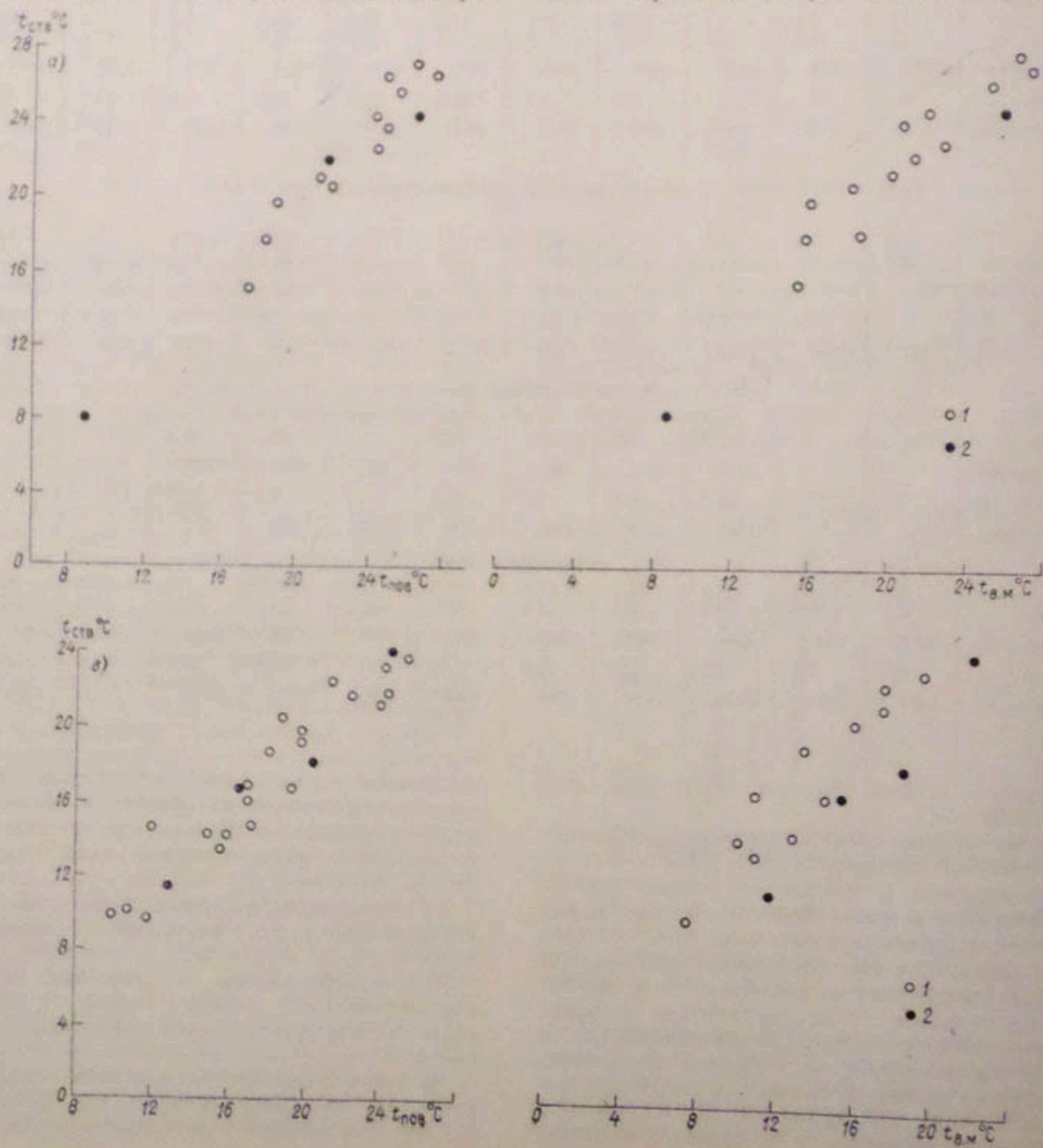
В условиях теплых зим при отсутствии ледостава температурный режим формируется в основном под влиянием погодных факторов (температуры воздуха) и условий регулирования стока, которые определяют тепловой водообмен водной массы.

Существенные различия в температурном режиме прибрежной и открытой части водоемов наблюдается лишь для крупных водохранилищ, имеющих различия в морфологии чаш. Однако в условиях повышенного водообмена и интенсивного перемешивания происходит выравнивание темпера-

туры воды открытой и прибрежной зон. Это подтверждение позволило на основании термических съемок поверхностного слоя воды и наблюдений на береговых ОГП получить зависимости средней температуры поверхности воды от температуры воды на гидрометрических створах (рис. 5.7, табл. 5.2).

При этом в связи с условиями регулирования стока, морфологическими особенностями чаш водохранилищ и расположением гидрометрических створов может наблюдаться три вида зависимостей: 1 — средняя температура поверхности водоема при нагревании (охлаждении) запаздывает; 2 — опережает; 3 — изменяется синхронно с температурой воды водомерного поста. На основании этих графических зависимостей определялась температура поверхности воды открытой зоны для нахождения максимального парциального давления водяного пара при расчете испарения с водной поверхности водохранилищ (см. глава 4).

Средние многолетние годовые значения температуры поверхности воды водохранилищ Средней Азии отражают общую климатическую ситуацию



региона и изменяются на равнине от 13 до 15 °С, в предгорных районах от 10 до 12 °С и имеют незначительную амплитуду колебаний от года к году, что объясняется малой изменчивостью годовых значений температур воздуха и режимом регулирования водных запасов водохранилищ.

Суточный ход температуры воды обусловливается суточным ходом метеоэлементов над водной поверхностью и в первую очередь температурой воздуха, а также радиационными свойствами водной поверхности, на которые оказывают влияние динамические процессы, вызывающие перемешивание водных масс и изменение ее оптических характеристик.

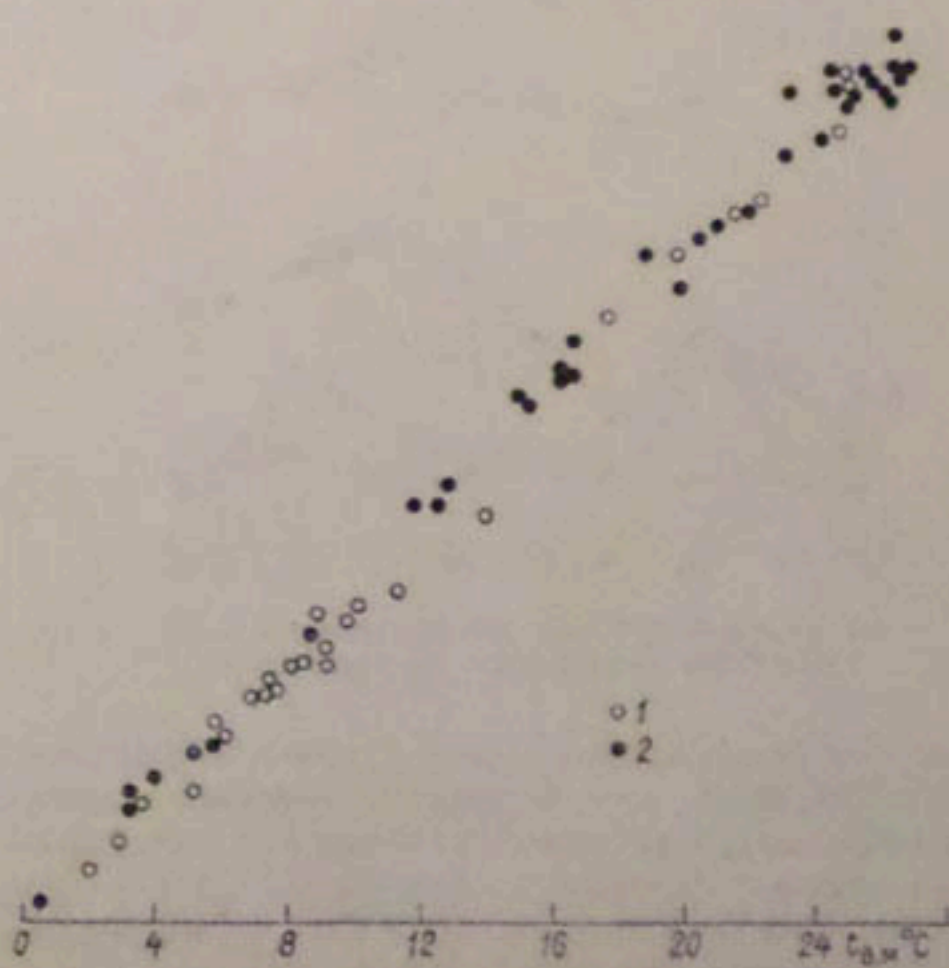
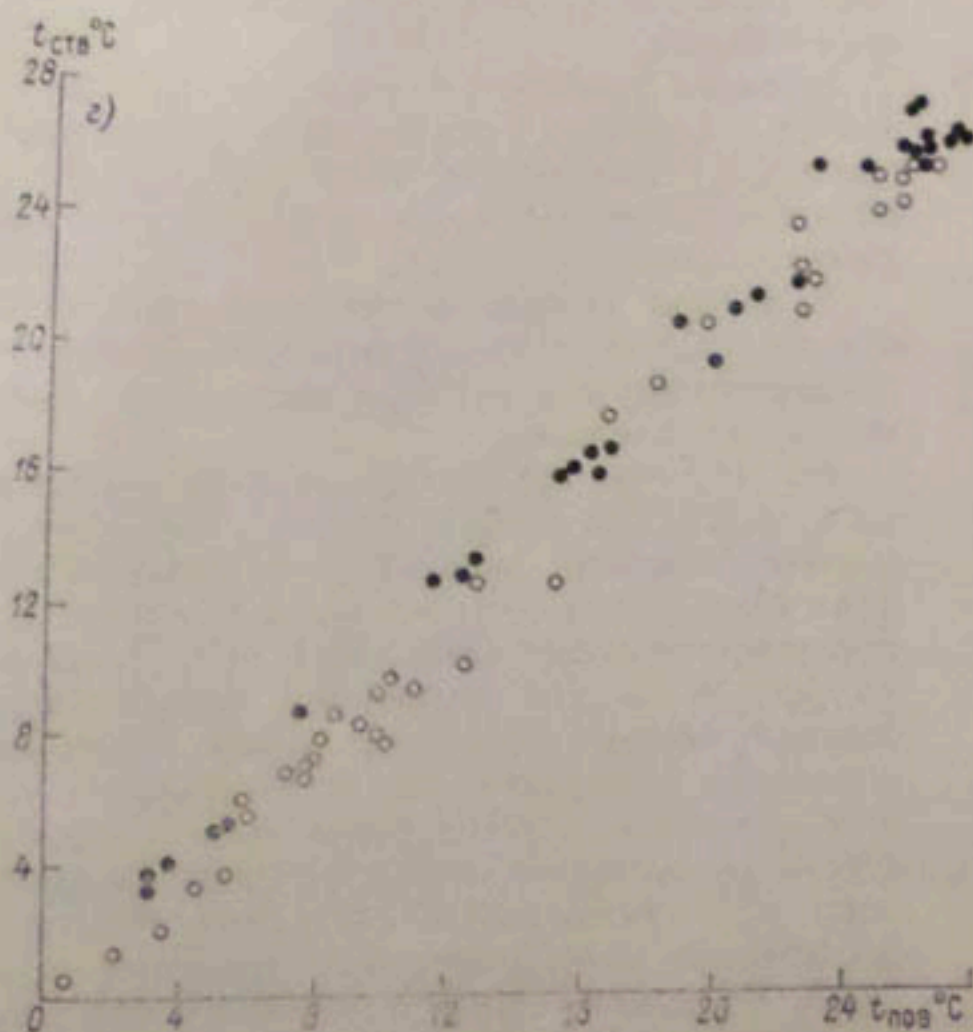
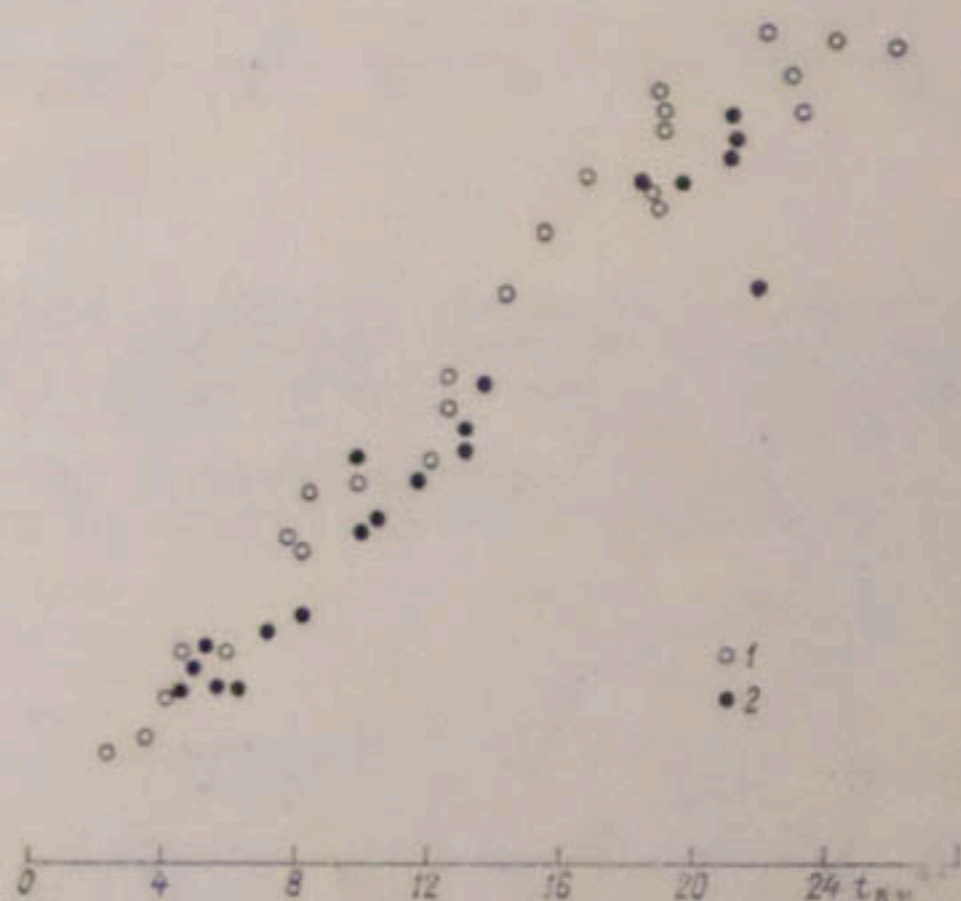
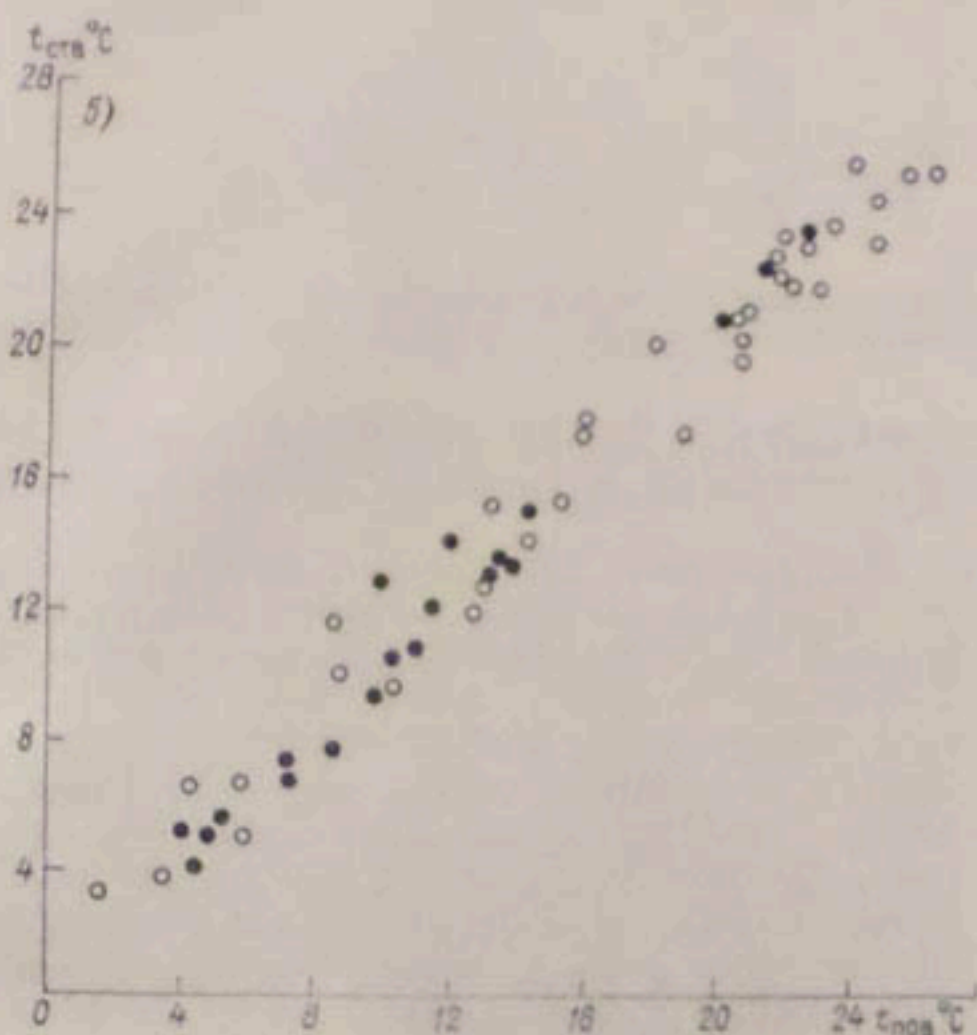
Наибольших значений суточные амплитуды температур воды достигают в летний период при средних значениях $t_{\text{сут}}^{\circ} = 3^{\circ}\text{C}$, на водохранилищах предгорных зон (Чарвакское, Уртатокайское) в отдель-

ных случаях могут составлять 7–8 °С, а на равнинных (Кайраккумское, Каттакурганское) — 4–5 °С [47, 61].

В зависимости от сезона года минимальных значений температура воды достигает в 6–9 ч на предгорных водоемах и в 6–7 ч на равнинных. Максимум температур приходится на послеполуденное время, т. е. 16–18 ч.

Внутрисуточная изменчивость температуры воды наиболее ярко прослеживается в поверхностном слое и затухает с глубиной (рис. 5.8), однако в придонных слоях могут наблюдаться аномалии, вызванные изменением поля течений или режима водообмена и характера проточности (рис. 5.8).

Следует также отметить, что суточные колебания температуры воды открытой зоны водохранилищ ниже, чем прибрежной. В дневные часы открытая зона прогревается на 0,5–2,0 °С ниже, чем



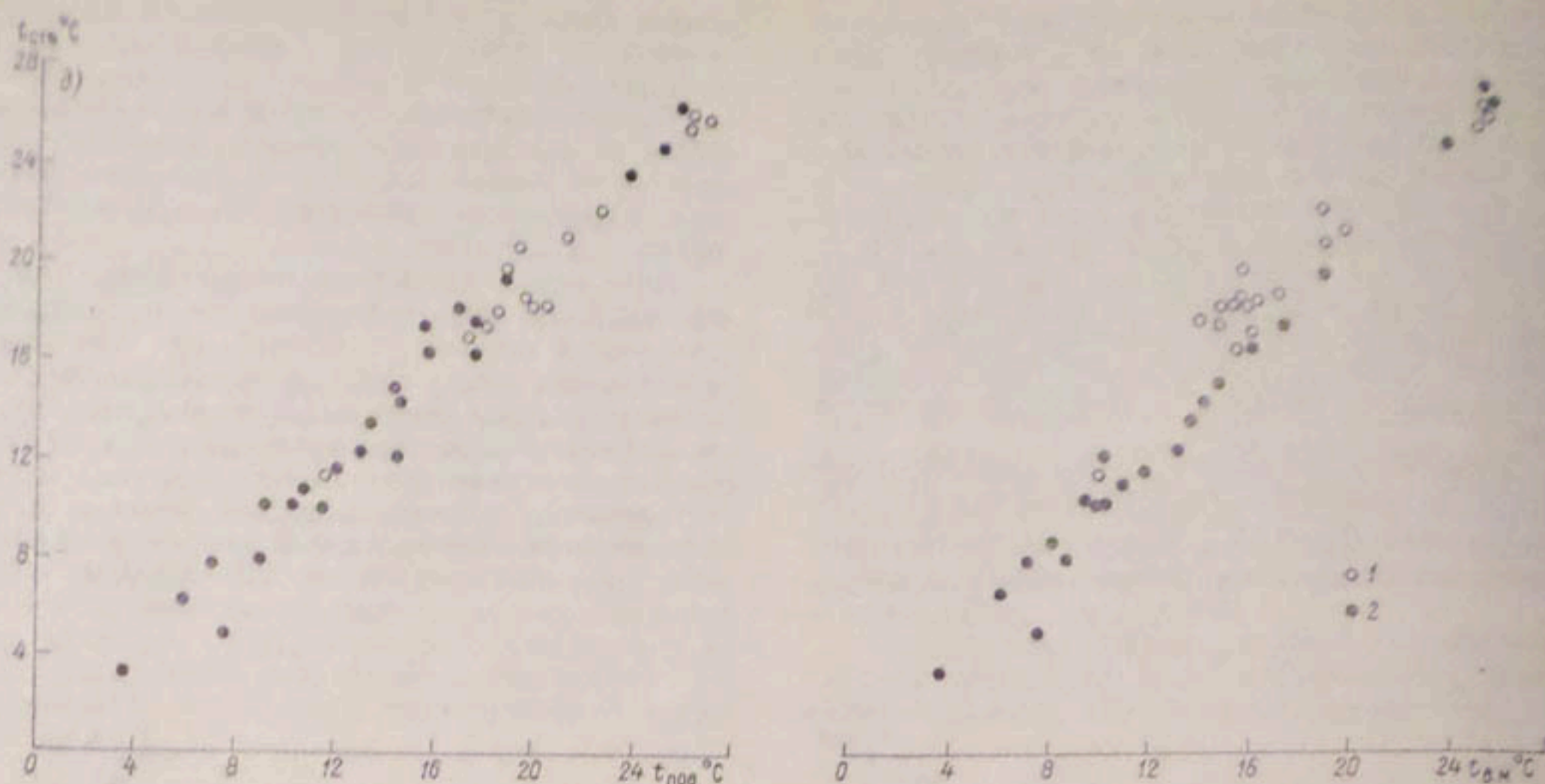


Рис. 5.7. Зависимости температуры поверхности воды (1) ($t_{\text{поверх}}$) и водной (2) ($t_{\text{в.м.}}$) в водохранилищах: а — Чимкурганское, б — Каттакурганское, в — Куюмазарское.

прибрежная, а в ночные часы наоборот. В зимний период суточные колебания температуры воды сглаживаются и при образовании ледовых явлений составляют $0,1-0,2^{\circ}\text{C}$.

Для различных гидроморфологических типов водохранилищ Средней Азии был проведен анализ

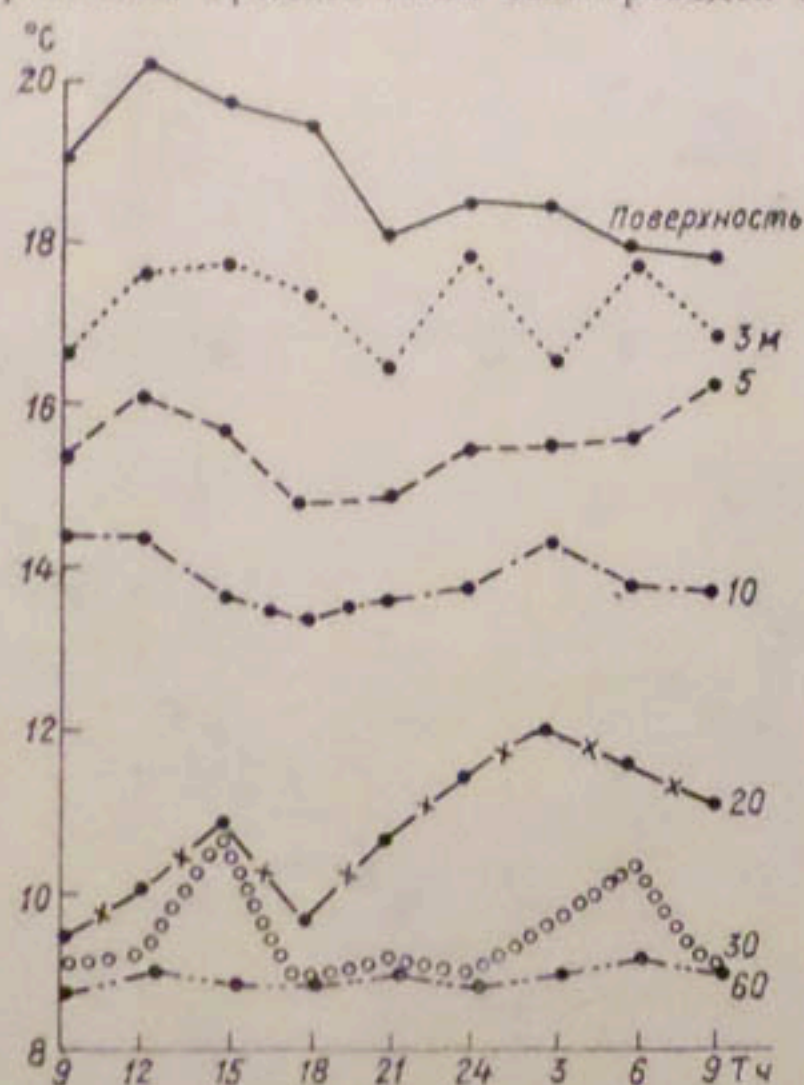


Рис. 5.8. Суточный ход температуры воды ($^{\circ}\text{C}$) по глубине Чарвакского водохранилища.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ПО ГЛУБИНЕ И ОБЪЕМУ ВОДОХРАНИЛИЩ

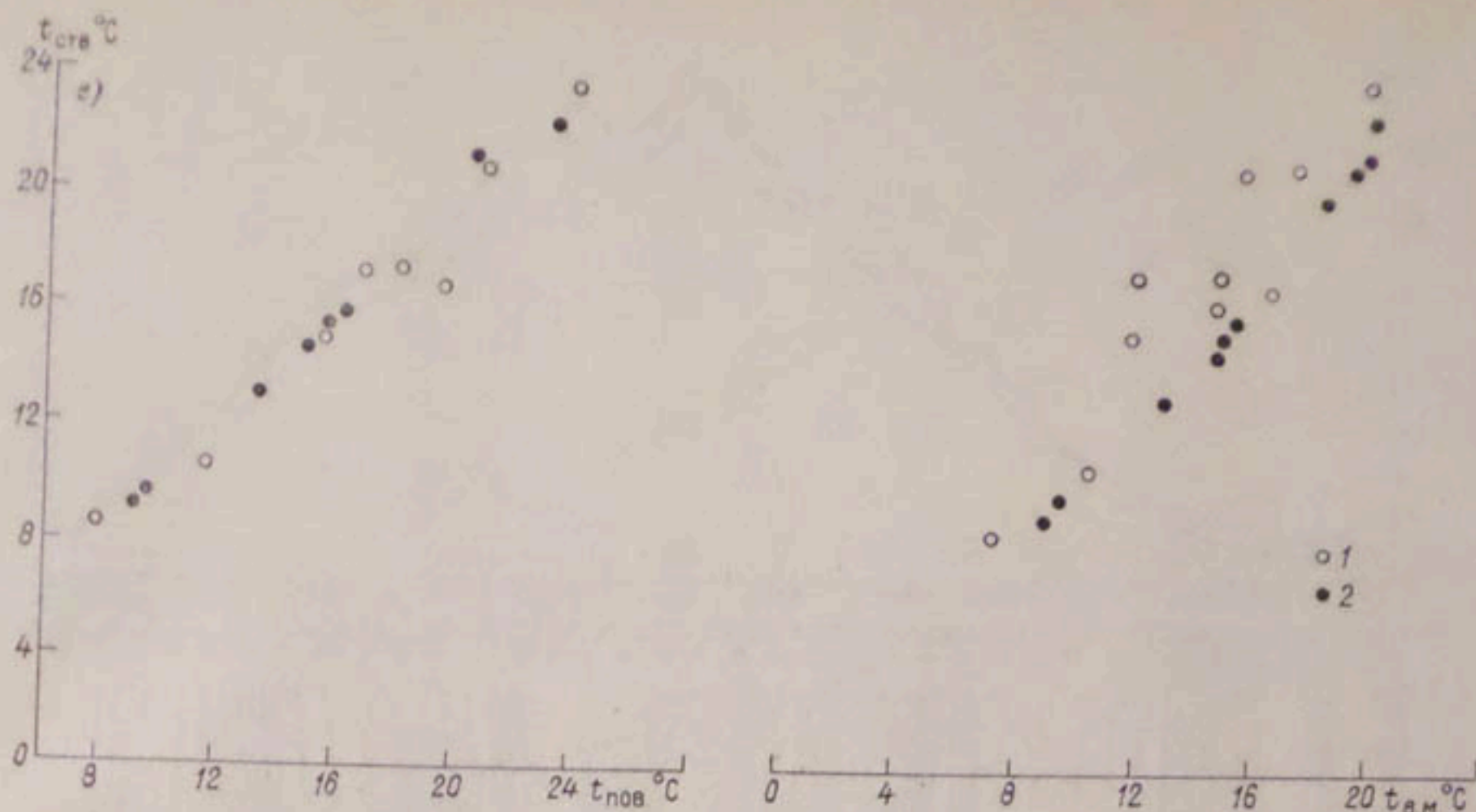
Распределение температуры воды по глубине и объему среднеазиатских водохранилищ, ее внутри-годовой ход, выражающийся в сроках наступления и продолжительности термических циклов, имеет свои специфические особенности и различия в зависимости от режима эксплуатации (наполнение, сработка), характера наполнения (наливные, русловые), показателя открытости и относительной глубины водоема. В условиях высоких значений K_2 значительную роль в формировании температурного режима водной массы в целом играет приток — отток поверхностных вод, который составляет более 90 % приходно-расходных статей водного баланса.

Влияние притока речных вод особенно сказывается в период весенне-летнего нагревания, когда происходит наполнение водохранилищ, формируется основная водная масса, а на реках наблюдается фаза половодья.

В период вегетационной сработки сокращение объема водной массы оказывает влияние как на распределение температуры, так и на резкое сокращение теплозапасов.

На крупных долинных русловых водохранилищах, таких, как Кайраккумское, Чардаринское, характеризующихся показателем условного водообмена $K_2 = 3...5$ и относительной глубиной $h_{\text{отн}} < 1$, наблюдается замещение одной водной массы притоком другой и проталкивания сформировавшейся озерной водной массы по длине водохранилища к плотине (см. главу 10). В сочетании с интенсивным ветровым перемешиванием этот процесс способствует сглаживанию температур воды по глубине и формированию состояния гомотермии на протяжении всего периода наполнения водохранилища. В летний период в условиях максимального прогрева наблюдается прямая температурная

оценки точности определения средней суточной температуры воды по двусуточным, ежечасным и восьмисуточным наблюдениям. Расхождения вычисленных значений составили в среднем $0,1-0,2^{\circ}\text{C}$ при максимальном отклонении до $0,4^{\circ}\text{C}$ (Кайраккумское, Чарвакское водохранилища) [61].



массы (2) ($t_{г, в}$) от температуры воды на гидрометрическом створе ($t_{ств}$).
 а — Кайраккумское, б — Гумбузекское, в — Уртатокайское.

стратификация с плавным, незначительным падением температур воды от поверхности ко дну, которое составляет 1—2°C (рис. 5.9, 5.10). В период интенсивного опорожнения водохранилищ температура воды по глубине выравнивается, а температурные различия водных масс сглаживаются.

Наибольшие различия температуры водных масс равнинных водоемов характерны для весеннего периода после вскрытия водохранилищ и резкого увеличения объема притока воды. Вскрытие происходит раньше в приустьевых зонах, и мелководья прогреваются в этот период наиболее интенсивно. В тоже время более теплые речные воды

притоков вытесняют холодные зимние водные массы водохранилища в приплотинную зону. Разность температур воды притока верхней и приплотинной зон, а также оттока может достигать 6—7°C.

В глубоководных, предгорных, стратифицированных водоемах ($h_{отн} > 5$; $K_2 > 3$), в формировании водных масс которых также исключительно велика роль притока, наибольшие различия в распределении температуры по объему водных масс обнаруживаются в летний период, когда через водохранилище (Уртатокайское, Чарвакское) транзитом проходит пик половодья.

В условиях прямой температурной стратификации и разности температур воды у поверхности и

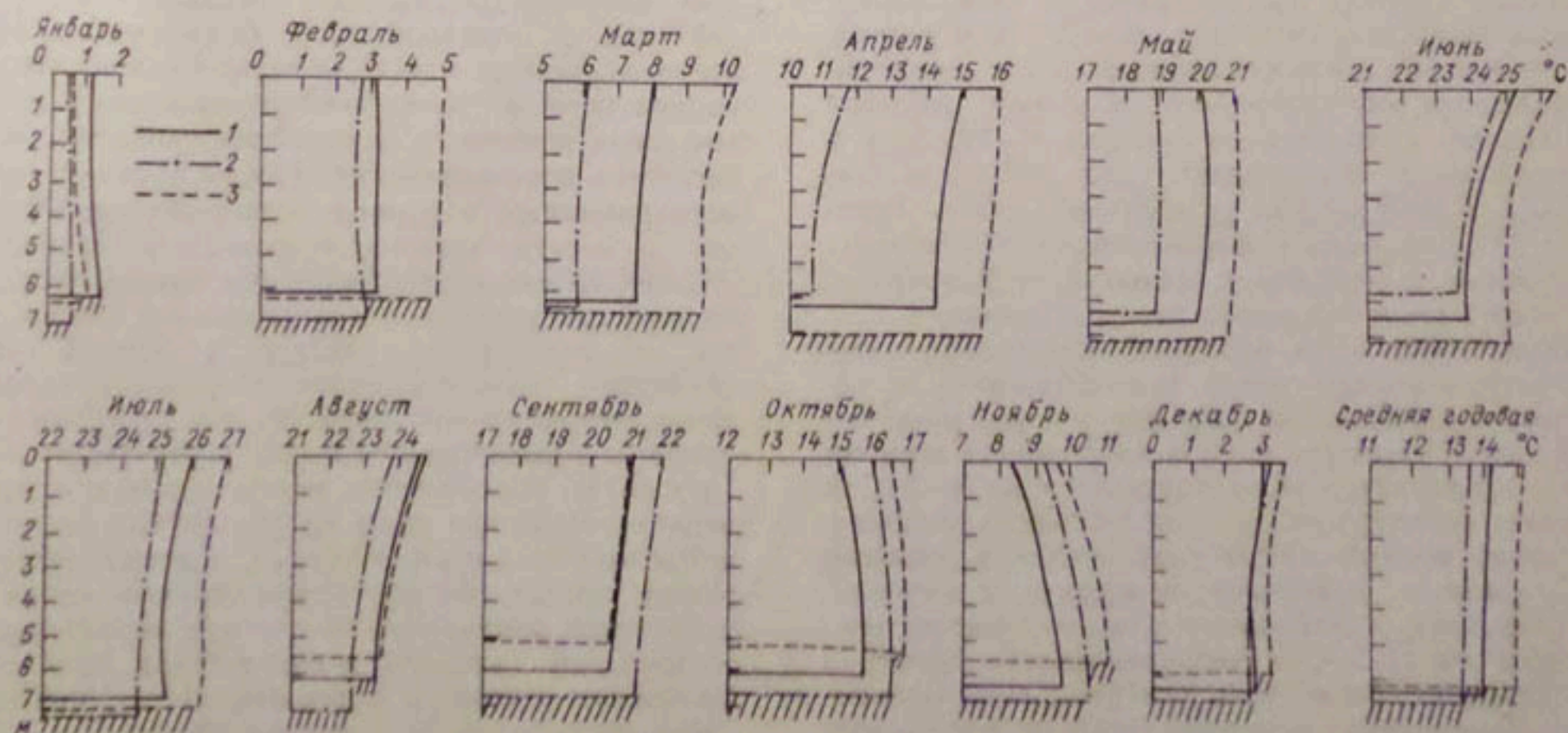


Рис. 5.9. Средние месячные эюры распределения температуры воды (°C) по глубине Кайраккумского водохранилища в средний и экстремальные годы.

Год: 1 — средний многолетний, 2 — холодный, 3 — жаркий.

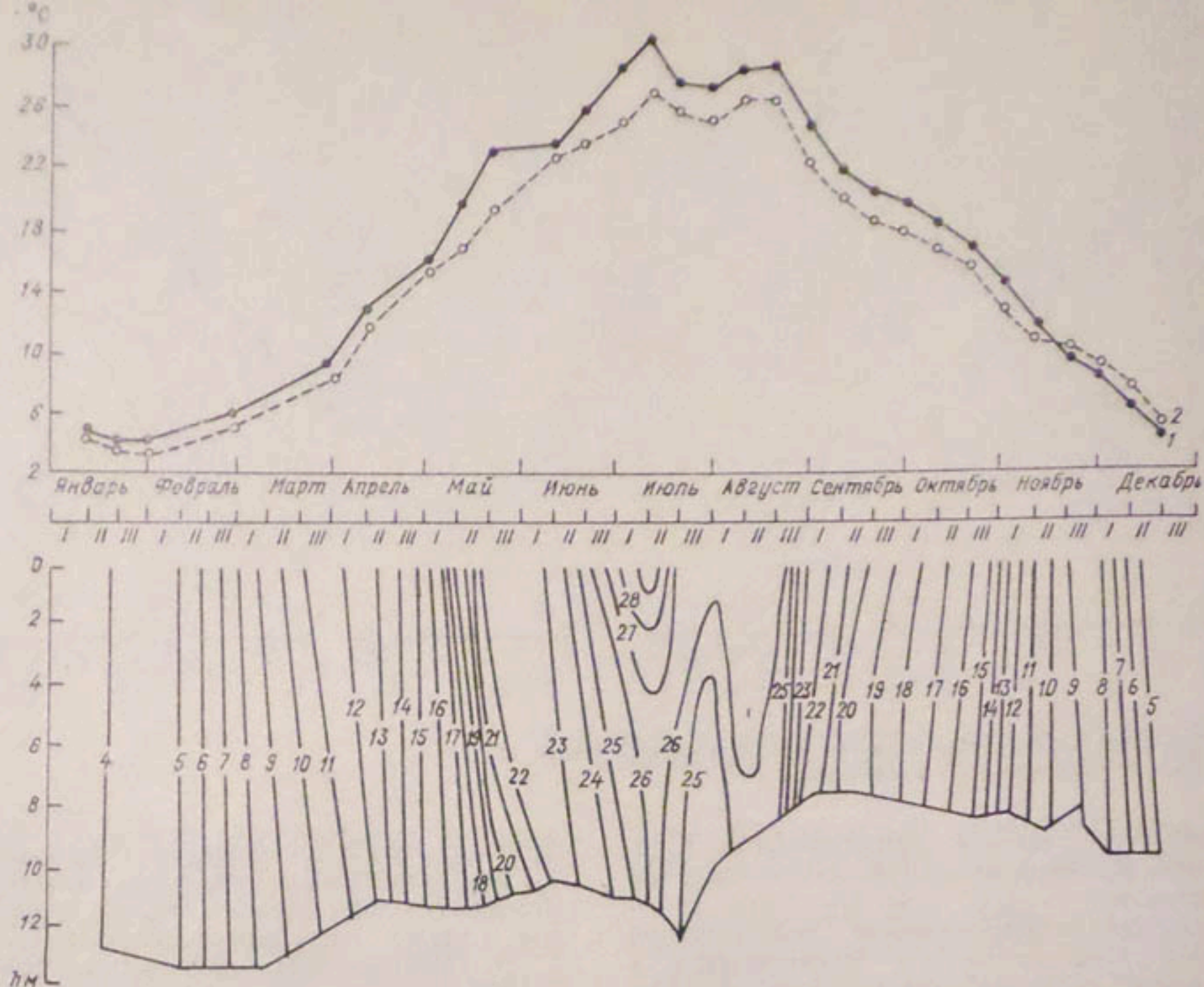


Рис. 5.10. Термоизоплеты на рейдовой вертикали Чардаринского водохранилища.
1—поверхность, 2—дно.

у дна от 8 до 16 °С в Чарвакское водохранилище поступает холодная речная водная масса, которая погружается на глубину 10—30 м ниже слоя скачка и проходит водоем потоком повышенной плотности. Именно температурный режим этого потока определяет глубину распространения слоя скачка, который удерживается в интервале 5—10 м и начинает постепенно погружаться лишь после интенсивной сработки водохранилища. К концу сентября слой скачка опускается на глубину 10—20 м, а в конце октября захватывает слой 20—30 м (см. рис. 5.6). В этот период вследствие резкого сокращения притока воды в формировании температурного режима водной массы основную роль приобретает конвекционно-ветровое перемешивание.

Температура воды притоков значительно ниже температуры водной массы водохранилища, и поэтому речные воды при впадении в него опускаются на дно. К середине ноября слой скачка сглаживается, температура воды опускается до 4—5 °С и наступает гомотермия. В период зимнего охлаждения, когда водные массы глубоководной области водохранилища достигают температуры наибольшей плотности, наблюдается плавное падение температуры до 1—2 °С и устанавливается обратная стратификация. Перед установлением ледостава перепад температур поверхностного и придонного слоев оценивается в 2—3 °С, а средняя температура всей водной массы не опускается ниже 1,5 °С.

На наливных водохранилищах, наполнение ко-

торых осуществляется в основном в осенне-зимний период, а показатель условного водообмена близок к единице ($K_2 \approx 1$), температурный режим водной массы формируется под влиянием автохтонных процессов, влияние же притока сказывается лишь в зоне впадения подводящих каналов в период их действия. В водохранилище формируется единая озерная водная масса, которая продолжительный период остается в стабильном состоянии, испытывая лишь влияние динамических процессов за счет ветрового перемешивания. Так, на Каттакурганском водохранилище в период осенне-зимнего наполнения и весенне-летнего относительно стабильного состояния уровня в распределении температуры воды по глубине водоема наблюдается состояние, близкое к гомотермии, которое в зимний период сменяется незначительным, плавным повышением температуры водной массы ко дну (декабрь — февраль), а в весенний — к поверхности (март — май) (рис. 5.11). В результате интенсивного прогрева поверхностного слоя воды до 10—12 °С и повышения устойчивости водной массы в водоеме устанавливается прямая температурная стратификация. Распределение температур по глубине характеризуется ее плавным падением и отсутствием слоя скачка. Разность температур поверхностного и придонного слоев воды колеблется от 6 до 10 °С.

В августе — сентябре стабильность водной массы нарушается в период интенсивной сработки водохранилища, вследствие чего наблюдается вырав-

Рис. 5.11. Термоизоплеты на рей-
довой вертикали Каттакурганско-
го водохранилища.
1 — поверхность, 2 — дно.

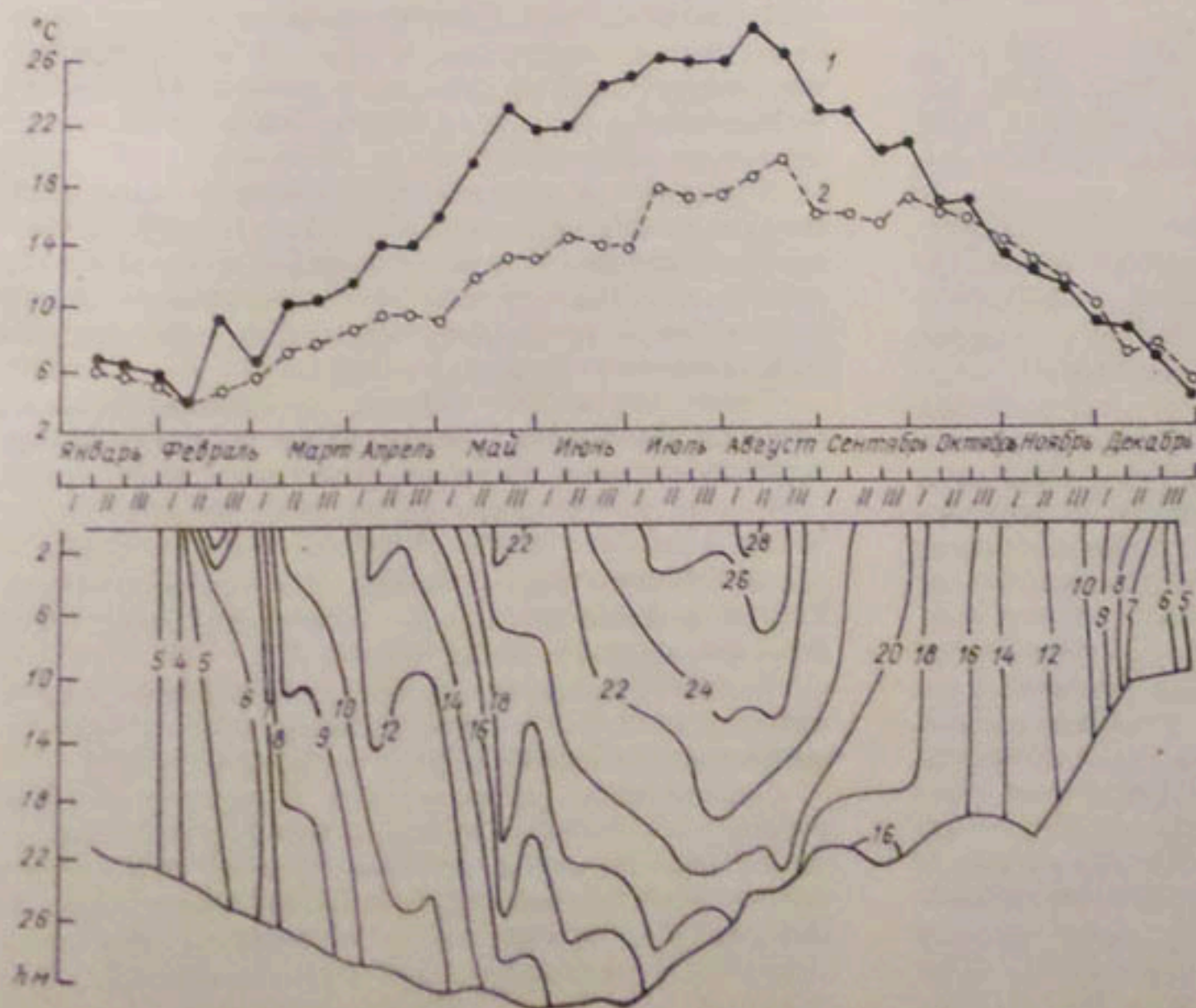
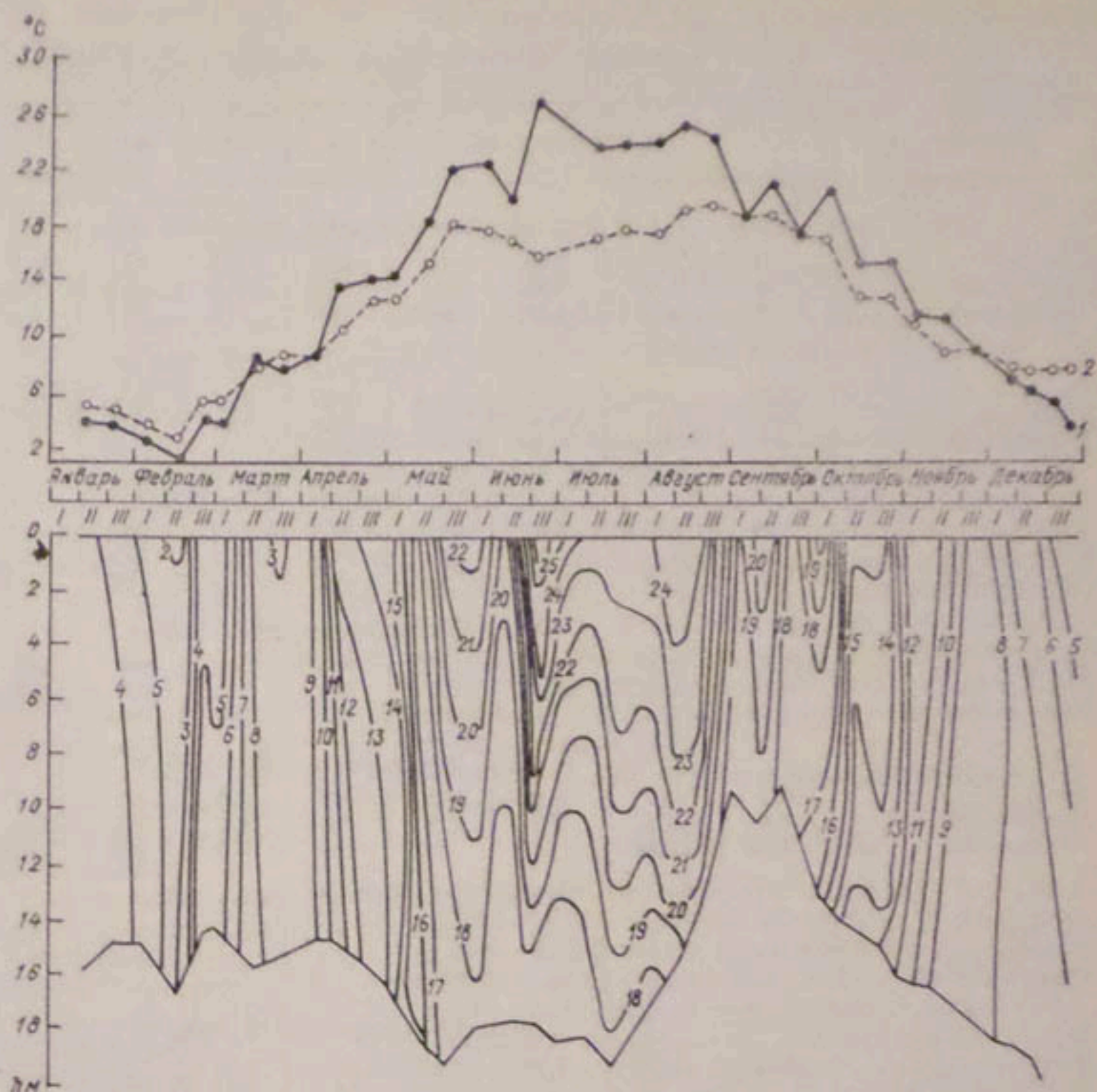


Рис. 5.12. Термоизоплеты на рейдовой
вертикали Туябугузского водохрани-
ща.
1 — поверхность, 2 — дно.

Теплозапасы водной массы водохранилищ Средней Азии, 10^{15} Дж

Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
вдхр Чимкурганское. 1972—1985 гг.												
Средний	1,99	1,94	4,43	14,6	28,4	34,8	29,1	12,6	1,45	0,69	1,64	2,16
Наибольший	6,54	1,09	6,99	21,5	36,6	44,5	44,0	27,2	10,1	6,24	6,33	5,20
Наименьший	0,15	0,36	1,88	9,80	16,6	17,6	17,4	5,44	0,03	0,02	0,19	1,04
вдхр Каттакурганское. 1972—1985 гг.												
Средний	8,20	5,58	11,3	22,8	40,9	48,2	46,4	26,9	8,70	8,30	13,6	14,0
Наибольший	19,2	11,3	38,9	36,0	54,9	57,1	66,6	49,0	32,7	24,2	29,1	22,5
Наименьший	0,24	0,71	1,42	12,9	23,7	21,0	4,90	7,34	1,05	1,55	4,10	5,32
вдхр Куюмазарское. 1972—1985 гг.												
Средний	6,83	3,07	3,97	9,32	17,4	22,2	20,9	13,9	7,52	11,9	16,2	12,8
Наибольший	8,76	5,44	6,74	14,1	21,4	26,6	24,8	18,5	10,4	18,1	20,4	15,5
Наименьший	5,02	0,25	1,81	4,44	10,2	19,1	16,5	10,3	6,07	7,41	12,0	9,52
вдхр Кайраккумское. 1972—1985 гг.												
Средний	27,6	16,8	30,0	110	216	243	208	132	63,9	60,2	66,6	48,5
Наибольший	54,6	27,8	77,7	165	270	314	379	335	172	134	137	92,7
Наименьший	1,68	3,23	1,63	72,2	138	136	90,9	17,2	3,39	8,84	10,3	8,04
вдхр Чардаринское. 1972—1985 гг.												
Средний	32,2	15,7	33,8	159	301	329	285	143	84,1	86,2	82,1	60,4
Наибольший	83,4	42,3	55,7	220	398	477	561	365	204	167	165	132
Наименьший	1,85	2,57	1,00	93,8	158	109	108	41,4	22,4	32,4	24,2	19,8
вдхр Уртатокайское. 1972—1985 гг.												
Средний	—	—	—	3,33	2,96	5,34	7,62	4,23	0,81	1,90	1,59	1,88
Наибольший	—	—	—	6,89	14,3	18,1	18,4	13,2	4,86	3,77	3,14	2,77
Наименьший	—	—	—	1,09	1,17	1,63	2,33	0,71	0,04	0,04	0,04	1,88
вдхр Туябугузское. 1972—1985 гг.												
Средний	2,54	1,98	3,32	6,07	13,1	17,1	18,8	12,9	4,75	3,56	3,17	2,32
Наибольший	—	—	—	8,67	14,3	20,1	20,7	14,5	5,61	3,77	3,14	2,77
Наименьший	—	—	—	4,88	9,30	16,0	18,4	11,4	1,38	0,92	0,67	0,54

нивание температуры по глубине и резкое сокращение теплозапаса.

В осенний период (октябрь — ноябрь) интенсивного наполнения водохранилища водная масса находится в неустойчивом состоянии и ей свойственно чередования состояния гомотермии и слабо выраженной прямой стратификации.

Подобное внутригодовое распределение температур имеет водная масса руслового долинного Туябугузского водохранилища, основное наполнение которого осуществляется в весенний период (рис. 5.12). Для летнего периода характерна прямая температурная стратификация с разностью температур поверхностного и придонного слоев воды до $10-12^{\circ}\text{C}$. Это объясняется поступлением в водохранилище значительного объема охлажденных грунтовых вод, которые опускаются в придонные горизонты. Слой скачка, несмотря на значительную разницу температур поверхностного и придонного слоев воды, отсутствует, и имеет место плавное падение температуры водной массы ко дну. В период интенсивной сработки и опорожнения водохранилища наблюдается выравнивание температуры всей водной массы, которая находится в состоянии глубокой гомотермии.

Для расчета составляющих теплового баланса и оценки теплозапаса водной массы всего водохранилища необходимы данные о средних температурах отдельных слоев и всей водной массы в целом. Как показали исследования, проведенные ККГМО на

равнинных водохранилищах Средней Азии [61, 146], среднюю температуру воды водоема, а также отдельных ее слоев можно оценивать по зависимости, построенной по данным термических съемок и наблюдениям за температурой на озерных гидрологических постах.

Зависимости средней температуры воды всего водохранилища от температуры воды, наблюдаемой на прибрежных гидрологических постах, были получены для Чимкурганского, Каттакурганского, Уртатокайского и Туябугузского, Кайраккумского и Куюмазарского водохранилищ.

Теплосодержание водной массы водохранилищ или их теплозапасы определялись за месячные интервалы времени по уравнению

$$Q = W t_{\text{ср}} \rho C,$$

где W — объем водной массы, $t_{\text{ср}}$ — средняя температура водной массы, ρ — плотность воды, г/см^3 , C — теплоемкость воды, $\text{Дж/(г}^{\circ}\text{C)}$.

Теплозапасы для семи среднеазиатских водохранилищ (табл. 5.3) были подсчитаны по годам за четырнадцатилетний период (1972—1985 гг.).

Определение теплозапасов осуществлялось на первое число месяца, и на эту же дату определялся объем водной массы по зависимости $W = f(H)$ и температура водной массы по зависимости средней температуры водной массы от температуры воды, измеренной на прибрежном гидрологическом посту (см. рис. 5.7).

Для водохранилищ, у которых зависимость объемов воды от ее уровня имеет нелинейный характер, а также наблюдается значительная стратификация температуры воды по глубине, расчет теплозапасов осуществляется послойно с дальнейшим суммированием теплозапасов всех слоев. Это касается подгорных, долинных, русловых водохранилищ (Уртатокайское, Чарвакское и др.) с резкой асимметрией их чаш.

Если на естественных озерах в условиях малых значений изменения объема фактором, определяющим запасы тепла, выступает температура воды, то на водохранилищах изменение объема водных масс является определяющим во внутригодовом ходе теплозапасов.

В этой связи следует обратить внимание на значительную разницу в экстремальных значениях теплозапасов среднеазиатских водохранилищ, особенно в вегетационный период, когда в маловодные годы срабатывается практически вся водная масса (см. главу 3, 4).

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС

Изменение количества тепла в водоеме определяется соотношением прихода и потерь тепла, или тепловым балансом. Тепловой режим водной массы водохранилищ зависит от ряда факторов, преобладающим из которых является климат.

Наряду с метеорологическими условиями, существенное влияние на тепловой баланс водохранилищ оказывают особенности морфологического строения их чаш, условия наполнения и опорожнения водохранилищ, интенсивность водообмена, гидродинамические особенности водной массы и т. д.

Расчет тепловых балансов водохранилищ Средней Азии был выполнен по уравнению вида:

$$Q_p - Q_{\text{эф}} - Q_{\text{н}} \pm Q_{\text{ат}} + Q_{\text{п}} - Q_{\text{с}} \pm \Delta Q = \pm H,$$

где Q_p — тепло суммарной солнечной радиации, поглощенной водой; $Q_{\text{эф}}$ — эффективное излучение тепла водой, равное разности между излучением воды и встречным излучением атмосферы; $Q_{\text{н}}$ — тепло, затрачиваемое на испарение или выделяющееся при конденсации; $Q_{\text{ат}}$ — потери и приход тепла в результате турбулентного теплообмена поверхности воды с атмосферой; $Q_{\text{п}}$ — тепло, приносимое стоком в водоем; $Q_{\text{с}}$ — тепло, теряемое со стоком из водоема; ΔQ — изменение количества тепла в водной массе за расчетный период, H — невязка теплового баланса.

В результате недостаточной изученности и исключительно малых значений ряд компонентов теплового баланса нами не рассматривался; т. е. тепло, затрачиваемое на таяние льда и выделяющееся при ледообразовании, приток — отток тепла с грунтовыми водами, тепло, поступающее с жидкими осадками или затрачиваемое на таяние твердых осадков, адвективный перенос тепла течениями, тепло выделяемое в результате жизнедеятельности хемогенных бактерий, теплообмен с ложем водохранилищ.

Солнечная радиация является основным источником энергии большинства процессов, протекающих в атмосфере, гидросфере и в верхних слоях литосферы. Результирующей характеристикой процесса преобразования лучистой энергии солнца является радиационный баланс.

Радиационный баланс, как важнейший климатообразующий фактор, является по существу основным компонентом в приходных статьях теплового баланса водохранилищ Средней Азии и рассчитывается по уравнению:

$$R = Q_p - Q_{\text{эф}}.$$

Значение Q_p рассчитывалось по уравнению

$$Q_p = Q(1 - A),$$

где Q — суммарная радиация, падающая на водную поверхность; A — альбедо водной поверхности [22, 69].

Альбедо водной поверхности зависит от ряда факторов — высоты солнца, облачности, соотношения прямой и рассеянной радиации, глубины и прозрачности водоема, степени волнения. В связи с отсутствием стационарных наблюдений в открытой области среднеазиатских водохранилищ альбедо определялось по таблицам Н. Е. Тер-Маркарянца, данные которых достаточно хорошо согласуются с фактическими экспериментальными наблюдениями, проведенными экспедициями САНИГМИ на Кайраккумском и Чарвакском водохранилищах, а также на оз. Тузкане [45].

Значения Q для каждого месяца определялись по зависимости

$$Q = Q_s[1 - (1 - K)n],$$

где Q_s — возможная месячная суммарная радиация при ясном небе, n — общая облачность в долях единицы, K — коэффициент, зависящий от строения облачности, степени закрытости неба облаками, прозрачности атмосферы, отражающей способности подстилающей поверхности. Для условий Средней Азии значения коэффициента K варьируют от 0,20 до 0,60 как по территории, так и во времени.

Для определения суммарной радиации, как и альбедо, в связи с отсутствием актинометрических наблюдений были использованы материалы актинометрических наблюдений близлежащих к водохранилищам метеорологических станций. При расчете радиационного баланса Кайраккумского водохранилища использовались данные наблюдений МС Кайраккумское водохранилище, Каттакурганского и Куюмазарского водохранилищ — метеостанций г. Самарканд и Чимкурганского водохранилища — метеостанции Карши.

Значения суммарной солнечной радиации, полученные на этих метеорологических станциях, пересчитывались для условий рассматриваемых водохранилищ согласно Руководствам [69, 140].

Суммарная радиация сравнительно мало изменяется в пространстве, и для таких небольших по площади водохранилищ, как Чимкурганское, Каттакурганское и Куюмазарское, заметных различий в ее значениях не наблюдается.

Расходной составляющей радиационного баланса является эффективное излучение водной поверхности, определяемое разностью восходящих и нисходящих потоков длинноволновой радиации, зависящей от термического режима деятельного слоя водной поверхности и метеорологических условий пограничного слоя атмосферы.

Для расчета эффективного излучения была использована зависимость вида

$$Q_{\text{эф}} = 0,91\sigma T^4(0,41 - 0,05\sqrt{e})(1 - Cn) + 0,0034\Delta T - 0,0065,$$

Тепловой баланс среднеазиатских водохранилищ, 10^3 Дж/(см²·мес)

Составляющая	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
вдхр Чимкуртанское													
Радиационный баланс	4,0	16,2	27,7	42,0	52,5	60,4	61,7	52,3	36,5	19,3	9,2	3,4	385,2
Потери тепла на испарение	5,2	4,5	6,1	15,0	35,3	58,3	61,3	52,0	44,9	22,9	11,3	6,9	323,7
Теплообмен за счет притока — оттока	-4,2	-1,5	0,3	-3,0	0,0	1,1	0,4	-1,1	-2,2	-5,4	-5,1	-4,7	-25,4
Приток — отток	5,0	4,0	7,7	15,6	4,6	-18,2	-66,5	-92,0	-16,0	22,4	10,5	6,4	-116,5
Теплообмен в водной массе	-0,3	11,0	33,1	42,3	18,2	-17,2	-70,5	-100,2	-23,8	19,4	4,7	-1,5	-84,8
Невязка 10^3 Дж/(см ² ·мес)	-0,1	3,2	-3,5	-2,7	3,6	2,2	4,8	7,4	-2,8	-6,0	-1,4	-0,3	4,4
%	1	16	9	5	6	3	4	5	4	14	7	3	1
вдхр Каттакуртанское													
Радиационный баланс	8,3	16,2	28,2	38,7	52,9	63,4	66,8	53,8	33,6	16,0	4,7	3,6	386,2
Потери тепла на испарение	7,0	10,3	16,3	20,9	50,9	65,2	78,9	70,3	50,0	27,6	11,6	7,0	415,4
Теплообмен с атмосферой	1,3	4,0	7,0	8,0	9,6	17,0	16,0	12,0	6,0	-2,0	-3,7	-3,5	65,7
Приток — отток	2,0	1,6	0,4	1,8	0,7	-15,3	-43,0	-65,1	9,0	29,0	13,0	13,0	-64,6
Теплообмен в водной массе	2,0	8,3	16,8	25,9	10,4	-2,9	-43,3	-68,9	-2,2	16,8	1,0	8,1	-28,1
Невязка 10^3 Дж/(см ² ·мес)	2,6	3,2	2,5	1,0	1,9	2,8	4,2	-0,7	0,8	-1,4	1,4	-2,0	164,0
%	23	15	7	2	3	4	3	1	2	3	8	12	3
вдхр Кайраккумское													
Радиационный баланс	5,7	11,5	23,8	38,9	50,0	60,7	62,3	50,6	35,5	20,2	7,9	5,1	372,2
Потери тепла на испарение	6,2	0,1	10,1	17,7	40,5	57,0	60,5	52,6	36,4	24,6	10,1	9,0	333,8
Теплообмен с атмосферой	-3,7	2,5	3,0	1,7	2,8	1,7	0,3	0,5	-2,4	-4,6	-5,2	-3,2	-6,6
Приток — отток	1,3	0,4	3,4	4,0	0,6	-7,4	-16,9	-18,2	-0,3	6,6	4,0	0,7	-21,8
Теплообмен в водной массе	-2,7	3,3	19,1	24,6	6,2	-7,4	-19,4	-24,3	-1,5	0,1	-3,3	-5,4	-10,7
Невязка 10^3 Дж/(см ² ·мес)	-0,2	2,0	1,0	2,3	6,7	5,4	4,6	4,6	-2,1	-2,5	-0,1	-0,1	20,7
%	2	14	3	5	12	8	6	6	5	9	1	8	6
вдхр Уртатакайское													
Радиационный баланс	—	—	22,4	32,2	40,5	55,0	58,1	47,4	—	—	—	—	—
Потери тепла на испарение	—	—	9,5	18,3	33,1	38,1	51,8	-116,3	—	—	—	—	—
Теплообмен с атмосферой	—	—	2,9	-0,7	-0,6	0,5	2,0	-0,3	—	—	—	—	—
Приток — отток	—	—	3,6	15,2	25,0	14,5	-61,7	-147	—	—	—	—	—
Теплообмен в водной массе	—	—	15,0	16,5	27,1	35,3	-61,6	-150,0	—	—	—	—	—
Невязка 10^3 Дж/(см ² ·мес)	—	—	4,4	12,9	4,7	-3,4	8,1	3,8	—	—	—	—	—
%	—	—	15	27	7	5	7	2	—	—	—	—	—
вдхр Чарвакское													
Радиационный баланс	9,6	14,7	21,4	38,5	51,9	57,4	58,6	50,7	31,0	23,4	16,8	11,3	385,3
Потери тепла на испарение	5,0	9,6	12,6	20,5	31,0	38,9	48,2	43,6	28,9	19,7	13,4	9,2	280,6
Теплообмен с атмосферой	-0,8	-2,1	2,9	5,0	3,8	5,4	8,4	8,8	5,0	-1,3	-6,7	-7,5	20,9
Приток — отток	-5,4	-2,9	-1,3	36,0	45,2	14,2	-70,4	-101,3	-25,5	-9,6	-9,6	-8,8	-139,4
Теплообмен в водной массе	-1,3	-0,3	8,4	48,2	61,2	36,4	-53,6	-92,0	-16,8	-5,5	-11,7	-12,6	-39,6
Невязка 10^3 Дж/(см ² ·мес)	-0,3	0,4	2,0	10,8	8,7	1,7	2,0	6,6	-1,6	-1,7	-1,2	-1,6	25,8
%	3	3	8	14	9	2	2	5	3	6	4	6	5

где σ — постоянная Стефана — Больцмана, равная $3,41 \cdot 10^{-7}$ Дж/(см²·мин·К⁴), T — абсолютная температура воздуха, ΔT — разность абсолютных температур воды и воздуха, n — общая облачность в долях единицы, C — коэффициент, характеризующий влияние облачности.

Наибольшее эффективное излучение приходится на август — сентябрь, а наименьшее — на январь. Между этими месяцами наблюдается постепенное возрастание, а затем убывание эффективного излучения. Порядок значения эффективного излучения на всех водохранилищах одинаков. Радиационный баланс R является основным приходным компонентом теплового баланса. Расходными частями теплового баланса являются испарение с поверхности водоема и изменение теплозапасов в чаше водохранилища за счет сброса воды в вегетационный период.

Затраты тепла на испарение с водной поверхности водохранилищ [Дж/(см²·мес)], рассчитывались по формуле

$$Q_{\text{и}} = LE = 4,19 (595 - 0,565 t_{\text{ср}}),$$

где L — скрытая теплота испарения; E — испарение, $t_{\text{ср}}$ — температура поверхности воды.

Температура поверхности воды определялась по зависимости температуры воды на озерном гидрологическом посту и средней температуры поверхности воды всей акватории, полученной по данным термических съемок (см. рис. 5.7).

Потери и приход тепла в результате турбулентного теплообмена поверхности воды с атмосферой рассчитывались по формулам [22, 69], Дж/см²:

$$Q_{\text{та}} = 21,2n(t_{\text{п}} - t_{200})(1 + 0,72W_{200}),$$

$$Q_{\text{та}} = 27,7n(t_{\text{п}} - t_{200})(1 + 0,61W_{200}),$$

где n — число суток в месяце, t_{200} — температура воздуха на высоте 200 см над водной поверхностью, $t_{\text{п}}$ — температура поверхности воды, W_{200} — скорость ветра на высоте 200 см.

Значения температуры воздуха и скорости ветра на высоте 200 см над водной поверхностью приводились к условиям открытой водной поверхности согласно работе [140].

В тепловом балансе среднеазиатских водохранилищ, характеризующихся высокими показателями условного водообмена, велика роль теплового притока и стока, особенно в период их интенсивного наполнения и вегетационной сработки. Изменение количества тепла (Дж/см²), связанное с притоком и оттоком объема водной массы, определялось по формуле

$$Q_{\text{приток (сток)}} = 4 \cdot 188 (V_{\text{пр}} J_{\text{пр}} C \cdot \rho) / t,$$

где V — объем притока (оттока) водной массы за месяц, км³, t — средняя месячная температура притока (стока) тепла, f — площадь водной поверхности водохранилища, км², ρ — плотность воды, C — теплоемкость воды.

Согласно выше приведенным методикам были рассчитаны тепловые балансы Чимкурганского, Каттакурганского, Кайраккумского, Уртатонкского и Чарвакского водохранилищ за месячные интервалы для среднего года (табл. 5.4).

ГЛАВА 6. ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ

Ледовый режим водохранилищ Средней Азии изучен с различной степенью детализации, так как, с одной стороны, отличительной чертой рассматриваемых водоемов является неежегодное их замерзание, а с другой — отсутствие наблюдений за ледовыми явлениями. Следует отметить, что на таких важных в народнохозяйственном отношении предгорных водохранилищах, как Нурекское и Токтогульское, наблюдения за ледовыми явлениями отсутствуют. Материалы наблюдений за элементами ледового режима относятся в большинстве своем к сведениям, полученным на озерных гидрологических постах (ОГП), и в этой связи характеризуют лишь сравнительно небольшую часть прилегающей к посту акватории водохранилища. Стационарные, стандартные наблюдения за ледовыми явлениями ведутся на 14 водохранилищах по 16 гидрологическим постам гидрометеорологической сети Госкомгидромета СССР (см. табл. 1.1).

Время появления осенних ледовых образований и продолжительность периода льдообразования зависят в первую очередь от климатических условий и связано прежде всего с синоптическими процессами в периоды, предшествующие резким похолоданиям, замерзанию и во время замерзания. Для территории Средней Азии, как правило, понижение температуры воды до 0°C и развитие ледовых явлений определяется северными и северо-западными вторжениями холодных воздушных масс.

Значительное влияние на процесс замерзания водохранилищ оказывают морфологические и динамические их особенности, которые во многом определяют теплозапасы и инерционность водных масс.

Ледовый режим водохранилищ Средней Азии представляет классическое сочетание трех фаз: замерзание, ледостав и вскрытие. Однако в силу климатических условий региона все три фазы могут повторяться не ежегодно или ледовые явления могут совсем не наблюдаться [22, 24].

Льдообразование начинается с мелководных, верхних зон водохранилищ и заливов с последующим распространением в среднюю и приплотинную зону. На малых предгорных водоемах возможно одновременное замерзание всей акватории.

Наряду с вышеуказанными факторами, на процесс замерзания водохранилищ оказывает влияние режим осенне-зимнего водообмена и как косвенный показатель этого интенсивность наполнения или опорожнения водохранилищ, а также физико-химические свойства воды.

Водохранилища Средней Азии располагаются в различных физико-географических зонах, и влияние высотной поясности и широтной зональности на их ледовый режим, проявляется в смещении

дат появления ледовых явлений, установлении и продолжительности ледостава, вскрытия и очищения водоемов. В этой связи нами предложено водохранилища условно подразделять на равнинные (высота НПУ до 600 м), предгорные (600—1200 м) и горные (более 1200 м).

Замерзание водохранилищ. На равнинной территории переход температуры воздуха через 0°C в осенний период наблюдается в конце ноября—декабря, а в предгорной — в октябре—ноябре. Начало процесса льдообразования находится в теснейшей зависимости с понижением температуры воздуха, а следовательно, воды ниже 0°C . В прибрежных мелководных зонах в районах озерных гидрологических постов ледовые кратковременные явления (1—3 сут) могут наблюдаться при эпизодических понижениях температуры воздуха ниже 0°C . На среднеазиатских водохранилищах осенние ледовые образования в виде заберегов, сала и шуги появляются прежде всего в мелководных зонах при наборе суммы средних суточных отрицательных температур воздуха ($\Sigma -t^{\circ}\text{C}$) 10—60 $^{\circ}\text{C}$. В силу своего высотного и широтного расположения первыми начинают замерзать предгорные и «северные» водохранилища, что главным образом связано с более повышенной суровостью климатических условий зон их расположения.

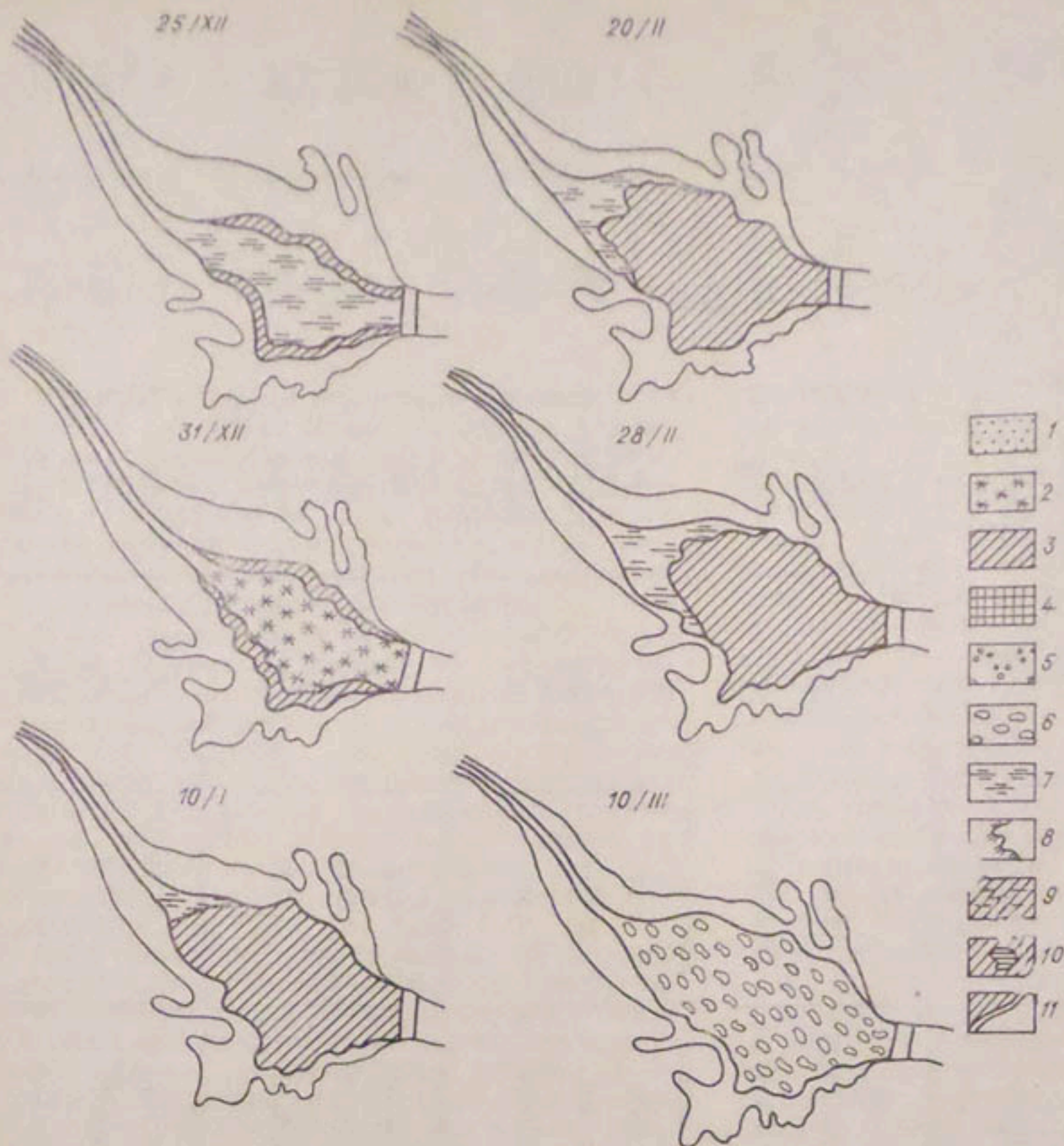
Средние даты начала осенних ледовых явлений на предгорном Уртатокайском (1200 м над ур. м.) и «северном» Бугуньском ($42^{\circ}44'$ с. ш.) водохранилищах приходятся соответственно на 12 и 19/XII, а крайние даты их появления могут варьировать в течение 60 сут и приходятся на ноябрь, январь (табл. 6.1). Продолжительность периода осенних ледовых явлений на Уртатокайском и Бугуньском водохранилищах составляет в среднем 7—8 сут с наибольшей продолжительностью до 25 сут и наименьшей до 0, когда в 1974 г. ледостав на водохранилищах установился в течение одних суток.

Учитывая малые размеры акватории Уртатокайского водохранилища, представляется возможность достаточно полно осуществлять визуальное картирование ледовых явлений (рис. 6.1).

Как указывалось выше, для равнинных водохранилищ с неустойчивым ледовым покровом характерно периодическое их замерзание. Так, на расположенном в бассейне р. Кашкадарьи Чимкунганском водохранилище ($\varphi = 38^{\circ}56'$) ледовые явления за период его эксплуатации (1962—1985 гг.) наблюдались в 46 % случаев, а ледостав — в 25 % лишь в нехарактерные для данного района холодные зимы (табл. 6.2). Наибольшая продолжительность ледовых явлений отмечалась в крайне суровую для Средней Азии зиму 1969 г. и составляла 52 сут, а наиболее продолжительный

Ледовые явления на участке озерного гидрологического поста

Характеристика	Дата				Продолжительность, сут			
	начала ледовых явлений (осенних)	начала ледостава	окончания ледостава	оттаивания ото льда	осенних ледовых явлений	ледостава	весенних ледовых явлений	вскрытия, освобождения ото льда
вдхр Чардаринское — пос. Арнасай, 1970—1985 гг.								
Средняя	25.12 (94 %)	28.12	20.02	28.02	3	54	8	300
Ранняя (наибольшая)	15.11.77	16.11.77	24.01.83	25.01.83	12	99	39	365
Поздняя (наименьшая)	22.01.70	18.01.79, 80	23.03.72	29.03.72	0	0	0	1981
Год (% случаев)					31 %	1970, 1981	1970, 1974, 1984	251
								1984
вдхр Чардаринское — г. Чардара, 1969—1985 гг.								
Средняя	7.01 (76 %)	15.01 (70 %)	20.02	27.02	8	36	8	316
Ранняя (наибольшая)	12.12.83	13.12.83	27.01.83	28.01.83	44	75	25	366
Поздняя (наименьшая)	06.02.78	06.02.78	18.03.69	23.03.69, 72	0	0	0	1970, 1981
Год (% случаев)					24 %	30 %	30 %	264
								1969
вдхр Ургатокайское — с. Ала-Бука, 1966—1985 гг.								
Средняя	12.12	20.12	19.03	24.03	8	90	13	262
Ранняя (наибольшая)	06.11.75	15.11.75	21.02.66	27.02.66	25	135	31	291
Поздняя (наименьшая)	07.01.70	07.01.70	06.04.84	07.04.84	0	52	1	1970
Год (% случаев)					1969	1965-66	1984	219
								1975
вдхр Бугуньское — свх «Бугунь», 1968—1985 гг.								
Средняя	19.12	26.12	20.02	05.03	7	56	13	282
Ранняя (наибольшая)	18.11.77	02.12.85	31.12.73	14.02.79	25	85	53	314
Поздняя (наименьшая)	17.01.81	31.01.68	17.03.80	27.03.69	0	5	1	1979
Год (% случаев)					1971, 1974, 1985	1973	1977	252
								1984
вдхр Бадамское — с. Михайловка, 1978—1985 гг.								
Средняя	30.12 (88 %)	03.01	4.03	6.03	4	60	3	304
Ранняя (наибольшая)	04.12.85	07.12.85	10.02.79	14.02.79	18	91	7	345
Поздняя (наименьшая)	25.01.79, 80	26.01.79, 80	23.03.84	27.03.84	0	0	0	1979
Год (% случаев)					1981	1981	1981	247
								1984



ледостав отмечался в 1969 и 1972 гг. — 40 сут (табл. 6.2).

Ледовые явления на расположенных в бассейне р. Зеравшан южнее 40° с. ш. Каттакурганском и Куюмазарском водохранилищах за период их эксплуатации наблюдались соответственно в 59 и 54 % случаев при средних датах появления льда во второй декаде января (табл. 6.2).

Наиболее раннее появление заберегов на этих водохранилищах, отмечалось в 1962 г. в третьей декаде ноября, а наиболее позднее — во второй декаде февраля 1984 г. Температура воды в период замерзания водоемов колебалась от 0,9 до 2°C . При этом сумма средних суточных значений отрицательных температур воздуха колебалась от -12 до -54°C [2].

Продолжительность периода осенне-зимнего льдообразования равна в среднем 5—7 сут и изменяется в зависимости от метеорологических условий года от 1 до 26 сут на Каттакурганском и от 3 до 40 сут на Куюмазарском водохранилищах (рис. 6.2, 6.3). При затянувшемся процессе замерзания, ледостав устанавливается во второй декаде февраля.

Появление льда на имеющем значительную протяженность Кайраккумском водохранилище во многом зависит от морфологических особенностей

различных зон акватории. Существенное влияние на замерзание водохранилища оказывает ветер и вызываемое им волнение, способствующее перемешиванию охлажденных поверхностных водных масс с более теплыми глубинными, а путем механического воздействия препятствующие установлению ледостава. С 1959 по 1985 гг. в приплотинной зоне ледовые явления наблюдались в 85 % случаев (г. Кайраккум), а в центральной — в 78 % (киш. Джидалык), что во многом объясняется ветровым режимом и вызываемым волнением (табл. 6.2).

Процесс льдообразования на Кайраккумском водохранилище начинается в верхней мелководной зоне, чему во многом способствует ветровое волнение. Вследствие малых глубин, интенсивного перемешивания водных масс, быстрого истощения теплозапасов и переохлаждения всей водной толщи ледовые явления в верховьях водохранилища формируются на 5—6 сут раньше, чем в центральной и приплотинной зонах.

В глубоководных зонах, напротив, ветровое перемешивание способствует притоку тепла из нижележащих слоев воды, тем самым препятствуя переохлаждению поверхностных слоев.

В связи с преобладанием в зимний период ветров восточных направлений наблюдается вынос сала, шуги и мелкобитого льда из верхней льдо-

Ледовые явления на участке озерного гидрологического поста

Характеристика	Дата		Продолжительность, сут	
	начала ледовых явлений	очищение ото льда	ледовых явлений	ледостава
вдхр Чимкурганское — плотина. 1962—1985 гг.				
Средняя	нб (54 %)			
Ранняя (наибольшая)	25.12.76	28.12.76	$\frac{52}{1969}$	$\frac{40}{1969, 1972}$
Год (% случаев)				
Поздняя (наименьшая)	11.02.84	14.03.72	$\frac{0}{54 \%}$	$\frac{0}{75 \%}$
Год (% случаев)				
вдхр Каттакурганское — пгт Каттакурганское водохранилище. 1954—1985 гг.				
Средняя	11.01. (59 %)	08.02	25	22
Ранняя (наибольшая)	27.11.62	05.01.60	$\frac{73}{1968-69}$	$\frac{68}{1968-69}$
Год (% случаев)				
Поздняя (наименьшая)	12.02.84	19.03.72	$\frac{0}{41 \%}$	$\frac{0}{44 \%}$
Год (% случаев)				
вдхр Куюмазарское — пос. Куюмазар. 1962—1985 гг.				
Средняя	13.01. (54 %)	13.02	21	—
Ранняя (наибольшая)	24.11.62	01.01.64	$\frac{85}{1968-69}$	$\frac{49}{1968-69}$
Год (% случаев)				
Поздняя (наименьшая)	17.02.76	27.03.69	$\frac{0}{46 \%}$	$\frac{0}{74 \%}$
Год (% случаев)				
вдхр Кайраккумское — кишл. Джидалык 1959—1985 гг.				
Средняя	02.01. (78 %)	13.02	38	30
Ранняя (наибольшая)	27.11.82	02.01.60	$\frac{74}{1968-69}$	$\frac{67}{1968-69}$
Год (% случаев)				
Поздняя (наименьшая)	25.02.76	16.03.72	$\frac{0}{22 \%}$	$\frac{0}{44 \%}$
Год (% случаев)				
вдхр Кайраккумское — г. Кайраккум. 1959—1985 гг.				
Средняя	29.12. (85 %)	16.02	44	40
Ранняя (наибольшая)	18.11.75	04.01.61	$\frac{92}{1983-84}$	$\frac{74}{1983-84}$
Год (% случаев)				
Поздняя (наименьшая)	07.02.68	15.03.69	$\frac{0}{15 \%}$	$\frac{0}{33 \%}$
Год (% случаев)				
вдхр Туябугузское — пгт Туябугуз. 1964—1985 гг.				
Средняя	20.01. (50 %)	24.02	34	26
Ранняя (наибольшая)	21.12.85	13.02.75, 80	$\frac{55}{1984-85}$	$\frac{45}{1984-85}$
Год (% случаев)				
Поздняя (наименьшая)	06.02.84	15.03.72	$\frac{0}{50 \%}$	$\frac{0}{54 \%}$
Год (% случаев)				
вдхр Тедженское II — пгт Тедженстрой-2. 1961—1985 гг.				
Средняя	02.01. (60 %)	28.01	23	23
Ранняя (наибольшая)	26.11.62	03.12.62	$\frac{54}{1971-72}$	$\frac{43}{1971-72}$
Год (% случаев)				
Поздняя (наименьшая)	05.02.67	13.03.72	$\frac{0}{40 \%}$	$\frac{0}{64 \%}$
Год (% случаев)				
вдхр Хауз-Ханское — пгт Хауз-Хан. 1971—1985 гг.				
Средняя	08.01. (79 %)	12.02	26	5
Ранняя (наибольшая)	07.12.83	16.12.82	$\frac{72}{1971-72}$	$\frac{41}{1971-72}$
Год (% случаев)				
Поздняя (наименьшая)	27.01.79	23.03.72	$\frac{0}{21 \%}$	$\frac{0}{73 \%}$
Год (% случаев)				

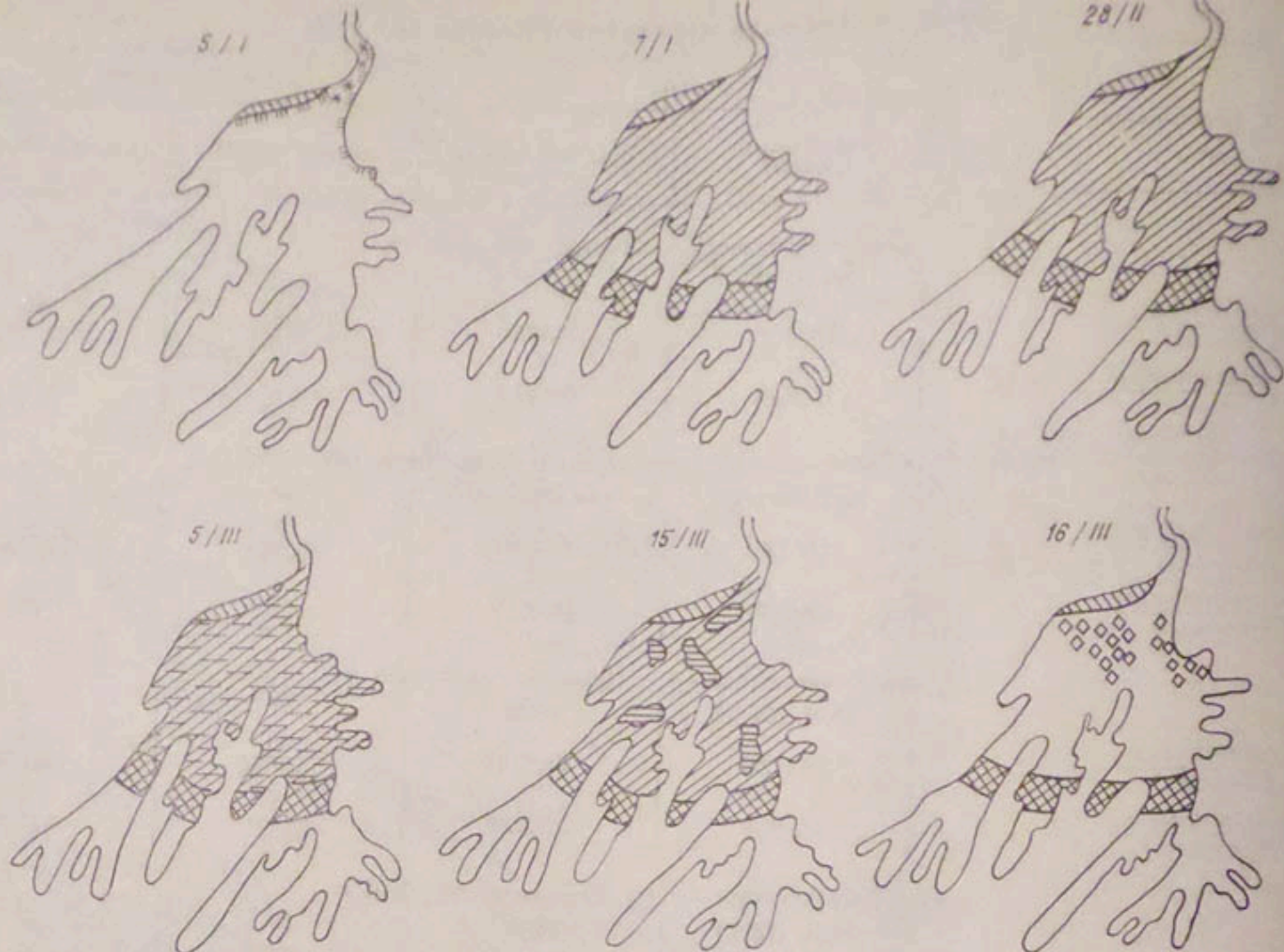


Рис. 6.2. Картограммы ледовых явлений Каттакурганского водохранилища.
Усл. обозначения см. на рис. 6.1.

формирующей зоны в центральную и приплотинную. Именно этот процесс объясняет появление льда в этих зонах даже при положительных значениях температуры воды и воздуха. По ОГП

Кайраккум средние даты появления ледовых явлений приходятся на 29/XII, а ОГП Джидалык — на 2/I при наборе суммы средних суточных отрицательных температур воздуха — 10...—20 °С.

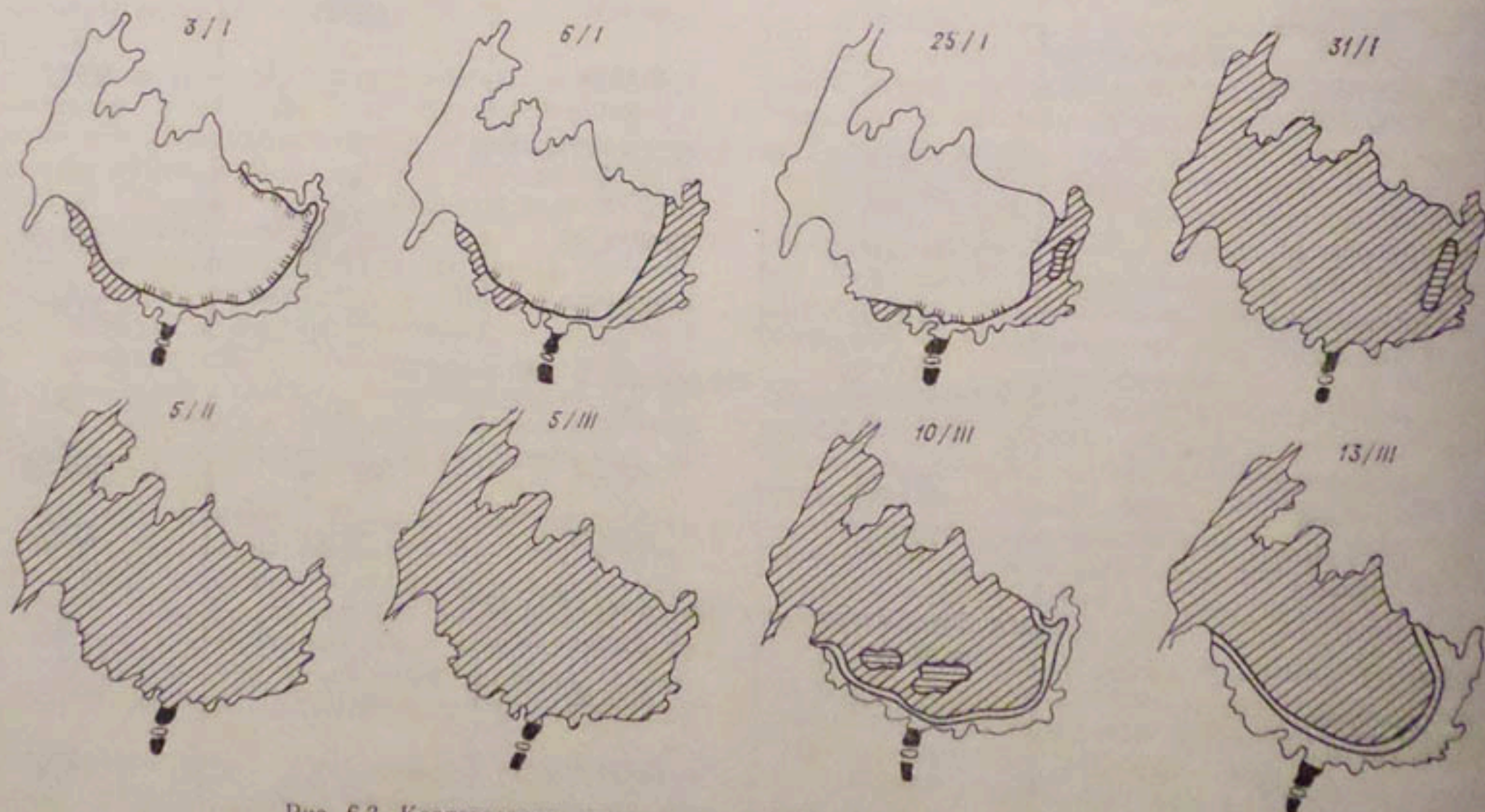


Рис. 6.3. Картограммы ледовых явлений Куюмазарского водохранилища.
Усл. обозначения см. на рис. 6.1.

Следует отметить, что переход температуры воды через 0°C в приплотинной зоне наблюдается на 3—5 сут позже, чем в центральной. Однако вследствие ветрового переноса шуги и сала ледовые явления в приплотинной зоне (г. Кайраккум) наблюдаются раньше и их продолжительность дольше в среднем на 6 сут.

В зависимости от теплозапасов и гидродинамических условий, что опять же определяется метеорологическими условиями года и морфологическими особенностями акватории Кайраккумского водохранилища, даты появления ледовых образований варьируют с ноября по февраль. В осенне-зимний период неустойчивой зимы 1975-76 г. на гидрологическом посту Кайраккум появление ледовых образований отмечалось 18/X и было самое раннее за период наблюдений, в то время как на ОГП Джидалык ледовые образования сформировались лишь 25/II и были самыми поздними.

Для приплотинной зоны водохранилища продолжительность периода осенних ледовых явлений составила 3—25 сут, для центральной — 2—45 сут при средней продолжительности соответственно 11 и 21,5 сут. Более продолжительный период осенних ледовых явлений в центральной зоне также объясняется действием ветра и волнения, препятствующим установлению ледостава.

Появление ледовых образований на Чардаринском водохранилище приходится на конец декабря — начало января (ОГП Арнасай, 25/XII; ОГП Чардара, 7/I) и, так же как на Кайраккумском водохранилище, распространение льда по акватории во многом зависит от морфологического строения чаши водоема и ветрового режима в осенне-зимний период.

Более позднее замерзание акватории приплотинной зоны объясняется рядом факторов, в первую очередь, ее значительными глубинами (более 20 м), а следовательно, и наибольшим теплозапасом, изменениями сбросов в связи с работой ГЭС в типовом режиме, а также вследствие ветров северных направлений, имеющих наибольшую повторяемость и способствующих выносу сала, шуги и мелкобитого льда в зону Арнасайского залива.

Процесс льдообразования начинается в прибрежных зонах верховьев водохранилища и Арнасайского залива. Появление льда отмечается при наборе сумм отрицательных температур воздуха от -10 до -25°C , в то время как для глубоководной зоны (ОГП Чардара) сумма отрицательных температур воздуха, необходимая для появления льда, возрастает до $-20...-45^{\circ}\text{C}$. В этой связи с 1969 по 1985 г. ледовые явления в приплотинной зоне формировались в 76 % случаев, в мелководном Арнасайском заливе в 94 % (см. табл. 6.1).

В зависимости от метеорологических условий года крайние даты появления ледовых явлений варьируют с 15/XI по 21/I для ОГП Арнасай и с 12/XII по 6/II для ОГП Чардара, что также указывает на влияние морфологических особенностей и гидродинамических условий на формирование ледового режима. В связи с быстрым охлаждением мелководных зон, которое происходит в условиях гомотермии, ранняя дата начала осенних ледовых явлений почти на месяц опережает замерзание глубоководной зоны. Средняя продолжительность периода замерзания для приплотинной зоны составляет 8 сут и может изменяться от 0

до 11 сут, в то время как в мелководной зоне эти параметры оцениваются в 3 сут и изменяются от 0 до 12 сут (см. табл. 6.1). Наиболее продолжительный период с осенне-зимними ледовыми явлениями наблюдался в приплотинной зоне водохранилища в 1971 г., когда в этой зоне сплошного ледостава не наблюдалось, хотя общий период с ледовыми явлениями составил 50 сут. В целом, смерзание ледовых образований в мелководных зонах и заливах осуществляется быстрее, чем в приплотинной зоне, и довольно часто занимает одни сутки и менее (1972, 1973, 1975, 1977, 1980, 1982, 1983, 1984, 1985 гг.).

Льдообразование на Туябугузском водохранилище в силу его специфических особенностей с 1964 по 1985 г. наблюдалось лишь в 50 % случаев, а средняя дата появления льда приходилась на 20/I. В отличие от других водоемов это наиболее поздняя из средних дат появления льда на водохранилищах Средней Азии. Подобное явление во многом объясняется значительной аккумуляцией в зимний период теплых подземных вод. Следует также отметить, что льдообразование здесь начинается при достижении сумм отрицательных температур воздуха $-20...-50^{\circ}\text{C}$. В абсолютном большинстве случаев замерзание водохранилища происходит в январе и лишь в 1985 г. забереги отмечались 21/XII. Поздняя дата появления отмечалась в середине первой декады февраля 1984 г. (см. табл. 6.2). Средняя продолжительность осенне-зимнего льдообразования составляет 10 сут. Исключительным был период льдообразования в суровую зиму 1969 г. (24 сут) (см. табл. 6.2).

Из основных видов льда отмечаются забереги и шуга. Последняя хорошо картируется, так как в период ее образования водохранилище находится в опорожненном состоянии и шуга охватывает лишь приплотинную зону (рис. 6.4).

На водохранилищах Туркмении ледовые явления наблюдаются на Тедженском в 60 % случаев, а на Хауз-Ханском — в 79 % случаев, при этом ледостав устанавливается на Тедженском водохранилище лишь в 40 % случаев, а на Хауз-Хане — в 27 % случаев. Появление льда в большинстве случаев отмечается в конце декабря — начале января, а средняя дата этого явления приходится на Тедженском водохранилище на 2/I, а на Хауз-Ханском — на 8/I. В связи со свободным затоком на территорию Туркмении холодных северных и северо-западных воздушных масс ледовые явления отличаются продолжительностью и составляют в среднем 23—26 сут при максимальной их продолжительности до 54—72 сут (зима 1971-72 г.) (см. табл. 6.2).

Следует отметить, что в период замерзания Тедженское водохранилище находится в опорожненном состоянии и теплозапас водной массы не существен, в то время как на водохранилище Хауз-Ханском наблюдаются интенсивное его наполнение и более значительный теплозапас, что во многом определяет более ранние сроки появления льда на Тедженском водохранилище (26/XI 1962 г.) и более продолжительный период льдообразования на Хауз-Ханском.

Обобщение материалов, приведенных в табл. 6.1 и 6.2, позволило получить ориентировочную зависимость средних дат начала осенне-зимних ледовых образований от широтного положения равнин-

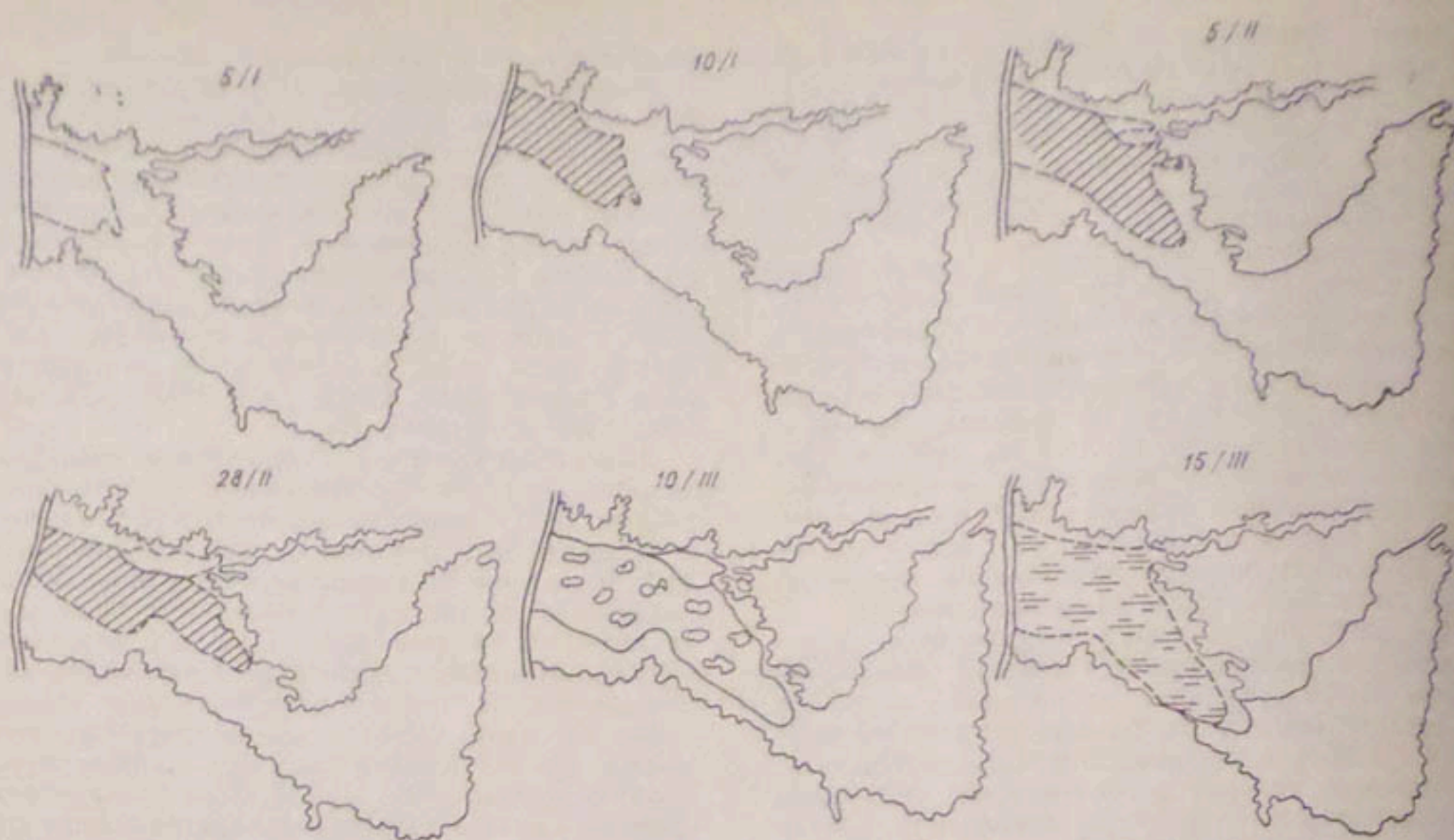


Рис. 6.4. Картограммы ледовых явлений Туымузского водохранилища.
Усл. обозначения см. на рис. 6.1.

ных водохранилищ (рис. 6.5), а также построить карту-схему изолиний этих дат (рис. 6.6).

Продолжительность периода ледостава. Ледостав на водохранилищах Средней Азии отмечается

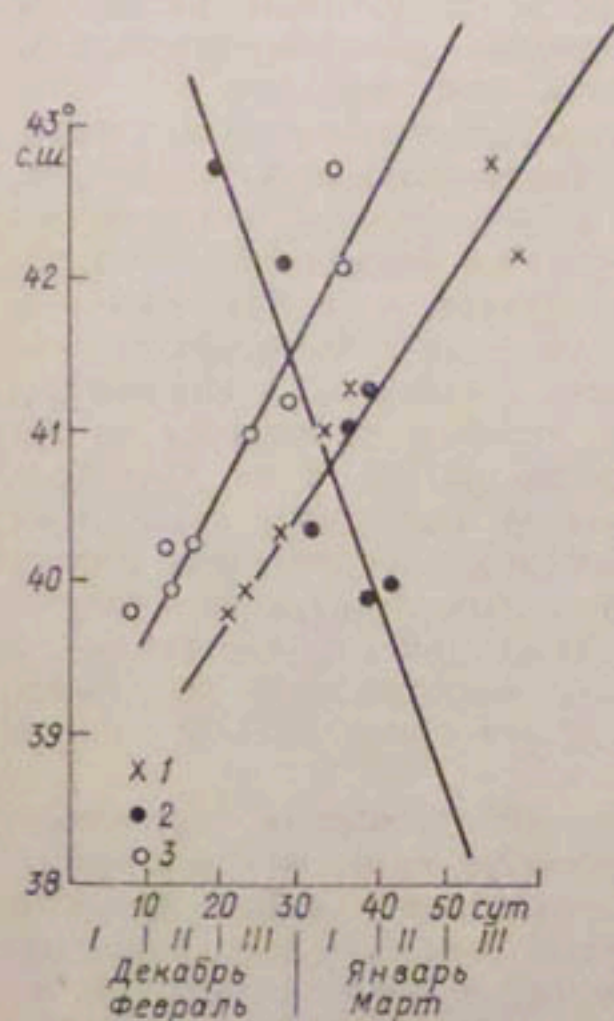


Рис. 6.5. Зависимость продолжительности ледостава (1), дат начала (3) и окончания (2) ледовых явлений от широты расположения водохранилищ.

не ежегодно, а его продолжительность определяется суровостью зим, особенностями режима эксплуатации водохранилищ в зимний период, их морфологией и гидродинамическими условиями.

Сумма отрицательных средних суточных температур воздуха, необходимая для установления неподвижного ледяного покрова, колеблется от -50 до -100°C .

Из рассматриваемых водохранилищ ледостав ежегодно бывает лишь на Уртатокайском и Бугуньском водохранилищах. Средняя дата замерзания водоема приходится на третью декаду декабря. Наиболее ранний ледостав характерен для предгорных водохранилищ и приходится на ноябрь, а наиболее поздний — на первую декаду января (Уртатокайское водохранилище). В период замерзания и образования ледостава в режиме эксплуатации водохранилищ отмечается фаза осенне-зимнего наполнения, что может заметно препятствовать формированию сплошного ледостава. Наглядным примером служит то же Уртатокайское водохранилище, на котором в этот период отмечается увеличение площади водной поверхности в результате интенсивного наполнения и формирования в приустьевой зоне полыньи чистой воды, сохраняющейся практически на протяжении всей зимы (см. рис. 6.1).

Продолжительность периода ледостава имеет весьма широкий диапазон и составляет в среднем 5—10 сут для водохранилищ южных широт (Хаузаханское), 20—40 сут для водохранилищ средних широт (Каттакурганское, Кайраккумское, Туымузское), повышаясь до 50—60 сут для «северных» водохранилищ (Бугуньское, Бадамское) и до 90 сут для водохранилища предгорной зоны (Уртатокайское, Чарвакское) (рис. 6.5).

Наибольшая продолжительность ледостава зафиксирована на Уртатокайском водохранилище и составила в зиму 1975-76 г. 135 сут. Столь продолжительный период ледостава объясняется не только суровостью климата предгорных районов, но и условиями эксплуатации водохранилища, так как в ноябре—декабре водохранилище все еще практически опорожнено и теплозапас воды минимален.



Рис. 6.6. Распределение средних дат начала осенних ледовых явлений на водохранилищах Средней Азии.

Для равнинных водохранилищ наибольшая продолжительность ледостава изменяется от 40 до 100 сут в зависимости от широтного положения водоемов (для Чардаринского водохранилища 99 суток, Бадамского 91 сут (см. табл. 6.1 и 6.2)).

Существенное влияние на продолжительность ледостава оказывает морфологическое строение чаш водохранилищ. Так, в мелководном Арнасайском заливе Чардаринского водохранилища продолжительность ледостава почти на 20 сут больше, чем в открытой приплотинной зоне, обладающей большим теплозапасом и более подверженной динамическим колебаниям водной массы.

На акватории Кайраккумского водохранилища, площадь водной поверхности которого в зимний период составляет 350—400 км², также наблюдаются заметные различия в продолжительности периода ледостава в связи с действием волнения и течений. В центральной зоне водохранилища (кишл. Джидалык) средняя продолжительность ледостава составляет 30 сут, в то время как в районе гидроузла, куда в результате ветров восточных направлений сгоняется битый лед с центральной акватории, продолжительность ледостава на 10 сут больше. При этом следует отметить, что на ОГП Джидалык ледостав зафиксирован в 56 % случаев против 67 % случаев на ОГП Кайраккум.

Толщина льда. Стационарные наблюдения за толщиной льда велись на ограниченном числе водохранилищ лишь в очень холодные зимы, когда появлялась возможность выхода на лед.

В наиболее суровую зиму 1968-69 г. толщина льда на равнинных водохранилищах достигала своей максимальной величины и составила для Каттакуртанского водохранилища 40 см, Куюмазарского 25 см, Кайраккумского 40 см, Туябугузского 30 см. На предгорных водохранилищах толщина льда нередко может достигать 50 см, а на таких водоемах, как Чарвакское водохранилище, составляла 70—73 см (1968-69 г.).

Интенсивность нарастания толщины льда зависит от разности между тепловым потоком, поступающим из воды к нижней поверхности льда, и тепловым потоком через лед в атмосферу. Нарастание идет наиболее интенсивно в период после смерзания, когда лед еще тонкий и слабо препятствует потере тепла в атмосферу. По весьма скудным материалам наблюдений за толщиной льда была получена ее зависимость от суммы средних суточных отрицательных температур воздуха, которая позволяет в условиях отсутствия наблюдений проводить ориентировочные оценки возможной толщины льда (рис. 6.7).

Ледяной покров в период смерзания имеет темный цвет за счет высокой прозрачности, но по мере наращивания толщины льда он приобретает беловатую окраску. Этому же способствует выпадение на лед снега и установление снежного покрова.

Ледяной покров имеет сложное строение, а его нарастание связано как с погодными условиями, так и с теплозапасом водных масс. Если из мелко-водных равнинных водохранилищах толщина льда

достигает 40 см при сумме средних суточных отрицательных температурах воздуха 300—350 °С, т. е. на предгорных глубоководных водоемах со значительным теплозапасом в начале зимы для формирования ледяного покрова толщиной 20—30 см требует уже (—400...—450 °С).

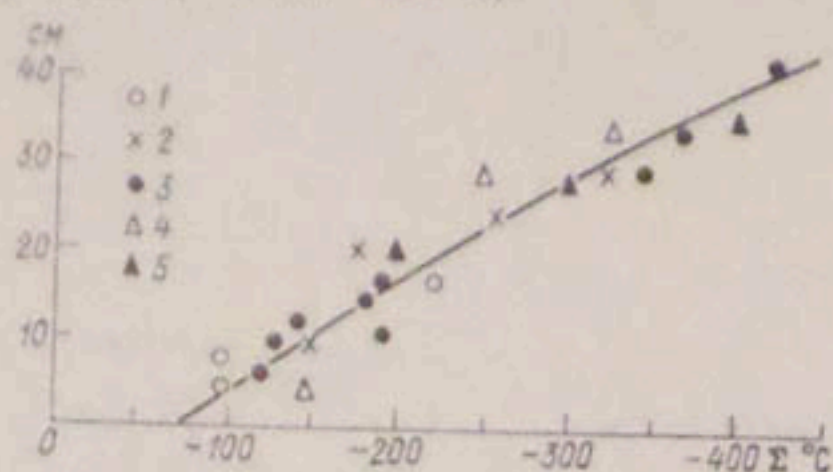


Рис. 6.7. Зависимости толщины льда (см) от сумм отрицательных температур воздуха для водохранилищ Средней Азии.
Водохранилища: 1—Каттакурганское, 2—Чардаринское, 3—Туймукское, 4—Бугуньское, 5—оз. Балхаш.

Вскрытие и очищение водохранилищ от льда. Вскрытие среднеазиатских водохранилищ определяется синоптическими процессами над территорией Средней Азии в феврале—марте.

Над равнинной частью территории Средней Азии переход температуры воздуха через 0 °С приходится на конец января—начало февраля, а в предгорных районах—на начало марта. В зависимости от гидрометеорологических условий периода вскрытия водохранилищ продолжительность периода их очищения от льда колеблется от 1 до 53 сут (см. табл. 6.1 и 6.2).

В феврале усиливается адвекция теплого тропического воздуха, формирующегося над Афганистаном, Ираном и Аравией. Поэтому средние даты вскрытия равнинных водохранилищ приходятся на конец января—первую-вторую декаду февраля в зависимости от широтного расположения, размеров и условий их наполнения [16].

В условиях наполняющегося водохранилища подъем уровня воды вызывает дробление ледяных полей, что способствует его таянию и сокращению периода весенних ледовых явлений и очищения водохранилищ ото льда.

Таяние снежно-ледового покрова весной начинается с таяния снега. Наиболее интенсивное таяние льда начинается после схода снежного покрова. Проникшее через лед тепло аккумулируется в верхних слоях воды и частично расходуется на таяние льда с нижней поверхности. Таяние льда осуществляется снизу и сверху, при этом снизу стает примерно 1/3 толщины ледяного покрова.

Продолжительность весенних ледовых явлений составляет в среднем 3—10 сут, но в редких случаях может затягиваться до 35—50 сут. Это связано в основном с теплыми зимами, когда ледостав устанавливается на непродолжительный период (3—5 сут) и после его разрушения наблюдают долго не таящие ледяные поля, дрейфующие под действием ветрового волнения (вдхр. Бугуньское 1973 г.).

Наиболее раннее очищение водоемов ото льда наблюдается в конце января на туркменских водохранилищах, 8/II очищается Каттакурганское, 13—16/II—Куюмазарское и Кайраккумское, 24/II—

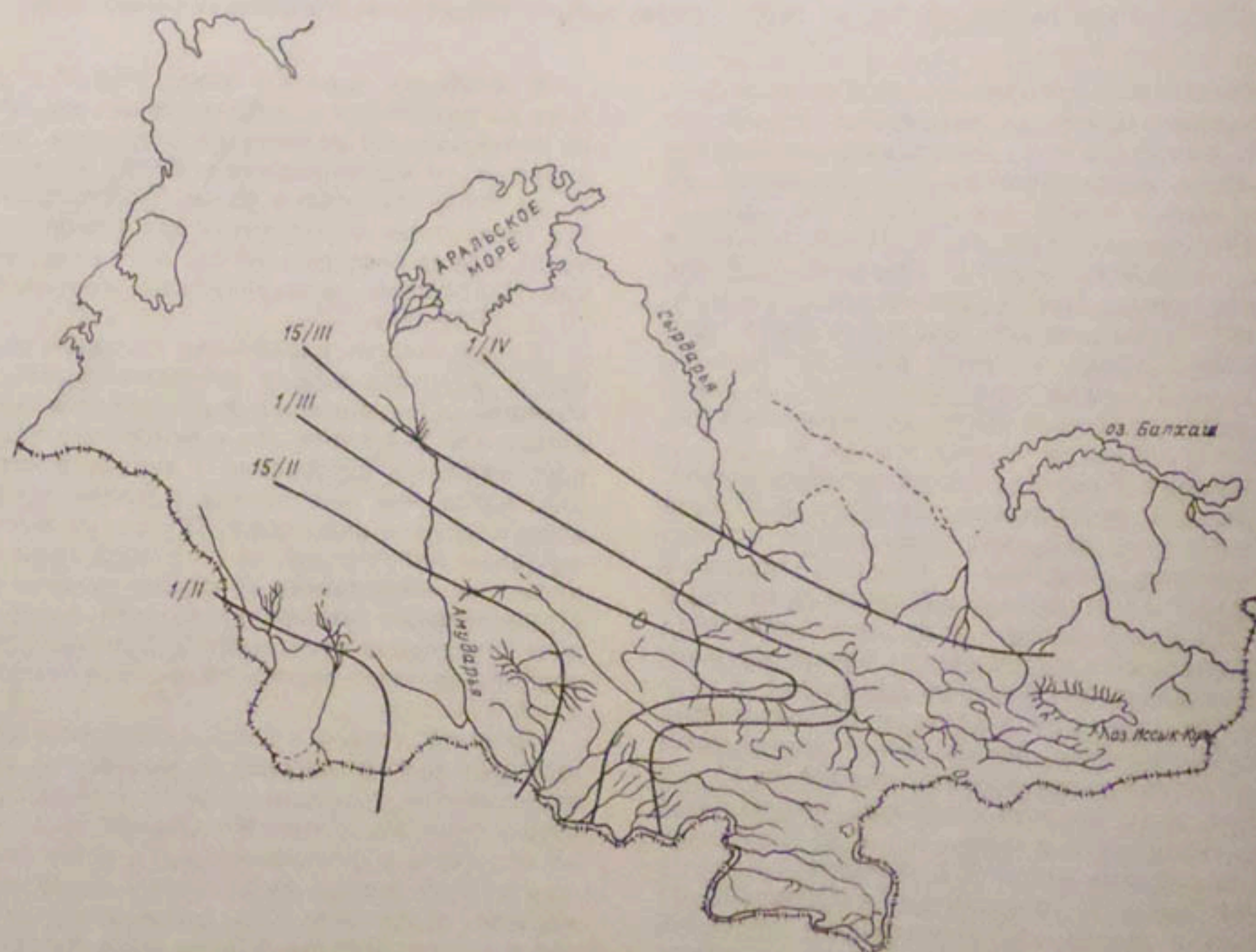


Рис. 6.8. Распределение средних дат очищения ото льда водохранилищ Средней Азии.

Туябугузское, 28/II Чардаринское и 5—6/III Бугуньское и Бадамское водохранилища (см. рис. 6.5). Крайние даты окончания ледовых явлений варьируют в весьма широких пределах (с января по апрель), а продолжительность этого периода достигает 70 сут (Чимкурганское, Каттакурганское, Куюмазарское, Кайраккумское водохранилища).

Вскрытие Уртатокайского водохранилища начинается с подвижки льда и появления закраин. Средняя дата начала вскрытия приходится на 9/III и обуславливается ходом температуры воздуха, которая в этот период достигает 5°C. Продолжительность весенней подвижки льда составляет в среднем 13 сут, но может затягиваться до 25—30 сут, как это наблюдалось в 1971 и 1973 гг. Очистение водохранилища ото льда наблюдается при наборе суммы средних суточных температур воздуха 30—60°C и приходится на третью декаду марта. Наиболее раннее очищение ото льда наблюдалось 27/II 1966 г., а позднее 7/IV 1984 г., при этом в первом случае водохранилище очистилось за шесть суток, во втором — за одни. Наполнение водохранилища в этот период способствует таянию льда и сокращению сроков разрушения ледостава.

На Каттакурганском водохранилище период весенних ледовых явлений сопровождается образованием полыней, дроблением ледяного покрова и ледоходом (см. рис. 6.2). Средняя дата вскрытия приходится на начало февраля, а крайние даты — на начало января и середину марта. Полное очищение водохранилища осуществляется в течение 1—3 сут. Столь малая продолжительность периода ве-

сенних ледовых явлений объясняется малой продолжительностью периода ледостава и малой мощностью ледяного покрова.

Средняя дата очищения ото льда приходится на 8/II, наиболее раннее очищение наблюдалось 5/I 1960 г., а позднее — 19/III 1972 г. (рис. 6.8).

В связи с осенне-зимним наполнением водохранилища и малыми скоростями ветра гидродинамические факторы заметного влияния на весенние ледовые процессы не оказывают.

Вскрытие Кайраккумского водохранилища сопровождается сильными ветрами широтного направления и вызываемым ими волнением и течениями, которые интенсифицируют процесс вскрытия ледяного покрова и способствуют его разрушению и таянию.

Уровенный режим в период очищения водохранилища ото льда существенного влияния на сроки вскрытия, характер и продолжительность весенних ледовых явлений не оказывает. Средняя дата вскрытия приходится на 11/II в приплотинной зоне, где наблюдается наибольшее скопление ледяных полей, и на 10/II в центральной зоне (ОГП Джидалык). Крайние даты имеют разброс до 70 сут.

Полное очищение акватории ото льда в центральной зоне водохранилища происходит, как правило, в течение 1—3 сут. В приплотинной зоне этот процесс затягивается до 5 сут.

Ледовый режим Кайраккумского и Каттакурганского водохранилищ в весенний период характерен и для других равнинных водохранилищ.

ГЛАВА 7. ВЕТРОВОЕ ВОЛНЕНИЕ

Ветровое волнение играет важную роль в физических, гидрохимических и биологических процессах, протекающих в среднеазиатских водохранилищах, процессах самоочищения, а также в формировании и трансформации водных масс и возможности прогнозирования качества вод. Велико влияние волнения и на гидротехнические сооружения. По этой причине определение параметров волн с целью расчета их воздействия на гидроузлы, плотины и дамбы является весьма сложной и ответственной задачей, особенно в условиях отсутствия натурных наблюдений.

Крепления напорных откосов плотин на заданную волновую нагрузку осуществляется на основании расчетов ветровых волн с учетом ветрового режима, морфологии и морфометрии чаши водохранилища. Проектирование креплений с излишней перестраховкой приводит к повышению стоимости строительства в 3—4 раза, а занижение волновых нагрузок — к тяжелейшим последствиям. Так, на Каттакурганском водохранилище в 1952—1954 гг. ежегодно на восстановление крепления напорного откоса плотины расходовалось до 100 тыс. руб. [144].

Изученность волнового режима среднеазиатских водохранилищ нельзя признать достаточно полной из-за отсутствия специализированной сети и недостаточной технической оснащенности волномерных пунктов. Отметим, что в настоящее время наблюдения за волнением ведутся лишь на Чардаринском водохранилище.

Стационарные наблюдения за волнением осуществлялись на Кайраккумском, Чардаринском и Каттакурганском водохранилищах, использование материалов наблюдений на которых позволило дать общую характеристику ветрового волнения и провести сравнительную оценку применимости расчетных методов в определении параметров волн применительно к условиям среднеазиатских водохранилищ.

Наиболее полно волновой режим изучался на Кайраккумском водохранилище, где с 1959 по 1961 г. проводила исследования специализированная озерная партия Среднеазиатской экспедиции ГГИ. В 1953—1957 гг. САНИИРИ были произведены экспедиционные наблюдения за элементами волн на Каттакурганском и Телженском водохранилищах и оз. Часкак, в 1967—1968 гг. на Чардаринском водохранилище с непрерывной записью волнограмм и скоростей ветра. В результате обобщения материалов наблюдений за ветровым волнением на малых водохранилищах Средней Азии для расчета высоты волны 1 %-ной обеспеченности САНИИРИ была рекомендована эмпирическая зависимость при условии длины разгона волны до

10 км и скорости ветра до 30 м/с [103]

$$h_{1\%} = 0,022w_{10}\sqrt{D}, \quad (1)$$

где $h_{1\%}$ — высота волны 1 %-ной обеспеченности; w_{10} — скорость ветра на высоте 10 м над водной поверхностью, м/с; D — длина разгона волны, км. Однако, как указывалось в работе [21], эта формула была получена по осредненным данным и не могла характеризовать волну 1 %-ной обеспеченности. При увеличении числового коэффициента до 0,025 формула вида

$$h_{1\%} = 0,025w_{10}\sqrt{D} \quad (2)$$

должна была характеризовать максимальную высоту волн 1 %-ной обеспеченности [21].

В 1959—1962 гг. экспедицией ИВПГ АН УзССР проводились исследования по изучению трансформации волн в береговой маловодной зоне, для чего на Кайраккумском водохранилище был установлен волномерный створ длиной 2500—2800 м, глубиной 1—16 м, состоящий из 12—17 максимально-минимальных волномерных вех. В 1962 г. наблюдения в прибойной зоне водохранилища проводились с помощью системы волнографов [143].

Первый стационарный волномерный пункт на водохранилищах Средней Азии был открыт в 1953 г. в приплотинной зоне Каттакурганского водохранилища для изучения воздействия волнения на земляную плотину, поэтапно покрытую со стороны верхнего бьефа противоплотинным экраном, предохраняющим ее также от разрушения в результате действия волн. Наблюдения по волномерной вехе, установленной в 120 м от башни водовыпуска, велись с 1953 по 1976 г., а с 1969 по 1977 г. там же в приплотинной зоне велись наблюдения по максимально-минимальной волномерной вехе. Волномерный пункт хорошо отражает условия воздействия волнения на плотину при ветрах южного и юго-западного направлений, при которых достигается наибольшая длина разгона волн при их подходе к плотине.

Глубина водоема в зоне установки максимально-минимальной волномерной вехи при наполнении водохранилища до НПУ и в условиях глубокой сработки изменялась от 22 м в мае — июне до 6 м в сентябре. Наблюдения за направлением и скоростью ветра проводились на метеоплощадке, расположенной на коренном берегу при его сопряжении с правым крылом плотины и открытой ветрам всех направлений. Наибольшая длина разгона воздушного потока при подходе к волномерному пункту наблюдается при юго-восточном ветре и составляет 4,95 км, а при юго-западном — 4,12 км.

Коренное дно водохранилища сложено лёссовидными суглинками. В настоящее время дно водохранилища покрыто слоем ила, отложения которого особенно значительны около башенного водовыпуска.

Волномерный пункт на Чардаринском водохранилище был открыт в 1969 г., при этом в различные периоды в открытой области водоема были установлены четыре максимально-минимальные волномерные вехи. По вехе № 1 наблюдения велись: с 1969 по 1985 г., по вехе № 2 — с 1972 по 1975 г., по вехе № 3 с 1972 по 1974 г., по вехе № 4 — с 1972 по 1973 г. Прибрежный волномерный пункт расположен в приплотинной зоне водохранилища на участке при сопряжении правого коренного берега с плотиной, здесь же установлена максимально-минимальная волномерная вежа № 1. Максимально-минимальная вежа № 2 была установлена в левобережном заливе для оценки наибольшей высоты волны при их подходе к намывной дамбе, подпирающей воды водохранилища в пойменной зоне древнего русла р. Сырдарьи. При этом следует сказать, что при максимальном наполнении верхняя отметка дамбы превышает уровень воды в водохранилище лишь на 2,5 м. Волномерная вежа № 3 была установлена в центральной зоне приплотинного плёса акватории водохранилища, при этом экранировалась полуостровом, вдающимся в водоем на 3—4 км и гасящего волну при ветрах восточного и юго-восточного направления. Волномерная вежа № 4 была установлена в центре основного плёса, что позволило фиксировать высоту волны при наибольшей длине ее разгона при ветрах южного и юго-восточного направлений. С апреля по август глубина водохранилища у волномерных вех № 2 и 3 изменялась от 14 до 8 м, а в зоне вехи № 4 — от 13 до 6 м. Прибрежная волномерная вежа и максимально-минимальная вежа № 1 установлены в наиболее глубокой приплотинной зоне с амплитудой изменения глубин от 21 до 6 м при летней сработке водохранилища. Наибольшая длина разгона волны наблюдается при юго-восточных ветрах и составляет 19 км. Метеоплощадка гидрометстанции Чардара расположена на возвышенном правом берегу в приплотинной зоне и достаточно полно отражает ветровой режим этой части акватории водохранилища.

На Кайраккумском водохранилище прибрежные волномерные пункты функционировали в трех точках: на ОГП Кайраккум в приплотинной зоне ГЭС «Дружба народов» (1958—1983 гг.), волномерная вежа была установлена в 50 м от плотины; по левому берегу на озерном посту Джидалык (1959—1976 гг.) и на правом берегу в зоне ОГП Правобережный (1960—1969 гг.).

При этом волномерные вехи, располагаясь в прибрежной зоне водохранилища, характеризовали лишь локальные условия волнового режима в силу морфологических условий участков наблюдений.

Берег водохранилища на участке ОГП Джидалык — обрывистый, высотой 5—6 м, подвержен интенсивному разрушению под воздействием ветрового волнения. При НПУ глубина водоема у волномерной вехи, которая устанавливается на расстоянии 50 м от пункта наблюдений, около 5 м. Наибольшая длина разгона воздушного потока на-

блюдается при северо-восточных ветрах и составляет 34,4 км.

В период сработки водохранилища наблюдения за волнением прекращаются, так как урез воды удален от коренного берега на расстояние до 1 км. Дно чаши в районе ОГП Джидалык в результате интенсивного переформирования берега сложено перекрытым суглинком со значительным содержанием илстых частиц. Волномерный пункт ОГП Правобережный расположен на правом берегу водохранилища в 10 км к востоку-северо-востоку от ГЭС «Дружба народов».

Глубина у волномерной вехи, установленной в 150 м от пункта наблюдений, при НПУ составляет 3 м, а наибольшая длина разгона воздушного потока при подходе к ОГП Правобережный наблюдается при ветрах восточного направления и составляет 27,3 км. Дно песчаное с незначительным количеством иловатых содержаний. Как в одном, так и в другом случае метеоплощадки открыты ветрам всех направлений.

При определении высоты волны по волномерной вехе фиксируется самый высокий гребень и самая глубокая ложбина волны за период одного наблюдения. Кроме данных о параметрах волн, полученных на стационарных волномерных пунктах, для характеристики волнения на водохранилищах использованы материалы наблюдений по максимально-минимальным волномерным вехам, фиксирующим наибольшую высоту волны за период в несколько суток.

Максимально-минимальные волномерные вехи, конструкция которых позволяет зафиксировать наивысшие и наименьшие стояния волнового уровня за несколько суток, дают возможность получить высоту волны очень малой обеспеченности, т. е. практически самую высокую волну за период между двумя смежными наблюдениями.

Все стационарные наблюдения за волнением сопровождались измерением скорости и направления ветра и уровня воды в районе волномерного пункта в течение навигационного периода. Для вычисления повторяемости высот волн использованы трехсрочные наблюдения по волномерной вехе. При вычислении повторяемости высот волн из срочных наблюдений за 100 % принято общее число случаев наблюдений по волномерной вехе, включая и случаи штилей. Для выборки наибольшей высоты волны использованы материалы всех наблюдений, как срочных, так и учтенных. Для условий Средней Азии за навигационный период принят период, в течение которого наблюдения на волномерном пункте осуществляются непрерывно. Начало наблюдений весной определялось открытостью водоема, а окончание условиями глубокой сработки в осенний период, когда на таких озерных гидрологических постах, как Джидалык и Правобережный, в отдельные годы прекращаются наблюдения не только за волнением, но и за уровнем воды.

Наблюдения среднеазиатской экспедиции ГГИ велись в двух пунктах: на участке детальных наблюдений за переформированием берегов (УДН), расположенном на правом берегу в 6 км выше ГЭС, и на островах в 40 км от плотины. На УДН наблюдения за всеми элементами волн велись по волнографу системы П. П. Кокоулина (ВЭВ — К), по одиночным электроконтактным вехам, по максимально-минимальным волномерным вехам и по

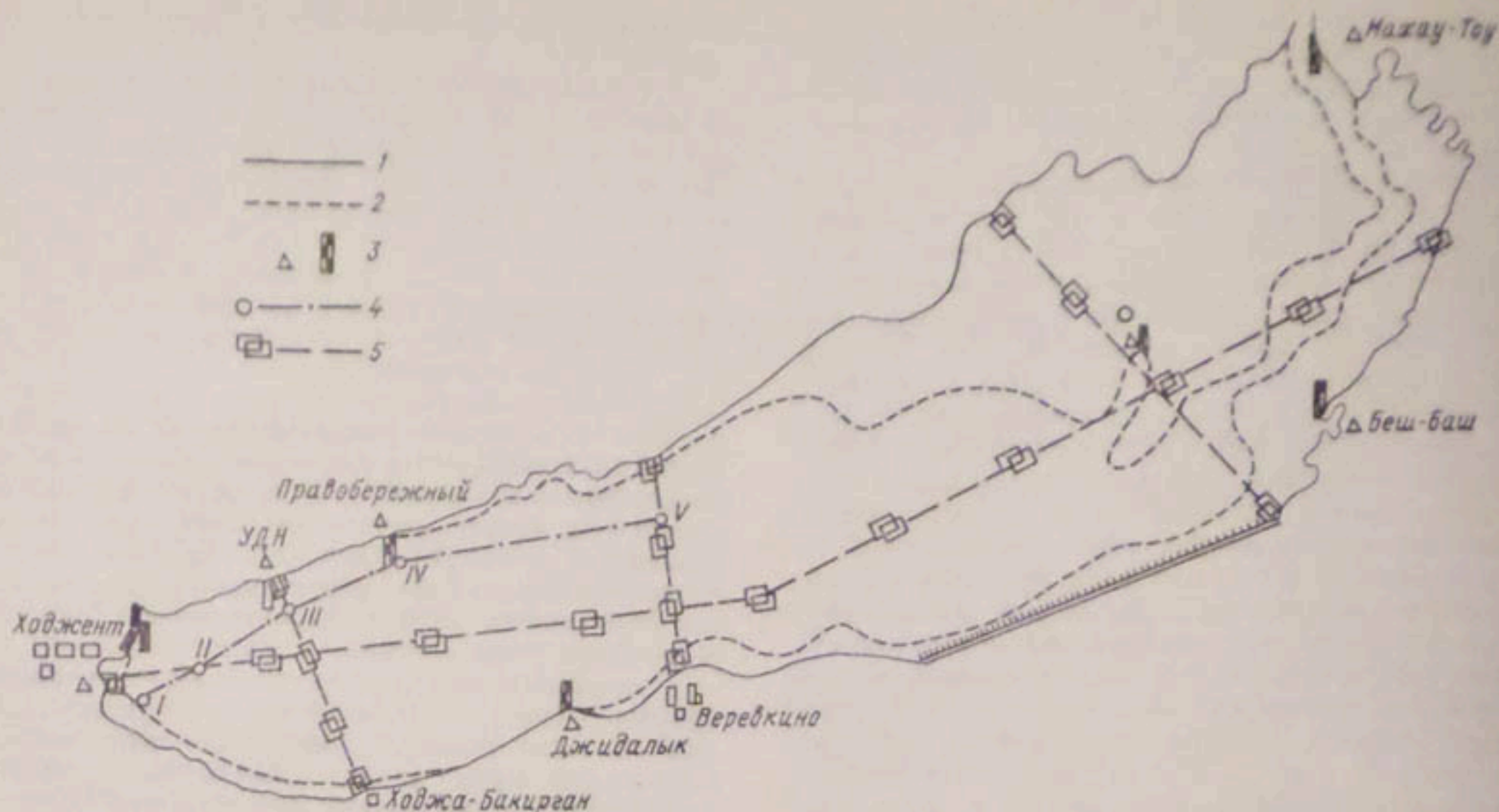


Рис. 7.1. План Кайраккумского водохранилища с расположением пунктов наблюдений за волнением и маршрутами воздушной стереофотограмметрической съемки волнения.

1—контур водохранилища при НПУ, 2—контур водохранилища при уровне сработки, 3—береговые и островные пункты наблюдения, 4—пункты полунструментальных наблюдений и открытой части водохранилища и их порядковый номер, 5—маршрут воздушной стереофотограмметрической съемки волнения.

обычной волномерной вехе. Наблюдения на этом пункте прекращались только на короткий зимний период, ограниченный продолжительностью ледовых явлений, на островах они велись в течение трех-четырех летних месяцев (по обычным волномерным и по максимально-минимальным волномерным вехам); на одном из островов в течение непродолжительного времени волны регистрировались по береговому электроконтактным вехам. Полунструментальные наблюдения велись в пяти пунктах. Эти пункты располагались на расстоянии 0,7, 3,0, 7,3, 11,5 и 21,0 км от западно-юго-западного берега водохранилища. Створ наблюдений проходил примерно параллельно правому берегу водохранилища на расстоянии 1—3 км от него (рис. 7.1). С целью изучения волнения в открытом водохранилище в октябре 1959 г. производилась воздушная стереофотограмметрическая съемка волнения с двух самолетов [133].

Кайраккумское водохранилище. Площадь его водной поверхности при НПУ составляет 510 км², длина — 55 км, средняя ширина — 9,3 км, максимальная — 15 км при наибольшей глубине в приплотинной зоне 26,6 м. Глубина постепенно убывает к верхней зоне водохранилища, которая к настоящему времени подверглась весьма существенному заилению.

Водохранилище вытянуто с запада-юго-запада на восток-северо-восток и имеет довольно плавные очертания. Наличие горных хребтов, вытянутых вдоль долины, обуславливает своеобразный ветровой режим.

Над акваторией водохранилища большую часть года преобладают устойчивые ветры восточных и западных направлений, которые оказывают весьма существенное влияние на волновой режим водохранилища. Летом преобладают ветры западных, а осенью и зимой восточных направлений. Север-

Таблица 7.1

Повторяемость ветра различных скорости и направления. Кайраккумское водохранилище у г. Кайраккум

Скорость ветра, м/с	Повторяемость направлений ветра, %															
	С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ
1—3	0,4	0,9	1,1	3,4	4,5	1,8	0,5	0,3	0,5	1,0	6,0	8,4	6,0	4,1	5,0	0,5
4—5			0,7	2,0	3,3	1,2					5,1	6,3	1,5	0,2	0,3	
6—7			0,1	1,8	3,8	1,6					4,0	4,0	2,0			
8—9			0,1	0,7	2,5	2,1					1,9	1,6	1,0			
10—11			0,1	1,5	1,9	0,3					1,0	1,6	0,2			
12—13				0,5	0,3							0,2				
14—15					0,1							0,1				
Сумма	0,4	0,9	2,1	9,9	16,4	7,0	0,5	0,3	0,5	1,0	18,0	22,2	10,7	4,3	5,3	0,5
																100

ные и южные ветры крайне редки, а продолжительность их действия невелика и скорость редко превышает 5 м/с (табл. 7.1).

Продолжительность действия ветров скоростью более 7 м/с в осенние и зимние месяцы достигает

Таблица 7.2

Повторяемость волн на Кайраккумском водохранилище по направлениям, %

Направление распространения волн							
С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
г. Кайраккум							
0,4	6,8	86,8	5,0		0,8		
Правобережный							
	0,95	44,5	1,8		1,4	51,3	
кишл. Джидалык							
0,05	42,4	42,4	1,5		7,8	5,1	0,1

50—55 %, а ветров скоростью свыше 11 м/с — 45 %. Продолжительность отдельных штормов скоростью ветра 10—15 м/с составляет нередко 3—4 сут. Максимальная скорость ветров западных направлений достигает 40 м/с, а восточных — 20 м/с.

Таблица 7.3

Высота волн Кайраккумского водохранилища при различной скорости и направлении ветра

Направление ветра	Высота волны (см) при различной скорости ветра, м/с											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
г. Кайраккум												
В	50	60	80	110	130	130	140	150	200	220		
Правобережный												
З	30	40	55	70	85	100	115	120				
В	30	45	60	70	85	95	105	110	115	120		
кишл. Джидалык												
В, СВ	30	40	50	55	60	65	70	80	105	110	115	120

При прохождении ветров над водохранилищем наблюдается увеличение их скорости в 1,5—2 раза. Максимальное увеличение скорости ветра западных румбов, по данным наблюдений экспедиции ГГИ, от низовий к верховьям водохранилища достигает 20 м/с, а восточных — от верховьев к низовьям — 10 м/с.

Для волномерного пункта Джидалык характерны ветры восточного и северо-восточного направлений, при воздействии которых достигается максимальная длина разгона воздушного потока. Повторяемость волн этих направлений составляет по 42,4 % для каждого ветра (табл. 7.2). Высота волн при ветрах этих направлений изменяется равномерно от 30—40 см при скорости ветра 3—4 м/с до 75—80 см при скорости ветра 10 м/с (табл. 7.3).

Распространение волн западных направлений существенного развития не имеет, так как пункт экранирован выступающей косой. При увеличении

скорости ветра от 6 до 9 м/с высота волн увеличивается лишь от 30 до 40 см. Волны с максимальной высотой до 120 см наблюдаются при ветрах восточных направлений скоростью 13—15 м/с.

Период волны изменяется от 2,1 до 3,0 с при ветре северо-восточного направления и от 1,3 до 2,9 с при ветре восточного направления при изменении скорости ветра от 3 до 9,0 м/с (табл. 7.4).

Волномерный пункт Правобережный открыт распространению волн восточного и западного направлений и поэтому наиболее полно характеризует волнение прибрежной зоны в средней части

Таблица 7.4

Средний период волн Кайраккумского водохранилища при различной скорости и направлении ветра, м/с

Направление ветра	Скорость ветра, м/с											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
г. Кайраккум												
В	2,7	3,1	3,5	3,7	3,9	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5		
Правобережный												
З	1,7	2,0	2,2	2,5	2,8	3,2	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	
В	2,1	2,2	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7			
кишл. Джидалык												
СВ	2,1	2,3	2,4	2,6	2,7	2,9	3,0					
В	1,3	2,0	2,2	2,3	2,5	2,7	2,9					

акватории водохранилища. При значительной сработке уровня воды восточнее этого поста оголяется коса, частично гасящая волны восточного направления. Повторяемость волн восточного направления составляет 44,5 %, а западного 51,3 % (см. табл. 7.2).

Высота волн при ветре восточного и западного направлений изменяется от 60 до 120 см при увеличении скорости ветра от 5 до 12 м. Максимальная высота волны, равная 120 см, наблюдается при скорости ветра 12 м/с. Период волны изменяется от 1,7 до 4,6 с при ветрах западного направления и скорости от 3 до 13 м/с и от 2,1 до 3,7 с при ветрах восточного направления и скорости 3—11 м/с (табл. 7.4).

На волномерном пункте ОГП Кайраккум наблюдаются волны только восточных направлений (табл. 7.3), при этом вследствие наибольшей длины разгона волн в этой зоне акватории характерны и наибольшие их высоты. При этом высота волны возрастает от 20 до 22 см, в то время как для волномерного пункта Джидалык она изменяется от 40 до 110 см, а для волномерного пункта Правобережный — от 45 до 120 см. Повышение значения высоты волн по волномерному пункту Кайраккум объясняется большей длиной разгона воздушного потока при ветрах восточных направлений, который равен 50 км. Для прибрежных волномерных пунктов Кайраккумского водохранилища наблюдаются достаточно тесные зависимости высоты волны от скорости ветра при различных его направлениях (рис. 7.2).

В 1970 г. в открытой зоне ОГП Кайраккум действовали максимально-минимальные волномерные

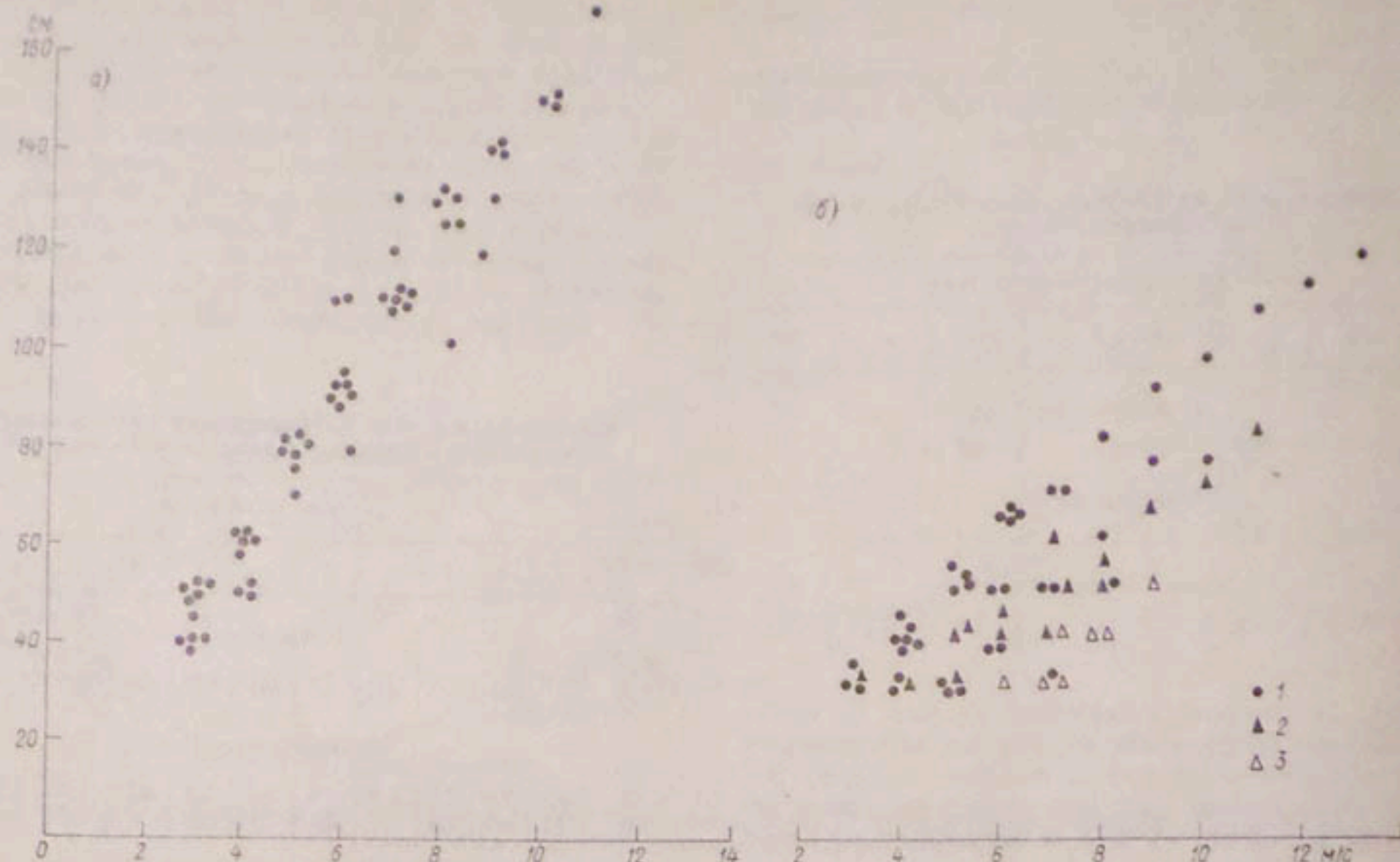


Рис. 7.2. Зависимость высоты волн (см) от скорости ветра (м/с) для Кайраккумского водохранилища. Волномерный пункт: а — г. Кайраккум, б — кишл. Джидалык. Ветер: 1 — восточный, 2 — северо-восточный, 3 — юго-западный.

вехи, по показаниям которых с 4 по 11/IX была зафиксирована волна высотой 270 см при скорости ветра 12 м/с восточного направления.

Период волн для волномерного пункта Кайраккум варьирует от 2,7 до 4,5 с при увеличении скорости ветра от 3 до 12 м/с (табл. 7.5). При изменении скорости ветра восточного направления от 4

Таблица 7.5

Повторяемость высот волн (%)
Кайраккумского водохранилища

Высота волны, см								
0 (штиль)	до 45	50—70	75—100	105—125	130—150	155—200	205—250	наибольшая наблю- денная
г. Кайраккум								
43,5	38,3	8,0	5,2	3,6	1,6	0,2	0,06	230
Правобережный								
48,5	41,5	8,6	1,2	0,2				120
кишл. Джидалык								
33,8	59,6	6,0	0,85	0,1				120

до 12 м/с наблюдается равномерный, быстрый рост высоты волн по сравнению с данным волномерных пунктов Джидалык и Правобережный (рис. 7.2), что также объясняется наибольшей длиной разгона воздушного потока, который при ветрах восточных направлений достигает максимальных значений.

При составлении таблиц повторяемости высот волн для Кайраккумского водохранилища были использованы материалы срочных наблюдений над волнением на волномерных пунктах Кайраккум за 1958—1977 гг., кишл. Джидалык за 1959—1976 гг. и Правобережный за 1960—1969 гг. Обработка результатов наблюдений производилась для пяти месяцев — с мая по сентябрь включительно. Наибольший процент повторяемости высот волн для всех трех волномерных пунктов приходится на градацию до 45 см. Для пунктов Кайраккум на эту градацию приходится 38,8 %, для пунктов Джидалык и Правобережный — соответственно 41,5 и 59,6 % (см. табл. 7.5).

Повторяемость штилей на волномерных пунктах Кайраккум и Правобережный равна 43,5 и 48,5 % соответственно. На волномерном пункте Джидалык повторяемость штилей значительно меньше — 33,8 %. Здесь, очевидно, сказывается влияние мыса, выступающего с восточной стороны.

Волны высотой 100 см и более для волномерных пунктов Джидалык и Правобережный имеют крайне редкую повторяемость (0,1—0,2 %), а для волномерного пункта Кайраккум, где волнение достигает высоты 200 см и более, их повторяемость оценивается в 0,06 % при максимальной высоте волн до 230 см.

Ветровые волны в открытой области Кайраккумского водохранилища обнаруживаются при достижении ими высоты 4—6 см и длины 30—50 см, когда они становятся ясно видимыми на фоне ряби, имеют плавные очертания и мало отличаются между собой по размерам. Нарастание волнения сопровождается увеличением неравномерности высот, длин и очертаний волн [133].

При установившемся волнении протяженность гребней волн по их фронту увеличивается с увеличением скорости ветра и высоты волны. При ветре скоростью 8—10 м/с протяженность гребней волн в 0,5—0,7 км от подветренного берега достигает 20—30 м, на расстоянии 15—20 км — 100—150 м, а при скорости ветра 13—15 м/с — соответственно 50—70 и 200—250 м [133].

Некоторое своеобразие в развитии волнения наблюдается при прохождении над водохранилищем сильных ветров. Волны, развивающиеся в таких

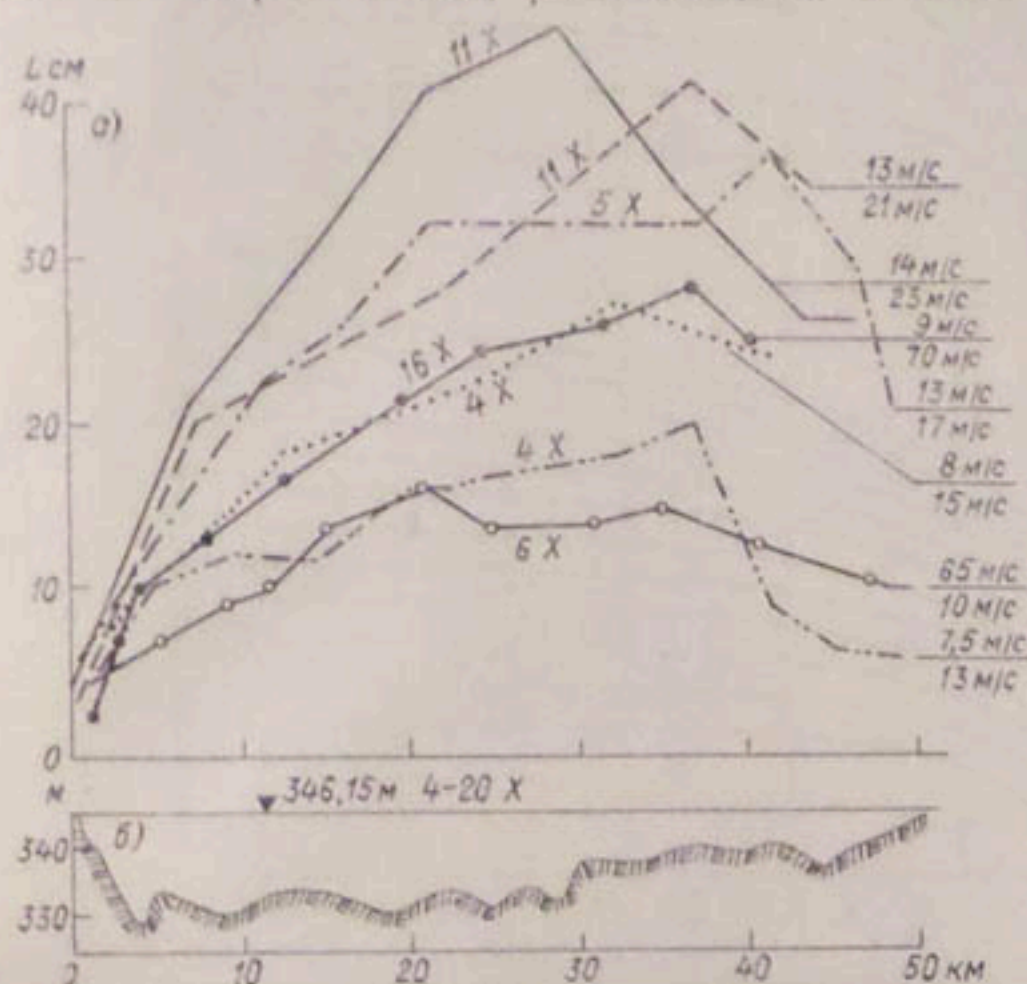


Рис. 7.3. Изменение длины волны вдоль водохранилища при западных ветрах (а) и профиль дна водохранилища на участке разгона волны (б), 1959 г.

В числителе скорость ветра в начале разгона, в знаменателе — в конце разгона.

условиях, начиная с момента зарождения до достижения ими значений, близких к предельным в данных условиях, мало отличаются одна от другой по размерам, а по внешнему виду напоминают ветровую рябь.

Затухание волнения на водохранилище определяется степенью развития волн. Волны высотой 0,2—0,3 м затухают обычно сразу после прекращения ветра, а волны высотой 0,5—1,0 м — через 20—40 мин после затухания ветра. Затухание волн, достигших высоты 1,5—2,0 м, продолжается 1—2 ч. Если ветер затухает постепенно, то увеличивается неравномерность волнения и продолжительность затухания волн.

Одной из характерных особенностей волнения Кайраккумского водохранилища, как отмечает А. С. Судольский [133], является отсутствие пены на поверхности воды, использующейся в качестве одного из основных признаков определения балла волнения по существующей шкале. Это обстоятельство очень затрудняет оценку состояния поверхности водохранилища. Не всегда характерны и другие признаки. Так, во время шквального ветра волны, соответствующие признаку «волны принимают хорошо выраженную форму, повсюду образуются барашки» и 4 баллам по шкале, появляются в некоторых случаях через 5—7 мин от начала шторма при степени волнения 1 балл, а во

время плавно нарастающего или установившегося волнения — при 2—4 баллах [133]. Наибольшей высоты волны достигают при ветрах, дующих вдоль водохранилища.

При ветрах восточных направлений с увеличением длины разгона наблюдается увеличение глубин, что способствует формированию значительных волн, достигающих 2—2,5 м, в приплотинной зоне.

При западных ветрах скоростью 20 м/с и более при достижении границы островов могут наблюдаться волны высотой 3 м, при этом в зоне островов вследствие резкого уменьшения глубины высота волн уменьшается с увеличением длины их разгона и тем значительнее, чем выше параметры волн. Аналогичная ситуация наблюдается и в изменении других параметров волнения. Длины волн нарастают до островов, достигая при ветрах 10—12 м/с 20—25 м, и убывают на всем дальнейшем пути. При ветре 20 м/с на расстоянии 25 км от подветренного берега длины волн достигают 40 м и убывают затем до верховий водохранилища (рис. 7.3).

Большое число полуинструментальных наблюдений экспедиции ГГИ позволили проследить изменение элементов волнения по пути разгона волн в диапазоне скоростей ветра 4—15 м/с (рис. 7.4). Данные этой номограммы удовлетворительно согласуются с результатами воздушной стереографической съемки волнения [133].

По данным полуинструментальных наблюдений обнаружены очень тесные зависимости средних периодов волн T от их высот 1 %-ной обеспеченности. При этом оказалось, что на всех пунктах открытого водохранилища одним и тем же значениям высот волн соответствуют близкие между собой значения их средних периодов. Это дало возможность объединить данные наблюдений по всем пунктам и всем направлениям разгона волн и представить их в виде одной кривой зависимости (рис. 7.5).

Скорость волны увеличивается с увеличением скорости ветра и длины его разгона. Наиболее резкое нарастание скорости волны наблюдается в непосредственной близости к подветренному берегу. При этом интенсивность нарастания скорости волн тем больше, чем больше скорость ветра. С увеличением длины разгона волны интенсивность нарастания ее скорости уменьшается, а затем и вовсе прекращается.

При постоянной скорости ветра и установившемся волнении скорость волн приближается к скорости ветра и тем ближе, чем больше длина разгона.

В условиях установившегося ветра и волнения колебания возраста волны незначительны и абсолютные их значения не превышают теоретического предела. Это обстоятельство обуславливает наличие связи между скоростью волны и скоростью ветра. Но эта связь оказалась менее тесной, чем связи других элементов волн со скоростью ветра.

А. С. Судольским было проведено сопоставление результатов наблюдений и вычисленных параметров волн (табл. 7.6). Высоты волн, наблюдаемые при ветре 5 м/с, меньше расчетных. Высоты волн, наблюдаемые при ветре 10 м/с, хорошо согласуются с вычисленными по методам Андреева, Браславского, Кокулина, Лабзовского, Сидоровой и Шишова, а наблюдаемые при ветре

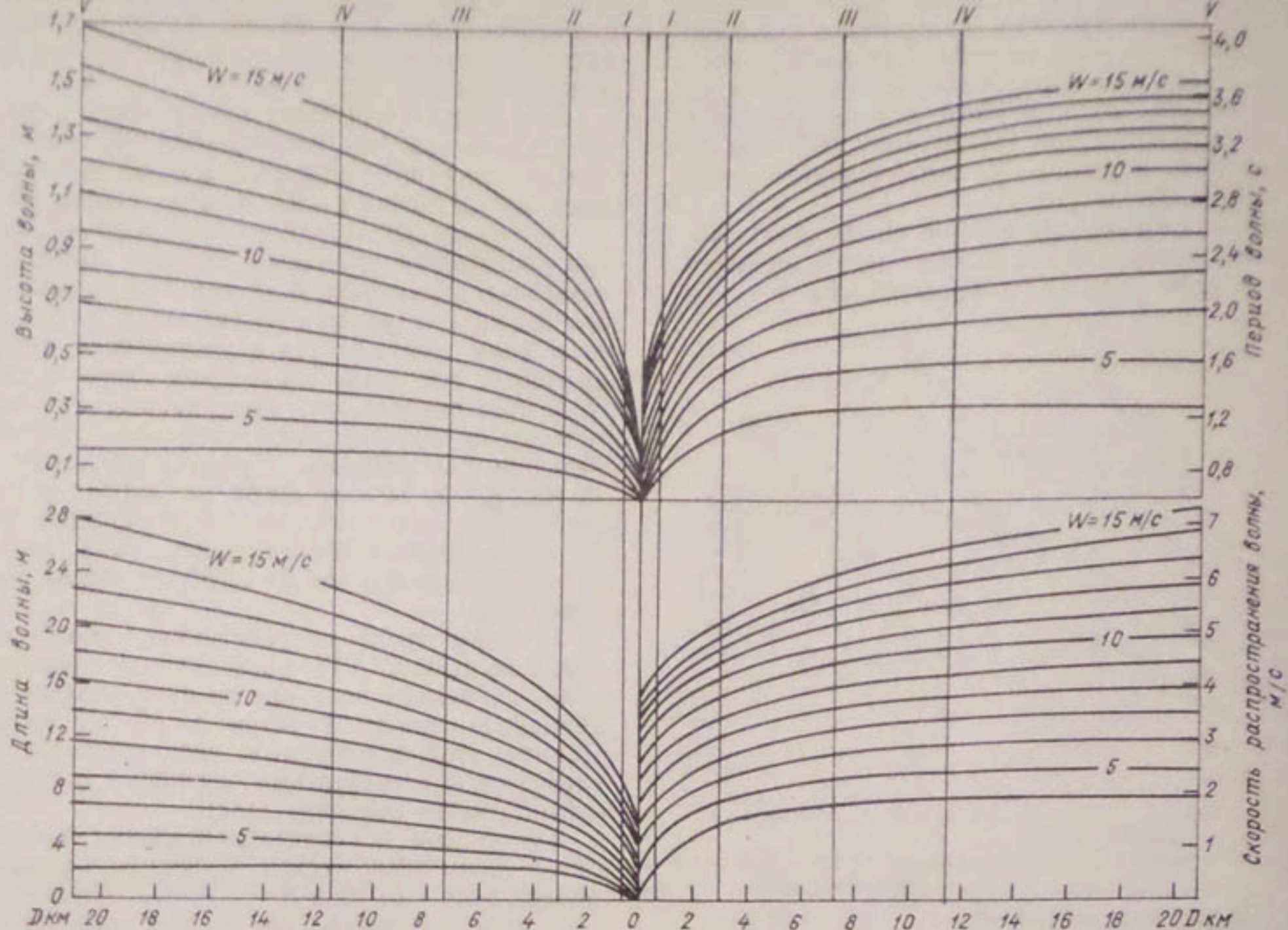


Рис. 7.4. Номограмма изменения элементов волн по длине Кайраккумского водохранилища в зависимости от скорости ветра.

15 м/с — с вычисленными по первым трем методам (рис. 7.6) [133].

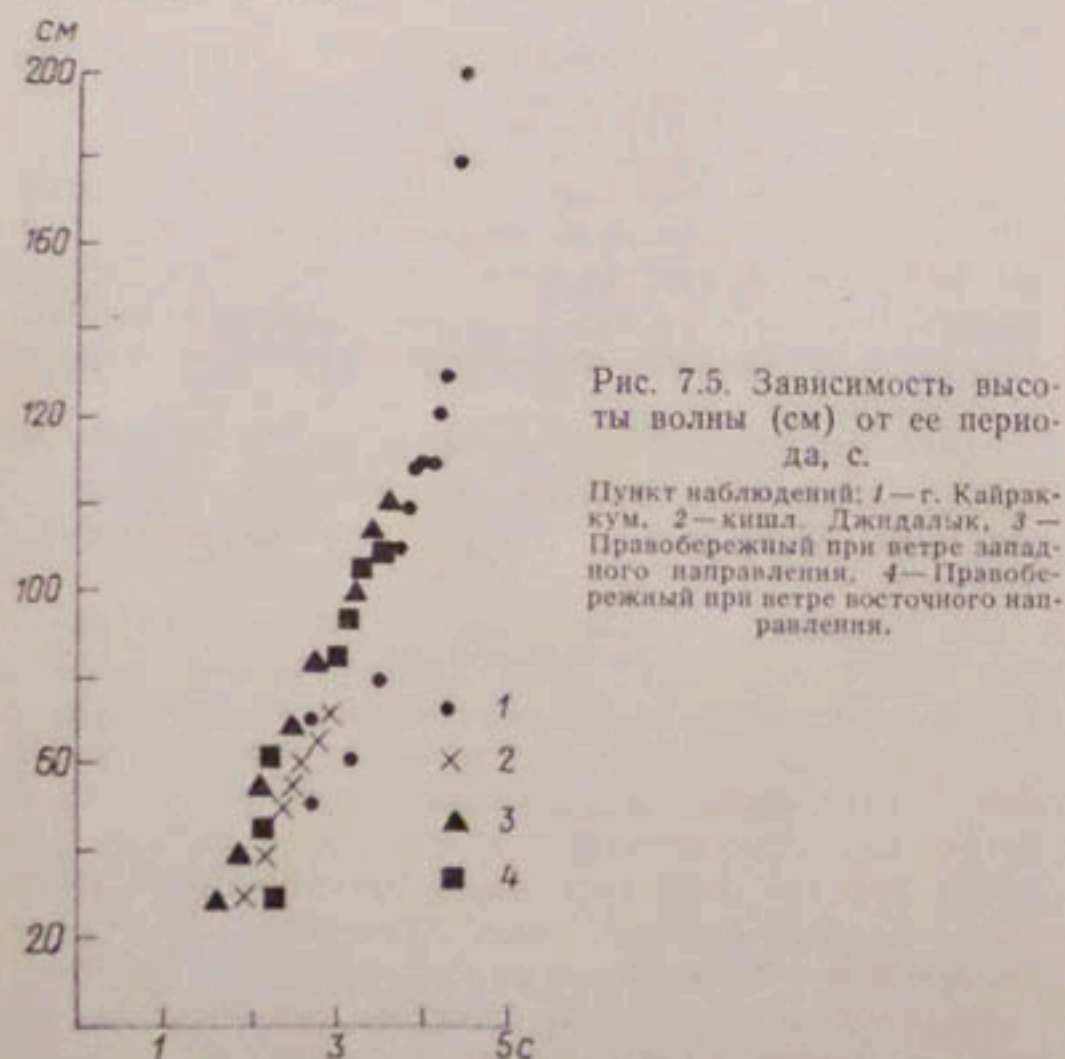


Рис. 7.5. Зависимость высоты волны (см) от ее периода, с.
Пункт наблюдений: 1 — г. Кайраккум, 2 — кишл. Джидалык, 3 — Правобережный при ветре западного направления, 4 — Правобережный при ветре восточного направления.

Хорошее совпадение наблюдаемых высот волн с расчетами по методам Андреянова, Браславского и Кокулина дает основание рекомендовать эти методы для расчетов высот волн на небольших

глубоководных водохранилищах с умеренными ветрами.

Сходимость наблюдаемых длин волн с вычисленными неодинакова и изменяется с изменением скорости ветра и длины разгона волны. При ветре 5 м/с вышевычисленные длины волн удовлетворительно согласуются с наблюдаемыми или даже полностью совпадают с ними. При ветре 10 и 15 м/с и малых разгонах вычисленные длины волн меньше наблюдаемых, но с увеличением разгонов разность между ними уменьшается, а длины волн, вычисленные по методу Сидоровой, даже несколько превосходят наблюдаемые.

Отклонения наблюдаемых периодов волн от расчетных, так же как и отклонения наблюдаемых длин волн, неодинаковы и изменяются с изменением скорости ветра и его разгона. Для всех расчетных методов средние отклонения по всему диапазону скоростей ветра и длин разгона незначительны и примерно одинаковы.

Каттакурганское водохранилище. Под чашу водохранилища использована часть довольно широкой вытянутой в меридиональном направлении котловины, что во многом определяет движение воздушного потока над акваторией водохранилища.

Акватория водохранилища при НПУ характеризуется следующими параметрами: площадь водной поверхности равна 79,5 км², длина — 15 км, наибольшая ширина — 8 км, а наибольшая глубина — 25 м (см. табл. 2.1).

Сопоставление наблюдаемых высот и длин волн 1 %-ной обеспеченности
с вычисленными по различным методам

Разгон волны, км	Высота (числитель) и длина (знаменатель) волны, м									
	по наблю- дениям	по расчетным методам								
		Андре- янова	Браслав- ского	Кокоулина	Лабзов- ского	Сидоровой	Никитина	Иванова	Бровикова	Шишова

Скорость ветра 5 м/с

1	$\frac{0,09}{1,6}$	$\frac{0,16}{1,5}$	$\frac{0,14}{1,5}$	$\frac{0,15}{-}$	$\frac{0,18}{1,14}$	$\frac{0,15}{1,1}$	$\frac{0,11}{-}$	-	-	$\frac{0,17}{2,0}$
2	$\frac{0,15}{2,7}$	$\frac{0,20}{2,2}$	$\frac{0,15}{2,0}$	$\frac{0,20}{-}$	$\frac{0,24}{1,61}$	$\frac{0,20}{2,4}$	$\frac{0,15}{-}$	-	-	$\frac{0,21}{2,6}$
5	$\frac{0,23}{3,8}$	$\frac{0,27}{3,4}$	$\frac{0,26}{3,0}$	$\frac{0,26}{-}$	$\frac{0,34}{2,55}$	$\frac{0,29}{4,6}$	$\frac{0,25}{-}$	$\frac{0,34}{-}$	-	$\frac{0,29}{3,5}$
10	$\frac{0,26}{4,0}$	$\frac{0,34}{4,8}$	$\frac{0,32}{3,7}$	$\frac{0,33}{-}$	$\frac{0,42}{3,10}$	$\frac{0,36}{5,8}$	$\frac{0,35}{-}$	$\frac{0,41}{-}$	-	$\frac{0,37}{4,4}$
15	$\frac{0,28}{4,5}$	$\frac{0,40}{5,8}$	$\frac{0,37}{4,3}$	$\frac{0,39}{-}$	$\frac{0,46}{4,41}$	$\frac{0,42}{6,9}$	$\frac{0,43}{-}$	$\frac{0,45}{-}$	-	$\frac{0,42}{5,1}$
20	$\frac{0,29}{5,0}$	$\frac{0,42}{6,6}$	$\frac{0,41}{4,8}$	$\frac{0,45}{-}$	$\frac{0,49}{5,1}$	$\frac{0,45}{7,4}$	$\frac{0,49}{-}$	$\frac{0,48}{-}$	-	$\frac{0,46}{5,5}$

Скорость ветра 10 м/с

1	$\frac{0,35}{5,9}$	$\frac{0,37}{3,0}$	$\frac{0,37}{4,3}$	$\frac{0,35}{-}$	$\frac{0,32}{2,64}$	$\frac{0,29}{3,6}$	$\frac{0,22}{-}$	-	$\frac{0,46}{4,1}$	$\frac{0,34}{4,1}$
2	$\frac{0,48}{7,6}$	$\frac{0,46}{4,3}$	$\frac{0,50}{5,7}$	$\frac{0,46}{-}$	$\frac{0,45}{3,72}$	$\frac{0,39}{5,2}$	$\frac{0,31}{-}$	-	$\frac{0,63}{6,0}$	$\frac{0,43}{5,2}$
5	$\frac{0,65}{10,3}$	$\frac{0,64}{6,8}$	$\frac{0,73}{8,4}$	$\frac{0,65}{-}$	$\frac{0,66}{5,85}$	$\frac{0,66}{9,6}$	$\frac{0,49}{-}$	$\frac{0,48}{-}$	$\frac{0,88}{9,44}$	$\frac{0,58}{7,0}$
10	$\frac{0,80}{13,1}$	$\frac{0,80}{9,6}$	$\frac{0,94}{10,7}$	$\frac{0,83}{-}$	$\frac{0,87}{8,32}$	$\frac{0,87}{13,3}$	$\frac{0,69}{-}$	$\frac{0,63}{-}$	$\frac{1,16}{13,2}$	$\frac{0,73}{2,8}$
15	$\frac{0,89}{14,8}$	$\frac{0,92}{11,7}$	$\frac{1,03}{12,7}$	$\frac{0,90}{-}$	$\frac{0,91}{10,4}$	$\frac{1,05}{16,5}$	$\frac{0,85}{-}$	$\frac{0,75}{-}$	$\frac{1,38}{16,7}$	$\frac{0,84}{10,0}$
20	$\frac{0,95}{16,0}$	$\frac{1,00}{13,4}$	$\frac{1,08}{13,4}$	$\frac{0,99}{-}$	$\frac{1,00}{11,3}$	$\frac{1,16}{18,4}$	$\frac{0,98}{-}$	$\frac{0,83}{-}$	$\frac{1,49}{17,8}$	$\frac{0,92}{11,0}$

Скорость ветра 15 м/с

1	$\frac{0,62}{10,4}$	$\frac{0,62}{4,6}$	$\frac{0,57}{6,3}$	$\frac{0,89}{-}$	$\frac{0,44}{4,40}$	$\frac{0,46}{5,0}$	$\frac{0,33}{-}$	-	$\frac{0,66}{6,0}$	$\frac{0,51}{6,2}$
2	$\frac{0,83}{12,9}$	$\frac{0,77}{6,4}$	$\frac{0,80}{9,3}$	$\frac{0,75}{-}$	$\frac{0,60}{6,22}$	$\frac{0,64}{7,8}$	$\frac{0,46}{-}$	-	$\frac{0,86}{8,5}$	$\frac{0,64}{7,7}$
5	$\frac{1,12}{17,4}$	$\frac{1,06}{10,2}$	$\frac{1,15}{13,5}$	$\frac{1,01}{-}$	$\frac{0,90}{9,80}$	$\frac{1,04}{14,0}$	$\frac{0,74}{-}$	$\frac{0,60}{-}$	$\frac{1,25}{13,5}$	$\frac{0,87}{10,5}$
10	$\frac{1,37}{22,0}$	$\frac{1,33}{14,3}$	$\frac{1,13}{17,6}$	$\frac{1,30}{-}$	$\frac{1,24}{14,0}$	$\frac{1,43}{21,0}$	$\frac{1,04}{-}$	$\frac{0,82}{-}$	$\frac{1,57}{18,5}$	$\frac{1,10}{13,1}$
15	$\frac{1,54}{25,2}$	$\frac{1,53}{17,6}$	$\frac{1,55}{29,2}$	$\frac{1,46}{-}$	$\frac{1,40}{17,0}$	$\frac{1,72}{26,0}$	$\frac{1,28}{-}$	$\frac{0,95}{-}$	$\frac{1,82}{22,0}$	$\frac{1,26}{16,1}$
20	$\frac{1,67}{27,6}$	$\frac{1,68}{20,4}$	$\frac{1,81}{22,0}$	$\frac{1,61}{-}$	$\frac{1,45}{19,7}$	$\frac{1,91}{29,0}$	$\frac{1,48}{-}$	$\frac{1,10}{-}$	$\frac{1,96}{24,3}$	$\frac{1,38}{16,5}$

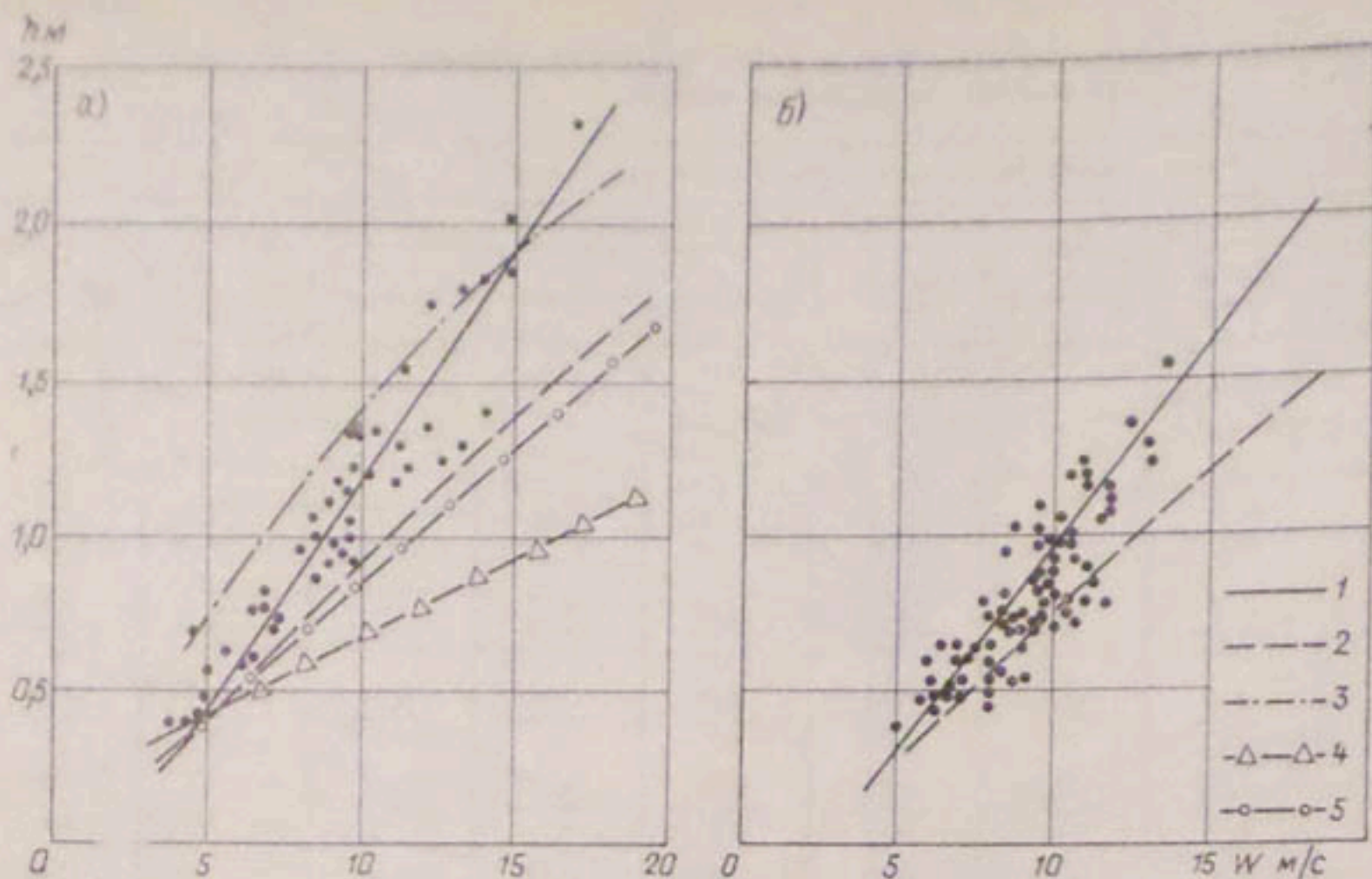


Рис. 7.6. Зависимость максимальных разностей волновых горизонтов (h) от скорости ветра (W).

а — ветры восточных направлений, б — ветры западных направлений. 1 — наблюдаемые данные, 2 — метод А. П. Браславского, 3 — метод Бровикова, 4 — метод Иванова, 5 — формула Никитина и Фроликовой.

Основным элементом рельефа прилегающей к водохранилищу местности являются невысокие холмы с абсолютными отметками 500—550 м, вытянутые в виде гряд в направлении на север, между которыми проходят сухие логи и сая, берущие начало с Зерабулакской возвышенности. Высота холмов над дном логов и сая не превышает 60—70 м.

Над акваторией водохранилища большую часть года преобладают ветры восточных и восточно-северо-восточных, юго-западных и северо-западных направлений, которые в основном определяют волновой режим водохранилища. Наиболее часто повторяются ветры восточных румбов. Юго-западные и северо-западные ветры имеют близкую повторяемость, но наибольшее влияние на волновой режим оказывают ветры юго-западных направлений (табл. 7.7).

Наиболее распространены ветры до 3 м/с. Ветры со скоростью более 10 м/с имеют крайне редкую повторяемость, и они непродолжительны. Максимальные скорости характерны для ветров восточных направлений, но в силу морфологических особенностей котловины они существенного влияния на развитие волнения не оказывают.

Следует отметить, что волнение отмечается практически при всех направлениях ветра, но наи-

большее распространение имеют волны юго-западного и северо-восточного направлений (табл. 7.8). Это объясняется не только преобладающим направлением ветра, но и веерообразной формой водной поверхности, ориентированной основными заливами на юго-запад и юго-восток от плотины, благодаря чему достигается наибольшая длина разгона волн.

При ветрах скоростью 4—6 м/с наблюдаются волны высотой 30—40 см. Рост высот волн при усилении ветра до 10—15 м/с незначителен и возможен лишь для ветра юго-западного направления (табл. 7.9).

Волнение в юго-восточном заливе имеет аналогичное развитие, но ветрам юго-восточного направления присуща малая повторяемость.

При ветрах южного направления и их усилении от 3 до 10 м/с высота волн увеличивается всего на 10 см (от 30 до 40 см). Такое незначительное увеличение высоты волн объясняется малыми размерами водохранилища, вследствие чего более значительный рост высот волн невозможен из-за незначительной длины разгона последних. Так, при ветрах юго-западного направления разгон волн достигает 5,3 км, а при южном — всего 0,8 км.

Максимальная наблюдаемая высота волны по данным срочных наблюдений и ветре юго-запад-

Таблица 7.7

Повторяемость ветра (%) различной скорости и направления.
Каттакурганское водохранилище

Скорость ветра, м/с	С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮЗ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗЗ	ССЗ	Сумма
1—3	2,0	1,0	3,0	10,1	11,8	4,0	3,9	2,5	2,0	2,5	3,0	1,6	1,4	1,9	3,8	3,6	58,1
4—5	0,1		1,5		3,6	3,1	0,3	0,2	0,5	1,0	1,5	0,9	0,4	0,2	1,2	0,6	15,1
6—7			0,4	5,0	7,5	0,9	0,2	0,2	0,4	0,7	1,5	0,9	0,3	0,4	1,0	0,5	19,9
8—9					1,8	0,6			0,1	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	1,2	0,5	5,6
10—11				0,2	0,2					0,1	0,1				0,1		0,7
12—13				0,1	0,2												0,5
14—15					0,1												0,1
Сумма	2,1	1,0	4,9	15,4	25,2	8,6	4,4	2,9	3,1	4,5	6,6	3,6	2,5	2,7	7,3	5,2	100

ного направления для Каттакурганского водохранилища равна 75 см. Здесь следует отметить, что для этого водохранилища характерна большая повторяемость штилей (60,5 %), а на волны высотой до 45 см приходится 39,0 % их общего количества.

Таблица 7.8

Повторяемость волн по направлениям, %

Направление распространения волнения							
С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
1,1	32,8	8,3	6,7	7,6	34,6	2,8	6,1

Таблица 7.9

Высота волны при различной скорости и направлении ветра

Направление ветра	Высота волны (см) при различной скорости ветра, м/с												
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
СВ	30	30	30	30	40	40							
В		30	30	30	40	40							
ЮВ		30	35	40	45	50	50						
Ю	30	30	30	40	40	40	40	40					
ЮЗ		30	30	35	40	45	50	55	55	60			
З		30	30	30									

Волны высотой 50—70 см наблюдаются преимущественно в мае, реже в июне, когда на водохранилище устанавливается НПУ, в основном при ветрах юго-западного направления, повторяемостью 0,5 % (табл. 7.10).

Средний период волн для Каттакурганского водохранилища при различных скоростях и направлениях ветра имеет весьма близкие значения и изменяется от 3,2—3,4 с при скорости ветра 4 м/с до 4,7—4,8 с при скорости ветра 8—9 м/с (табл. 7.11).

Как показал анализ наблюдений за высотой волн по максимально-минимальной волномерной вехе, наблюдения по которой проводились с 1969 по 1977 г., высота волн в открытой области Каттакурганского водохранилища может достигать ве-

Таблица 7.10

Повторяемость высот волн, %

0 (штиль)	Высота волн, см							Наибольшая наблюдаемая
	до 45	50—70	75—100	105—125	130—150	155—200	205—250	
60,5	39,0	0,5						75

Таблица 7.11

Средний период волн (с) при различной скорости и направлении ветра

Направление ветра	Скорость ветра, м/с												
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
СВ		3,2	3,6	3,8	4,0	4,1							
В			4,0	4,0	4,0								
ЮВ		3,2	3,4	3,6	4,0	4,4	4,8						
Ю		3,4	3,6	3,9									
ЮЗ			3,8	4,0	4,2	4,5	4,7						
З		3,8	3,9	4,1									

редко 150—160 см и даже 180 см (21—25/IV 1976 г.) при длине разгона волны 3,3—3,8 км, ветрах южных и юго-западных направлений скоростью 15—20 м/с.

Между параметрами ветрового волнения и скоростью ветра наблюдаются достаточно надежные связи, характеризующие волновой режим водохранилища (рис. 7.7).

При этом следует отметить, что и для Каттакурганского водохранилища сопоставление изме-

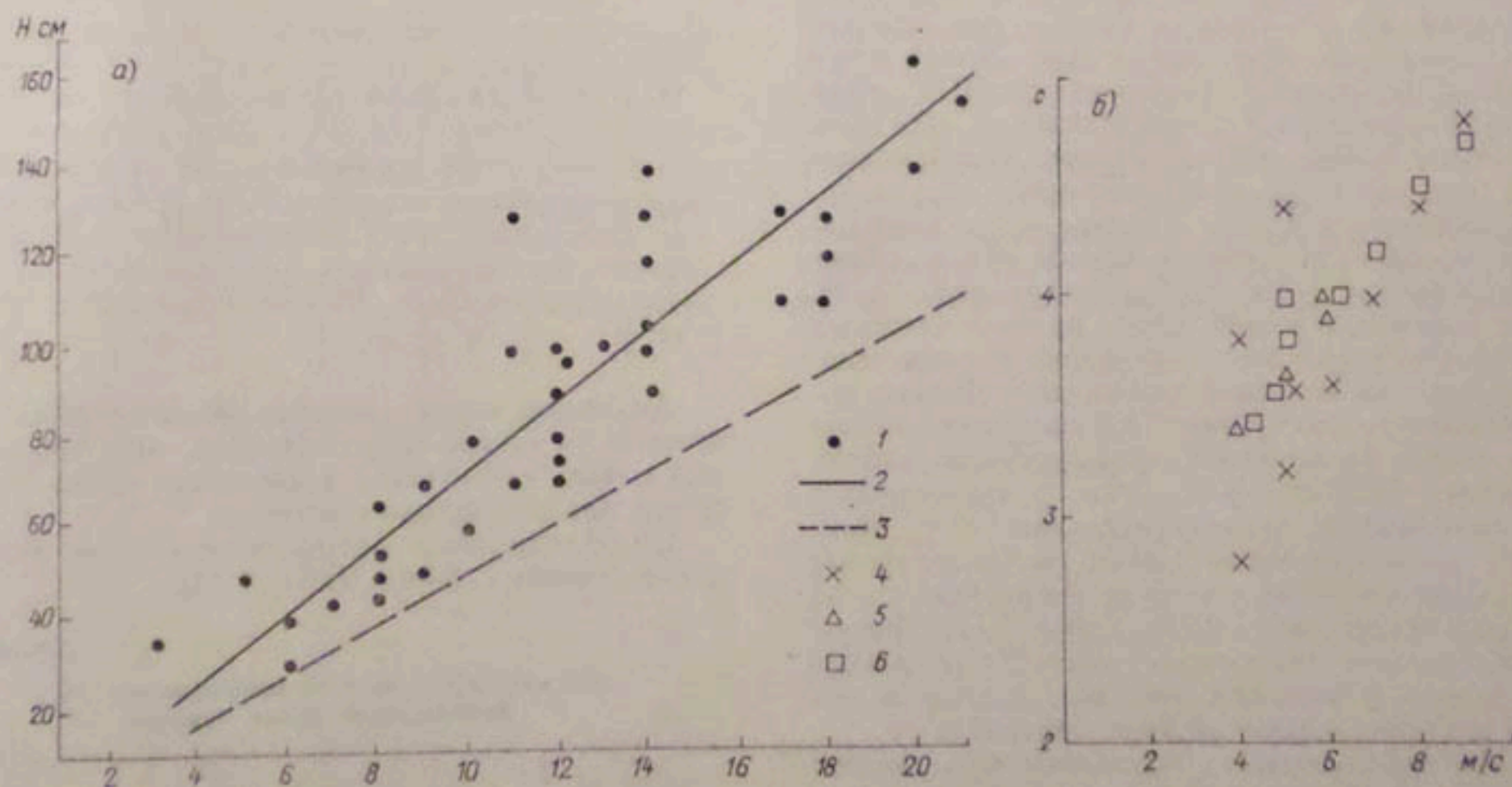


Рис. 7.7. Зависимость высоты волн (см) (а) и ее периода (с) (б) от скорости ветра (м/с) для Каттакурганского водохранилища.

1—по данным натурных наблюдений, 2—по данным, рассчитанным по номограммам А. П. Браславского, 3—по формуле САННИРИ, 4—юго-восточный ветер, 5—южный ветер, 6—юго-западный ветер.

Скорость ветра, м/с	С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗВЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ	Сумма
1—3	20,1	2,2	2,6	1,0	5,9	1,7	6,2	2,5	2,1	0,5	1,7	0,2	3,0	1,6	3,0	3,1	61,8
3—5	8,5	0,7	0,9	0,1	2,4	2,0	2,3	1,2	2,2	0,4	0,4	0,3	0,5	0,1	1,4	1,7	23,2
6—7	3,3	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1		0,0	0,1		0,1	0,1	0,1	5,3
8—9	2,9		0,4	0,2	0,2	0,5	0,1		0,1	0,1		0,1	0,1		1,1	2,0	7,5
10—11	0,5				0,1	0,2	0,2		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1			0,1	0,7
12—13	0,1				0,1		0,1		0,1				0,1	0,1			0,4
14—15	0,1						0,1		0,1	0,1			0,1		0,1		0,5
16—17							0,1		0,1								0,2
18—20							0,1		0,1								0,2
20—21							0,1		0,1								0,2
Сумма	35,5	3,4	4,0	1,5	8,9	4,8	10,5	3,8	5,1	1,0	2,2	0,8	3,9	1,9	5,7	7,0	100

рейных по максимально-минимальной волномерной веке высот волн с расчетными по формуле А. П. Браславского показали хорошую сходимость. По существу расчетная зависимость высоты волны от скорости ветра является осредненной величиной наблюдаемых значений высоты волн. Здесь же следует сказать, что расчетные значения высоты волн по формуле САНИИРИ [103] существенно занижают их значения при скорости ветра более 10 м/с.

Чардаринское водохранилище. Чашей водохранилища служат аллювиальные террасы долины реки, литологический разрез которых весьма однообразен. Акватория водохранилища имеет вытянутую форму, повторяющую очертания древней широкой долины, сформированной гидрогенными процессами р. Сырдарьи. Площадь водохранилища при НПУ составляет 880 км², длина — 80 км, наибольшая ширина — 18 км. Водохранилище осуществляет суточное регулирование стока с ежегодной сработкой 12 м. Чаша водохранилища как бы вложена в Кызылкумское плато, имеет асимметричное распределение. Плато приподнято над водохранилищем на 10—15 м, в связи с чем правый берег обрывист на всем протяжении. Левый берег пологий, представляет заливаемые при НПУ земли зон старого орошения Голодной степи. В этой зоне расположено много древних стариц, которые оголяются при сработке водохранилища. Над акваторией приплотинной зоны Чардаринского водохранилища преобладающими являются ветры северного направления — 35,5 % всех ветров (табл. 7.12). Однако вследствие малой длины разгона ветровых волн (0,5 км) ветры этого направления существенного влияния на волновой режим данной зоны водохранилища не оказывают. Повторяемость ветров юго-восточных направлений, формирующих волновой режим приплотинной зоны и вызывающих волны наибольшей высоты, составляет 19 %. Наибольшее распространение имеют ветры до 3 м/с (62 %). Повторяемость ветров со скоростями более 10 м/с составляет лишь 2,2 % (табл. 7.12). Ветры с максимальными скоростями более 20 м/с имеют также южное и юго-восточное направление и вызывают волнение с высотой волн более 2 м.

Пункты наблюдений за волнением приближены в основном к приплотинной зоне, а полуостров, далеко вдающийся в водохранилище с северного берега, делит его акваторию как бы на два обособленных водоема в отношении разгона ветровых

волн. Именно поэтому, несмотря на длину водоема в 70 км, наибольшая длина разгона волны составляет всего 19 км.

Наблюдения за волнением проводятся на волномерном пункте и в разные годы по четырем максимально-минимальным волномерным векам (табл. 7.13).

Таблица 7.13

Длина разгона воздушного потока разных направлений над акваторией водохранилища, км

С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Волномерный пункт у г. Чардара							
0,2	4,4	8,4	19,0	8,7	6,0	1,1	0,3
Века 1							
1,0	1,9	8,1	19,0	8,0	5,4	1,9	1,0
Века 2							
14	10	9	14	16	20	15	9
Века 3							
14	10	9	14	16	12	16	15
Века 4							
14		9	12		6		9

Акватория водохранилища ориентирована с юго-востока на северо-запад. Именно при юго-восточных ветрах достигается наибольшая длина разгона волны при ее подходе к плотине.

Преобладающим направлением волн является юго-восточное — 53 % (табл. 7.14).

Таблица 7.14

Повторяемость волн по направлениям (%).
Волномерный пункт Чардара

С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
1,3	1,7	16,6	53,0	15,0	5,6	6,5	0,3

Для волномерного пункта Чардара и максимально-минимальных волномерных вех были получены зависимости высоты волны от скорости ветра

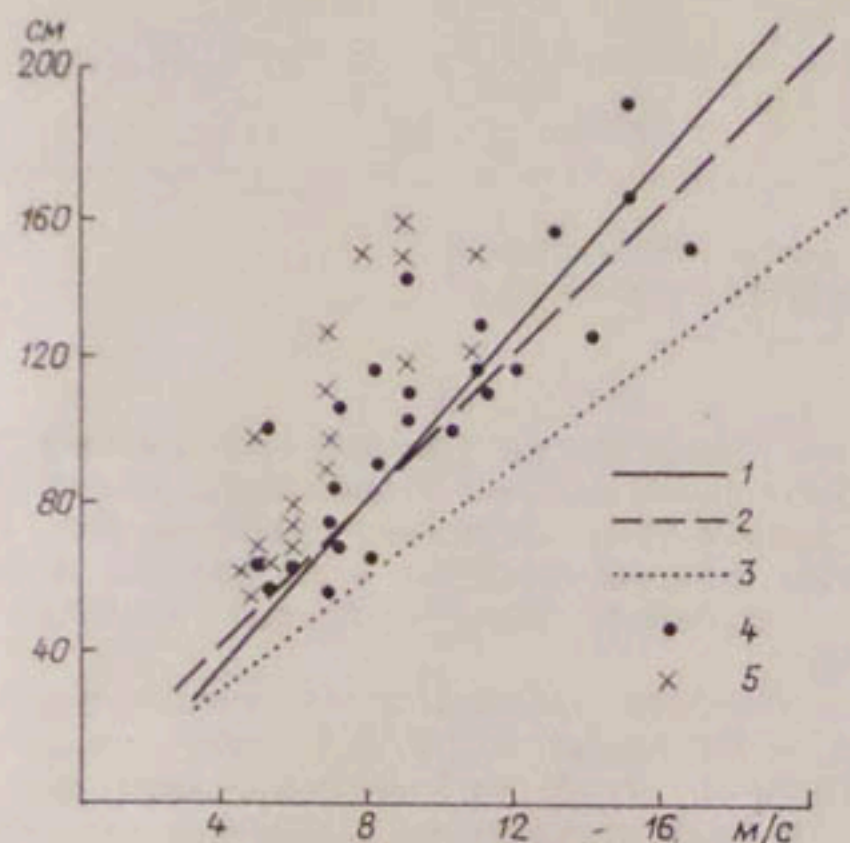


Рис. 7.8. Зависимость высоты волны (см) от скорости ветра (м/с) для Чардаринского водохранилища.

1 — по номограммам А. П. Браславского, 2 — по номограммам А. С. Судольского, 3 — по формуле САНИИРИ, 4 — по данным наблюдений по максимально-минимальной вехе № 1, 5 — по данным наблюдений на волномерном пункте г. Чардара.

(рис. 7.8), позволившие провести оценку применимости расчетных методов определения высот волн для среднеазиатских водохранилищ. Здесь следует отметить, что расчетные зависимости высот волн, учитывающие параметры скорости ветра и длины разгона воздушного потока, занижают натурные данные. Особенно это касается волномерного пункта г. Чардара.

Высоты волн Чардаринского водохранилища нередко достигают более 2 м (табл. 7.15).

Период волн на волномерном пункте Чардара изменяется от 2,2—2,4 с при высоте волн 50—80 см до 3,1—3,2 с при высоте волн 140—150 см.

В заключение была проведена оценка применимости расчетных методов определения параметров волнового режима применительно к условиям среднеазиатских водохранилищ. Как показала проверка, выполненная для Кайраккумского, Чардаринского и Каттакурганского водохранилищ, наи-

более близки к наблюдаемым высоты волн, полученные по номограммам А. П. Браславского, которые рекомендуются для расчетов параметров ветрового волнения среднеазиатских водохранилищ.

Формула САНИИРИ наряду с другими формулами была использована А. С. Судольским для сравнения расчетных наблюдаемых высот волн 1%-ной обеспеченности для Кайраккумского, а

Таблица 7.15

Максимальные высоты волн Чардаринского водохранилища по максимально-минимальным волномерным вехам

Годы	Ветер		Высота волн, см	Годы	Ветер		Высота волн, см
	напра- вление	скорость м/с			напра- вление	скорость м/с	
Веха № 1				Веха № 2			
1969	Ю	14	225	1972	Ю	12	163
1972	Ю	16	165	1973	З	15	159
1973	В	6	140	1974	ЮВ	13	170
1974	ЮВ	16	280	1975	СЗ	12	150
1975	С	7	147	Веха № 3			
1976	ЮВВ	14	210	1972	Ю	16	145
1977	Ю	11	180	1973	СВ	15	201
1978	ЮВ	9	160	1974	ЗЮЗ	12	210
1979	ЗЮЗ	15	199	Веха № 4			
1980	Ю	14	170	1972	Ю	16	203
1980	Ю	15	170				
1981	ЮВ	24	262				

нами для Каттакурганского и Чардаринского водохранилищ. Следует отметить, что при скорости ветра более 10 м/с расчетные данные в 1,5—2 раза занижают высоту волн (см. табл. 7.6 и рис. 7.7, 7.8). Таким образом, нет оснований рекомендовать эту формулу в практику расчетов высот волн. Кроме того, считаем, что номограммы А. С. Судольского, разработанные для Кайраккумского водохранилища (см. рис. 7.4), с успехом могут быть использованы для расчета параметров ветровых волн мелководных равнинных водохранилищ Средней Азии. Следует также рекомендовать в практику расчетов высот волн зависимость высоты волн от их периода, точность определения по которым достаточна для практических целей.

Однако белым пятном остаются горные глубоководные водохранилища Средней Азии, такие, как Нурекское, Токтогульское, Чарвакское и др., волновые процессы которых абсолютно не изучены.

ГЛАВА 8. ТЕЧЕНИЯ

Течения являются одним из важнейших факторов, оказывающих влияние на формирование водных масс водохранилищ, их термический и гидрохимический режим, процессы переформирования берегов и транспорта наносов.

К числу наиболее приоритетных гидрометеорологических факторов, определяющих перемещение водных масс в водохранилищах, относятся поверхностный приток и сток воды через гидротехнические сооружения, ветер и плотностная неоднородность водной толщи.

Наибольшее распространение на водохранилищах Средней Азии имеют стоковые и ветровые течения. При этом в чистом виде течения, как правило, не наблюдаются, поскольку происходит их наложение на формирование довольно сложной структуры перемещения водных масс. При этом на их скорость и направление оказывают влияние скорость и направление ветра, морфологические особенности чаш водохранилищ, степень стратифицированности водной массы, характер приточности и сработки водохранилища.

В связи с ирригационным назначением водохранилищ, интенсивным использованием их водных запасов в летний период и как следствие этого высокой проточностью на большинстве долинных русловых водохранилищ ($K_2 > 3...5$) формируются стоковые течения, вызываемые изменением основных компонентов водного баланса — поверхностного притока и оттока.

Ветровые течения, обусловленные действием касательного напряжения ветра, наблюдаются в безледоставный период, особенно при усилении ветровой деятельности. На мелководных равнинных водохранилищах ветровые течения могут захватывать значительные слои воды, а в отдельных случаях при формировании в придонных слоях компенсационных течений всю водную массу.

На глубоководных, предгорных, стратифицированных и высокопроточных водохранилищах, водная поверхность которых подвержена воздействию горно-долинной ветровой циркуляции, ветровые течения захватывают лишь верхние слои воды, а их проникновение осуществляется до глубины слоя температурного скачка. Основным видом течений, захватывающим значительные объемы водных масс, являются стоковые.

На наливных, слабопроточных водоемах, наполнение которых осуществляется по подводящим каналам в основном в зимний период и имеющим близкий к единице показатель условного водообмена ($K_2 \approx 1$), характерно преобладание ветровых течений. Стоковые течения формируются лишь в зонах впадения каналов и сбросных гидротехнических сооружений.

В настоящее время течения в среднеазиатских водохранилищах изучены недостаточно полно главным образом из-за отсутствия приборов. При этом наиболее изучены основные виды течений (стоковые и ветровые), более доступные полевым измерениям.

Стационарные наблюдения за течениями проводились на Каттакурганском, Кайраккумском, Чардаринском и Туябугузском водохранилищах до 1980 г. и были прекращены вследствие отсутствия приборов.

В 1975—1977 гг. экспедицией САНИГМИ были выполнены наблюдения за течениями в высокопроточном, глубоководном Чарвакском водохранилище, а в 1959—1961 гг. Среднеазиатской экспедицией ГГИ [132, 134] на Кайраккумском водохранилище изучались вдольбереговые течения. Эти материалы и литературные источники легли в основу данной главы.

На Кайраккумском водохранилище измерение течений осуществлялось на рейдовых вертикалях, а также по акватории водоема при проведении комплекса гидрологических наблюдений, при съемках динамики мутности и транспорта наносов.

В 1967—1974 гг. наблюдения велись на рейдовой вертикали № 14, расположенной в центральной зоне водохранилища на расстоянии 25 км от плотины ГЭС «Дружба Народов», в 1975—1980 гг. — на вертикали № 26 в приплотинной зоне на расстоянии 3 км от ГЭС и на вертикали № 2, расположенной в верхней зоне водохранилища и приходящейся на бывшее затопленное русло р. Сырдарьи (рис. 8.1).

В верхней зоне водохранилища наибольшую повторяемость имеют течения северного и северо-западного направлений со скоростями 5—9 см/с. Средние скорости течений колеблются от 7 до 9 см/с на глубине 5 м и от 7 до 11 см/с на глубине 10 м при диапазоне скоростей от 0 до 24 см/с (табл. 8.1).

Преобладающее направление течений в этой зоне водохранилища определяется расположением пункта наблюдений, который характеризует поступление основного потока поверхностного притока в водохранилище.

При объеме Кайраккумского водохранилища 3,4 км² и $K_2 = 4,6$ оно характеризуется как высокопроточное с сезонным изменением водных масс, которые проталкиваются к приплотинному участку, замещающим их речными водами р. Сырдарьи. В этой связи основным типом течений являются стоковые. Однако при интенсивной ветровой деятельности наблюдается наложение гравитационных и ветровых течений, особенно в центральной и верхней зонах водохранилища. В летний период,

Повторяемость течений по их направлению и скорости

Глубина скорости, см/с	Повторяемость течений, %								Сумма	Число случаев
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		

Кайраккумское водохранилище, 1958—1966 гг. (март — ноябрь).
Глубина в месте измерения 16,5 м. Прибор ВММ. Вертикаль 2

Горизонт 5 м

0—4	4,3	2,6	1,8	1,8	5,2	0,9	1,8	2,6	21,0	24
5—9	8,7	9,6	5,2	5,2	5,2	2,6	5,3	9,5	51,3	59
10—14	3,5	1,7		1,7	1,8	1,7	4,3	4,3	19,0	22
15—19					0,9		0,9	0,9	2,7	3
20—24	1,7		0,9		1,7			1,7	6,0	7
Сумма	18,2	13,9	7,9	8,7	14,8	5,2	12,3	19,0	100,0	
Число случаев	21	16	9	10	17	6	14	22		115
Средняя скорость	8	7	8	7	8	8	9	9		
Максимальная скорость	22	14	22	13	22	14	19	24		

Горизонт 10 м

0—4	2,8			0,9	0,9	1,9	0,9	1,9	9,3	10
5—9	12,4	8,5	1,9	8,5	9,4	2,8	3,8	12,4	59,7	63
10—14	5,7	3,8	0,9	0,9	1,9	1,9	2,8	2,8	20,7	22
15—19	0,9				1,9		2,8	3,8	9,4	10
20—24					0,9				0,9	1
Сумма	21,8	12,3	2,8	10,3	15,0	6,6	10,3	20,9	100,0	
Число случаев	23	13	3	11	16,0	7	11	22		
Средняя скорость	8	9	9	7	8	9	11	9		
Максимальная скорость	17	14	10	10	24	14	18	17		

Каттакурганское водохранилище, 1944—1980 гг. (март — ноябрь). Вертикаль 4.

Горизонт 4 м

0—4	3,2	1,6	3,5	5,4	1,9	4,5	1,6	4,8	26,5	83
5—9	3,8	3,2	3,8	9,6	9,6	8,4	5,1	8,6	52,1	163
10—14	1,0	1,3	0,6	1,3	5,5	2,6	1,9	4,2	18,4	57
20—24										
Сумма	8,6	6,1	8,2	16,9	17,3	16,1	8,6	18,2	100,0	
Число случаев	27	19	26	53	54	50	27	57		313
Средняя скорость	6	7	6	6	8	7	7	7		
Максимальная скорость	19	14	15	15	15	15	14	15		

Горизонт 6 м

0—4	2,0	2,0	2,0	4,3	6,0	3,0	5,3	6,6	31,2	94
5—9	3,3	3,3	4,0	6,6	7,0	7,3	4,6	12,7	48,8	147
10—14	1,0	1,0	1,3	3,3	4,6	2,6	1,7	3,3	18,8	57
15—19		0,3		0,3					0,6	2
20—24					0,3		0,3		0,6	2
Сумма	6,3	6,6	7,3	14,5	17,9	12,9	11,9	22,6	100,0	
Число случаев	19	20	22	44	54	39	36	68		302
Средняя скорость	6	7	7	7	7	7	6	6		
Максимальная скорость	13	18	13	16	23	13	22	14		

Горизонт 10 м

0—4	1,6	2,4	2,4	2,4	3,5	4,5	3,7	2,8	23,3	118
5—9	4,5	3,0	4,1	6,9	11,4	8,5	9,1	10,1	57,6	292
10—14	2,0	1,2	0,4	2,4	3,7	3,4	2,2	2,0	17,3	87
15—19	0,6			0,4	0,8				1,8	
20—24										
Сумма	8,7	6,6	6,9	12,1	19,4	16,4	15,0	14,9	100,0	
Число случаев	44	33	35	61	99	83	76	75		506
Средняя скорость	8	6	6	7	7	7	6	7		
Максимальная скорость	19	14	10	16	16	13	14	14		

Горизонт 15 м

0—4	1,0	0,5	3,0	1,5	4,0	4,0	2,0	2,5	18,5	37
5—9	5,4	1,5	4,4	12,8	12,3	12,9	7,4	8,4	65,1	132
10—14	1,5			0,5	4,4	4,0	1,5	1,0	12,9	26
15—19		0,5				1,5	0,5	1,0	3,5	7
Сумма	7,9	2,5	7,4	14,8	20,7	22,4	11,4	12,9	100,0	
Число случаев	16	5	15	30	42	45	23	26		202
Средняя скорость	7	8	5	7	7	8	7	7		
Максимальная скорость	12	19	9	10	14	15	17	16		

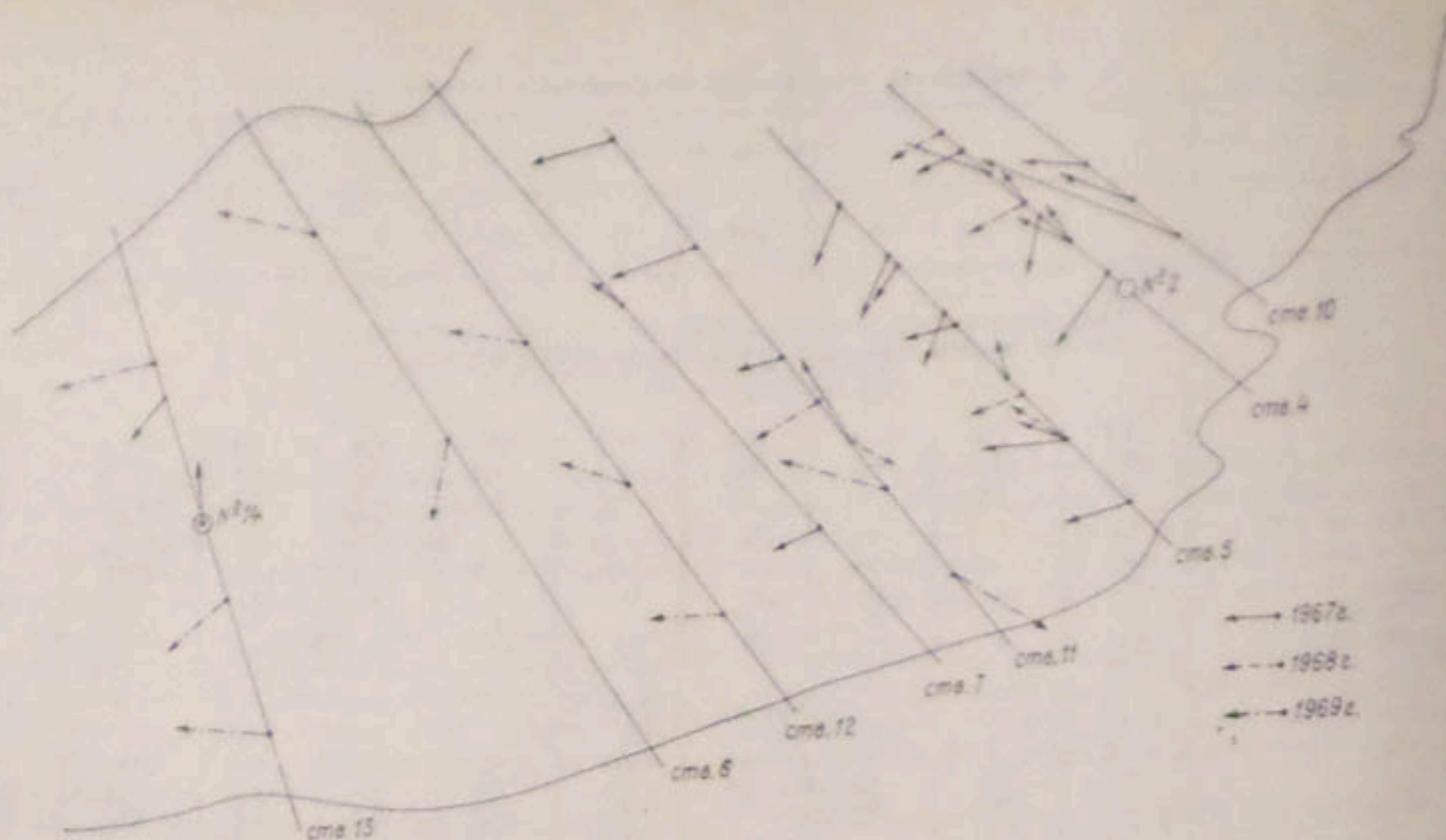


Рис. 8.1. Распределение скорости и направления течения в зимний период на 0,2 глубины Кайракумского водохранилища в зоне его активного заиливания.

когда преобладают ветра западных направлений, формируются суммарные течения с весьма сложной структурой. В зимний период при ветрах восточных направлений общий поток водной массы совпадает с направлением ветра и происходит по основной оси водохранилища (рис. 8.1). Стоковые течения в водохранилище изменяются в основном в зависимости от водности года, режима наполнения, трансформации паводочного стока и сработки (опорожнения) водохранилища. Как видно из рис. 8.2, резкое уменьшение скоростей стоковых течений наблюдается в верхней десятикилометровой зоне. Далее средняя скорость течения по длине водохранилища изменяется весьма незначительно и только с приближением к плотине ГЭС скорость несколько возрастает.

В приплотинной зоне преобладающими являются западные и северо-западные стоковые тече-

ния, направление которых определяется, во-первых, расположением рейдовой вертикали № 26 по отношению к водосбросным сооружениям ГЭС, через которые осуществляется основной отток воды из водохранилища, во-вторых, развитием в этой зоне волнения и нагонов, вызываемых восточными ветрами и направленными вдоль водохранилища (см. главу 7). Максимальные скорости течения этой зоны изменяются от 5 до 25 см/с и приходятся на период летней сработки. Наименьшие значения скоростей (2 см/с) отмечаются в условиях осеннего низкого стояния уровня.

Ветровое волнение в условиях Кайракумского водохранилища обуславливает формирование вдольбереговых течений, имеющих распространение в узкой мелководной зоне, где наблюдается рассеивание энергии волн. Изучение вдольбереговых течений осуществлялось в 1959—1961 гг. Сред-

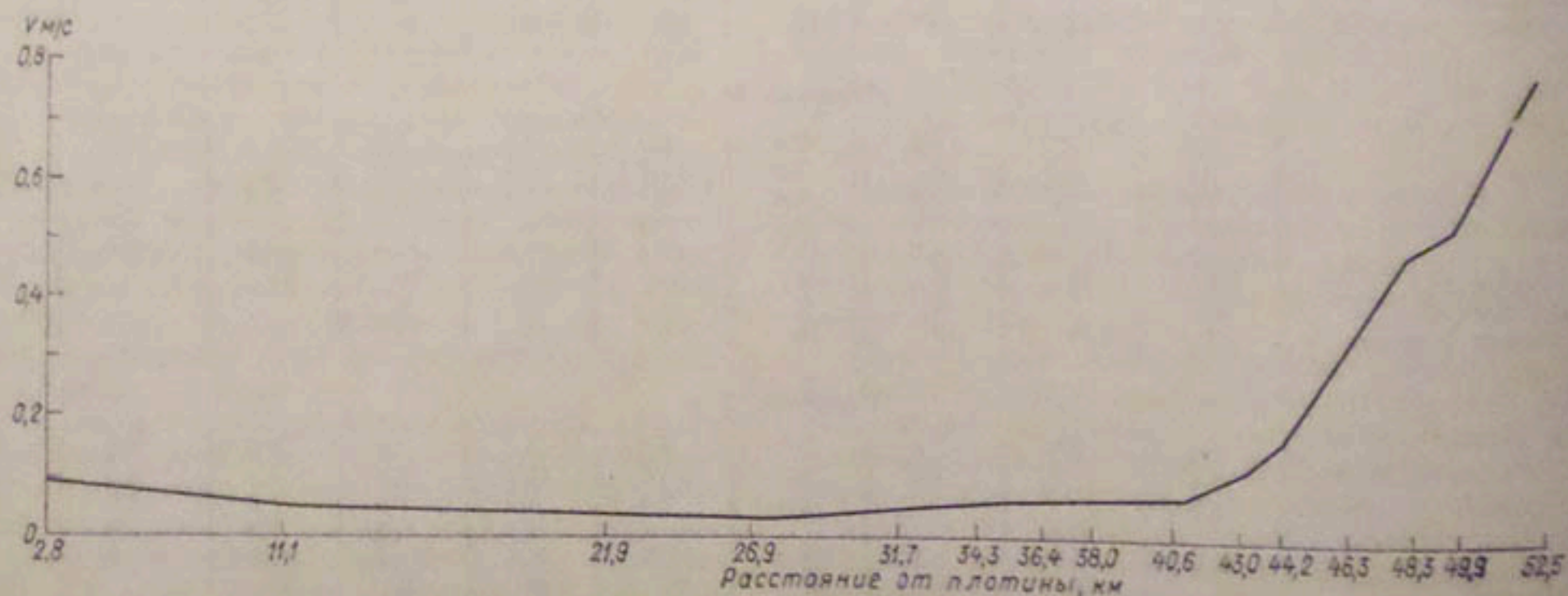


Рис. 8.2. Распределение средней скорости течения (V) по длине Кайракумского водохранилища (км), рассчитанное по средним многолетним данным.

неазнатской экспедицией ГГИ при проведении комплексных исследований по переформированию берегов и изучению волнового режима Кайраккумского водохранилища [133]. Наблюдения проводились на правом берегу, в 6 км выше ГЭС, на участке детальных наблюдений (УДН) за переформированием берега (на рис. 7.1) [131, 132, 134].

Берег на участке прямолинейен, ориентирован с запада-юго-запада на восток-северо-восток и его направление совпадало с направлением преобладающих ветров (см. главу 7).

Измерения течений производились поплавками и измерителем течений П. Н. Бурцева (ИТБ), снабженным гидрометрической вертушкой, в диапазоне скоростей ветра 4—11 м/с.

В результате проведенных исследований было показано, что причиной, вызывающей вдольбереговые течения, является ветер и сопутствующее ему волнение. Масса воды, прижатая к берегу подходящими косо волнами, сохраняет инерцию своего движения и стремится следовать параллельно берегу. Наиболее эффективными являются ветры западных и восточных направлений, имеющие наибольший разгон.

Развитие течений хорошо согласуется с развитием ветра и волнения, но с некоторой сдвижкой

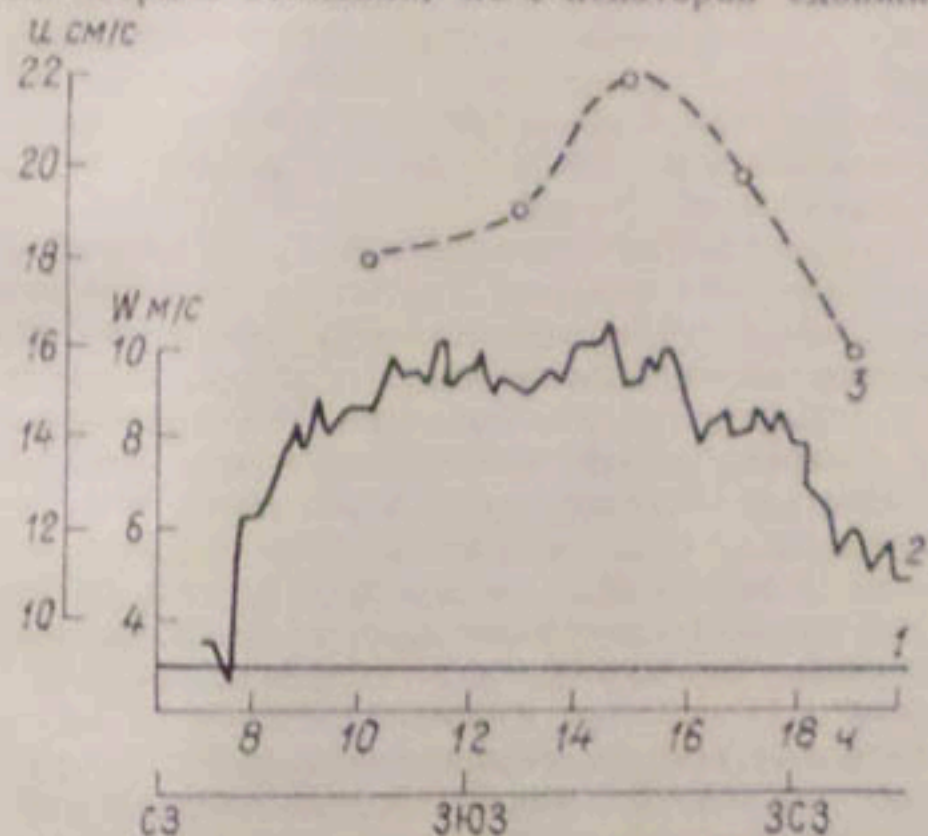


Рис. 8.3. Совмещенный график развития ветра и течений.

1 — направление ветра, 2 — скорость ветра, 3 — поверхностная скорость течения.

во времени фазы развития, обусловленной инерционностью водной массы. При этом сдвижка во времени не превышает 2—3 ч (рис. 8.3). Было установлено, что течения возникают вскоре после начала штормов и уже через 2 ч их скорость достигает почти максимальных значений. При ветре 5—7 м/с средняя скорость течения по вертикали составляет 8—10 см/с, а при ветре 12 м/с — 18—20 см/с. Действующему в течение 4—6 ч ровному ветру соответствует установившаяся стадия течения [134].

При ослаблении ветра происходит затухание течения. Процесс затухания происходит значительно медленнее, чем развития. Например, при падении скорости ветра в течение 2 ч с 6 до 2 м/с скорость течения уменьшилась с 10 до 8 см/с.

На направление вдольбереговых течений в прибрежной полосе большое влияние оказывает кон-

фигурация береговой линии и топография дна. Степень этого влияния различна для разных стадий развития течений.

Западным течениям независимо от стадии развития и скорости ветра свойственно равномерное распределение скорости по прибрежной полосе.

Для восточных течений равномерность их распределения нарушается влиянием сточного течения.

Распределение скорости вдольберегового течения по глубине зависит от фазы его развития, и через 2 ч после начала действия ветра на водную массу она приобретает значительную скорость, которая равномерно убывает с глубиной. Средняя скорость на вертикали при этом приходится на $0,6H$ глубины от поверхности водоема.

При установившемся ветре наблюдается некоторое повышение и выравнивание скоростей по глубине, а средняя скорость отмечается на глубине $0,66H$. Ослабление ветра и затухание течения приводит к резкому уменьшению поверхностной

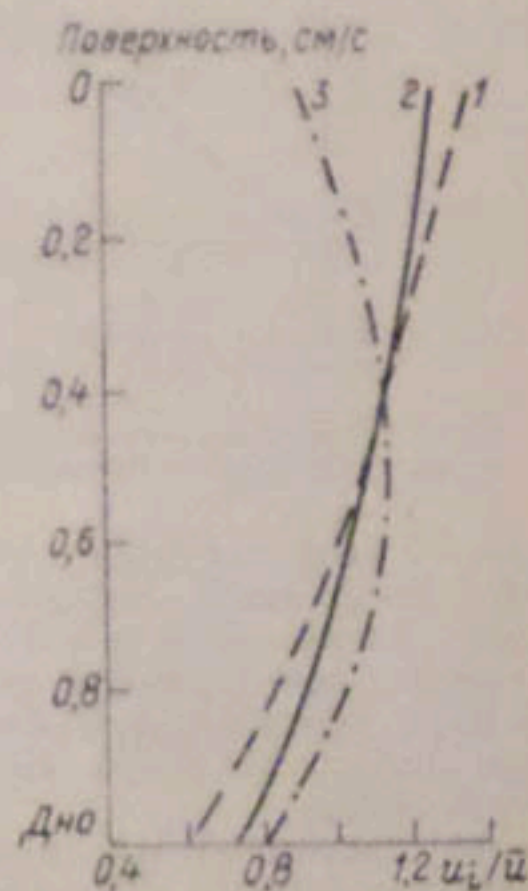


Рис. 8.4. Распределение скоростей течения по вертикали.

Течение: 1 — развивающееся, 2 — установившееся, 3 — затухающее.

скорости, и эпюры скоростей приобретают выпуклую форму с максимальной скоростью в средних слоях потока (рис. 8.4) [26].

Средняя скорость вдольберегового течения зависит от скорости ветра. При восточных ветрах эта зависимость различна для стадии развивающегося и установившегося течения. Скорость потока установившегося течения при одном и том же ветре больше скорости развивающегося течения. Это увеличение обусловлено возникающими сточными течениями (рис. 8.5).

В результате обобщения значительного по объему материала натурных наблюдений Н. С. Бойко были сделаны следующие выводы:

1) вдольбереговые течения возникают с появлением ветра и сравнительно быстро (через 4—6 ч) достигают максимальных значений;

2) развитие течений следует за развитием ветра, но с некоторым опозданием во времени фазы развития, обусловленным инерционностью водной массы;

3) на прямолинейных участках берега при косом подходе волн направление течений приближается к направлению береговой линии;

4) скорости течения (средние на вертикали) на участках прямолинейного берега равномерно

распределяются по ширине прибрежной полосы. При наличии выше участка наблюдений выступающего мыса при восточных ветрах наблюдалось увеличение скорости в прибрежной части шириной 10—15 м (при продолжительных штормах более 4—6 ч), вызванное нагоном воды и появлением сточного течения;

5) развитие течений характеризуется выравниванием скорости по глубине. Точка, отвечающая

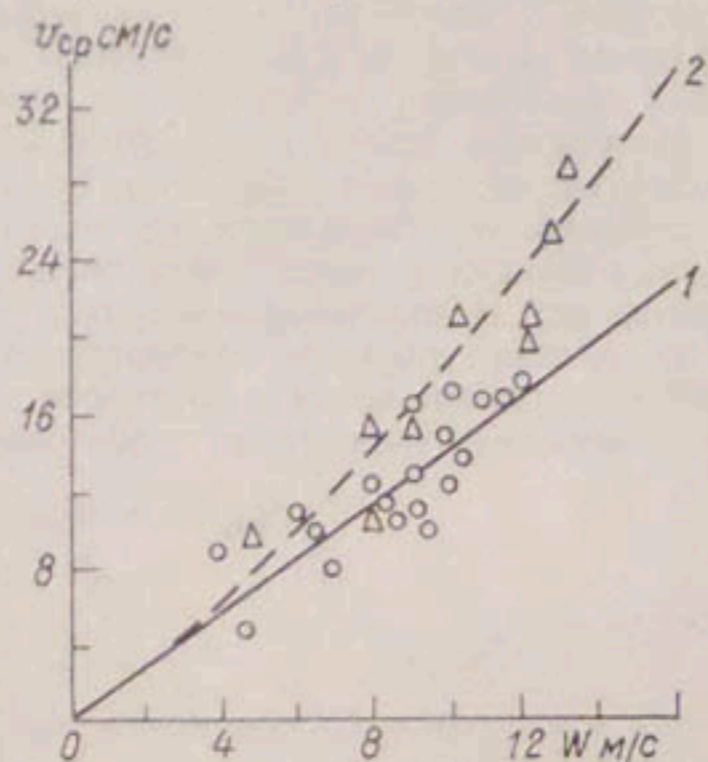


Рис. 8.5. Зависимость средней скорости вдольберегового потока ($v_{ср}$) от скорости ветра (W).

1 — западные и развивающиеся восточные течения, 2 — установившиеся восточные течения.

средней скорости течения на вертикали, находится на относительной глубине 0,6—0,7H от поверхности. Затухающим течениям свойственно быстрое убывание поверхностной скорости. Кривая распределения скорости по глубине приобретает выпуклую форму. Максимум скорости перемещается в глубь потока;

6) скорость вдольберегового потока зависит от скорости ветра, а для восточных течений еще и от стадии развития течений [26].

На наливном Каттакурганском водохранилище в формировании течений особую роль играют морфологические показатели чаши водохранилища, заключающиеся в значительной расчлененности акватории на ориентированные в южном направлении заливы, а также боковом поступлении притока в приплотинную зону (рис. 8.6). Измерения течений

осуществлялось морской модернизированной вертушкой (ВММ) на рейдовой вертикали в центральной приплотинной зоне и при проведении съемок динамика мутности в зоне впадения подводящего канала (рис. 8.6). Ветровые течения формируются на основной акватории водохранилища с прилегающими заливами, а стоковые наблюдаются лишь в приплотинной зоне и прослеживаются на расстоянии 2—3 км от устья подводящего канала.

В зависимости от фазы режима эксплуатации водохранилища стоковые течения имеют сезонное изменение. Наибольшие скорости течений наблюдаются в заливе подводящего канала в период основного осеннего наполнения водохранилища (октябрь—декабрь), реже весеннего (март—апрель) и достигают максимальных значений 36—44 см/с при средних скоростях 20 см/с. При втекании стоковой струи в центральный приплотинный участок наблюдается расширение потока, скорость которого уменьшается до 4—6 см/с (рис. 8.6 а, б). Стоковые течения устойчивы и в зоне рейдовой вертикали имеют южное, юго-западное и юго-восточное направления (табл. 8.1).

Наибольшую повторяемость на всех горизонтах измерения течения имеют скорости от 5 до 9 см/с. Максимальные скорости течений достигают 20—22 см/с и приходятся на двухметровый поверхностный слой.

По вертикали наблюдается уменьшение скоростей течений и на глубине 15 м, в редких случаях они превышают 15 см/с.

В период летней интенсивной сработки наблюдается обратная картина. Течения в приплотинном створе, ориентированные на север и северо-запад, имеют максимальные и средние скорости выше, чем в устьевом заливе. Формирование течений связано с резким увеличением оттока воды из водохранилища и как следствием этого уклоном водной поверхности в сторону водовыпуска, расположенного на расстоянии 1 км севернее створа. В этот период на стоковые течения могут накладываться и ветровые, имеющие одно направление со стоковыми.

Ветровые течения формируются при устойчивых и продолжительных ветрах южных направлений в заливах с юго-западной и юго-восточной ориентацией, по оси которых наблюдается наибольший разгон воздушного потока. В этой ситуации наблюдается нагон в поверхностном слое воды приплотинной зоны водохранилища, а в глубинных слоях

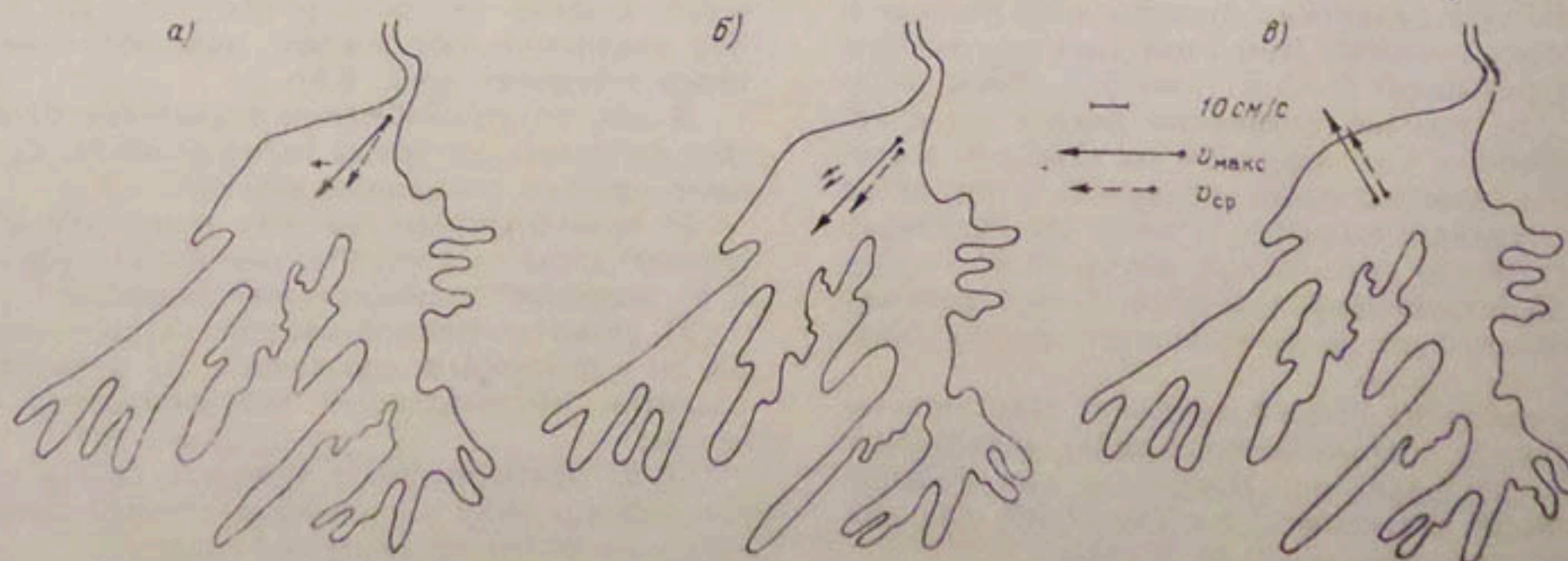


Рис. 8.6. Распределение скоростей течения по акватории Каттакурганского водохранилища. а — декабрь, б — март, в — июнь.

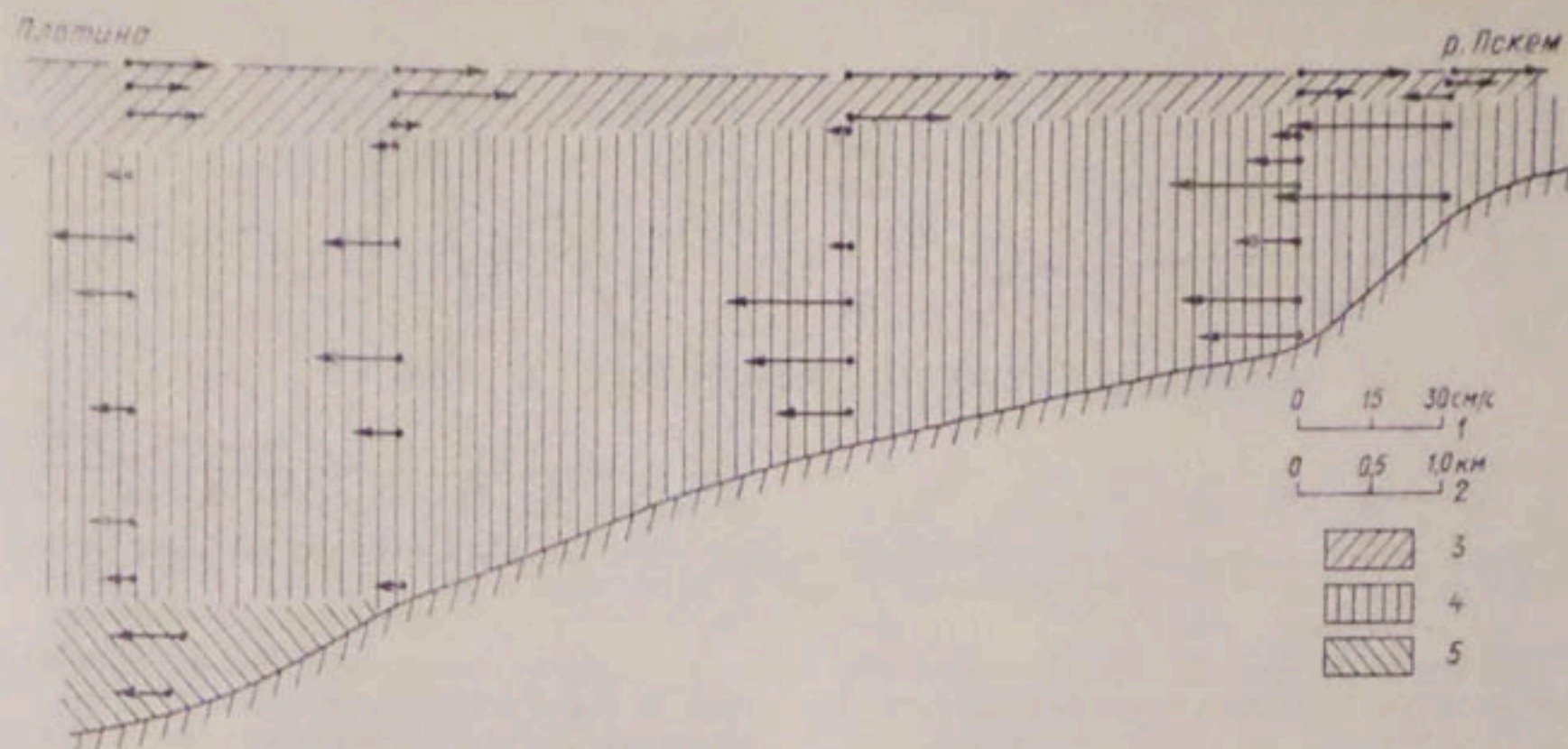


Рис. 8.7. Направление и скорости течений в Чарвакском водохранилище по продольной оси р. Пскем — плотина.

1—скорость течения, 2—горизонтальный масштаб, 3—верхнее дрейфовое течение, 4—основное стоковое течение, 5—нижнее компенсационное течение.

формируются компенсационные течения, имеющие южные направления по оси заливов.

Для глубоководного руслового долинного Чарвакского водохранилища характерно развитие трех видов течений: ветрового, стокового и компенсационного придонного противотечения. Формирование течений определяется плотностной неоднородностью водных масс различного происхождения, горно-долинной ветровой циркуляцией, притоком—оттоком поверхностных вод и морфологическими особенностями Чарвакской котловины (рис. 8.7).

В Чарвакском водохранилище практически во все сезоны годы возможно образование плотностных потоков, причем если в осенние и зимние месяцы они неустойчивы и их существование зависит от конкретных гидрометеорологических условий, то в весенний и летний периоды они являются основной формой внутреннего водообмена в водохранилище. В годовом цикле в результате сезонных изменений плотности водной массы, поступающей по притокам, и озерной водной массы течения могут изменять свои координаты. В период весеннего прогрева речная вода прогревается быстрее и как менее плотная занимает поверхностный слой водохранилища по всей ширине затопленной долины. В дальнейшем интенсивность прогрева водоема превышает интенсивности прогрева притоков, водные массы которых как более плотные опускаются ниже прогретых верхних слоев водохранилища на глубину 10—40 м, на которой он транзитом перемещается к водовыпуску. В поверхностных слоях в этот период в основном устойчивы ветровые течения.

Основные характеристики стокового течения, играющего главную роль в горизонтальном водообмене Чарвакского водохранилища, были получены на основании специальных комплексных съемок стоковых течений. В месте впадения притоков в водохранилище скорости течения на оси потока составляют 25 см/с. Затем в результате продвижения вниз по долине зона, захватываемая речным потоком, расширяется и скорости от 8—12 см/с в Пскемском заливе падают ниже порога чувстви-

тельности приборов (2 см/с) в центральном плёсе (рис. 8.8). На расстоянии около 1 км от плотины скорости стокового течения возрастают до 3—4 см/с на глубине 50—70 м расположения водовыпускного отверстия ГЭС.

В ходе наблюдения за полем скоростей было обнаружено, что ниже границы стокового течения

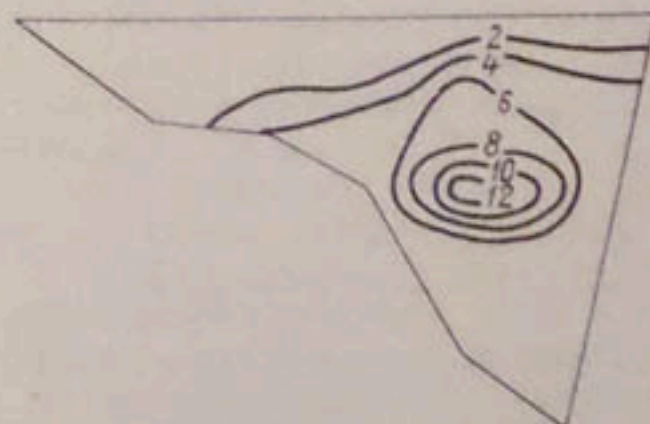


Рис. 8.8. Поперечный разрез поля скоростей течения (см/с) в Пскемском заливе Чарвакского водохранилища.

в затопленных долинах рек существует течение со сравнительно слабо выраженным полем скоростей, меняющее направление в течение суток. Суточные наблюдения показали, что оно носит компенсационный характер. В долине р. Пскем ветер средней силы 3—5 м/с 10—12-часовой продолжительности создает необходимый дефицит водной массы у подветренного берега для образования придонного компенсационного течения.

Ветровые течения формируются под воздействием местной ветровой горно-долинной циркуляции. На примере совместного суточного хода направлений и скоростей ветра и течения можно оценить тесноту их связи (рис. 8.9). Угол между направлением ветра и течения может отклоняться от 180 до 20° в ту и другую стороны. Практически в течение суток вся акватория находится под воздействием воздушных потоков.

Глубина распространения ветровых течений обычно ограничивается термоклином и зависит от его мощности. В неглубоких частях акватории, где

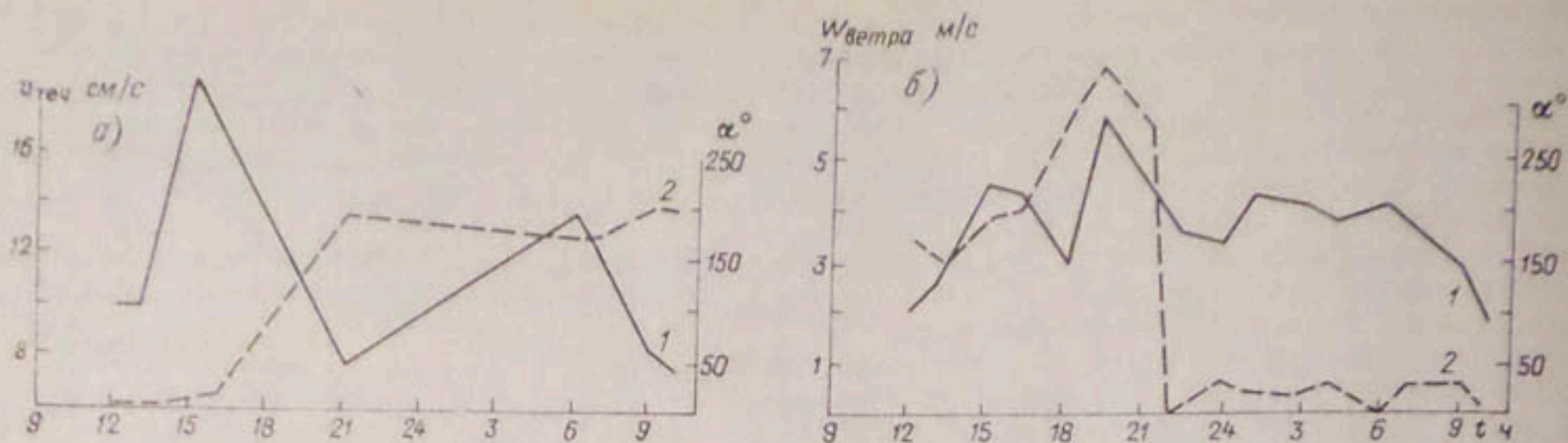


Рис. 8.9. Суточный ход направлений скоростей ветровых течений в поверхностном слое (20 см) воды Чарвакского водохранилища и ветра 5—6/VIII 1977 г.

происходит интенсивный прогрев водной толщи от поверхности до дна и мощность термоклина мень-

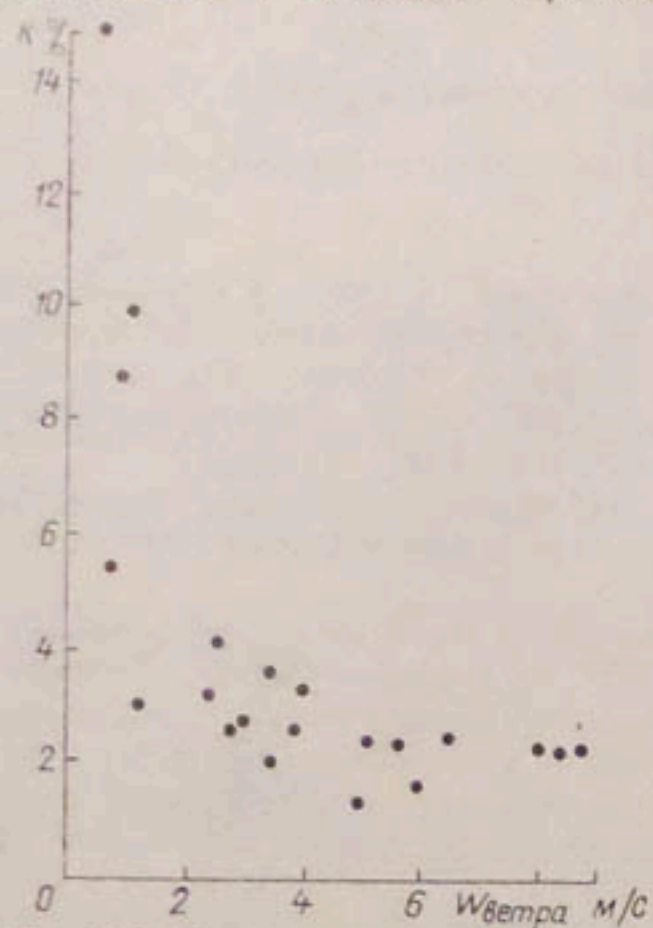


Рис. 8.10. Зависимость ветрового коэффициента K от скорости ветра W для Чарвакского водохранилища.

ше, глубина распространения ветрового течения может достигать 20—25 м (см. рис. 8.8).

В период проведения экспедиционных работ 1976 г. были выполнены исследования, позволившие дать характеристику ветрового коэффициента, отражающего динамические особенности взаимодействия воздушного потока с водной поверхностью в условиях горно-долинной циркуляции. Ветровой коэффициент $K = (V_T/W_B)$ (здесь V_T — скорость течения, м/с; W_B — скорость ветра, м/с) достигает наибольшего значения в условиях продолжительных, установившихся ветров силой до 1 м/с и составляет 5,5—15 %. При увеличении скорости ветра значительная часть его энергии расходуется на формирование ветрового волнения и перемешивание водных масс, в связи с чем средние значения K составляют 2 %. Максимальные значения K хорошо согласуются со значением K , полученным при исследовании дрейфовых течений на оз. Тузкане, где при ветрах около 1 м/с он оценивался в 10 % [97].

Следует отметить, что на значения K в условиях сильно расчлененного водоема, велико влияние местных орографических и батиметрических факторов, что объясняет разброс точек на рис. 8.10 при $K = 4$ %. Отсюда следует, что ветровой коэффициент как характеристика дрейфовых течений в условиях сильно расчлененного водоема имеет смысл лишь для однородных частей акватории, ориентированных по направлению доминирующих ветров.

ГЛАВА 9. ЗАИЛЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ

Одним из главных факторов в оценке динамики водных запасов и режима эксплуатации водохранилищ Средней Азии является изменение объема их чаш за счет заиления, переформирования берегов и просадок грунта ложа.

Первые исследования по оценке заиления чаш водохранилищ были начаты на Мургабских водохранилищах в двадцатые годы. С этой целью были проведены батиметрические съемки Иолотанского, Ташкенпринского и Гиндукушского водохранилищ, в результате которых были рассчитаны объемы заиления, скорректированы зависимости объемов водоемов и площадей водного зеркала от уровня воды.

Значительные исследования, позволившие по новому взглянуть на процесс заиления, были выполнены с 1948 по 1955 г. на Фархадском водохранилище, которое было заилено за этот период более чем на 80 % проектного объема при прогнозе заиления этого объема за 50 лет (рис. 9.1) [12, 13].

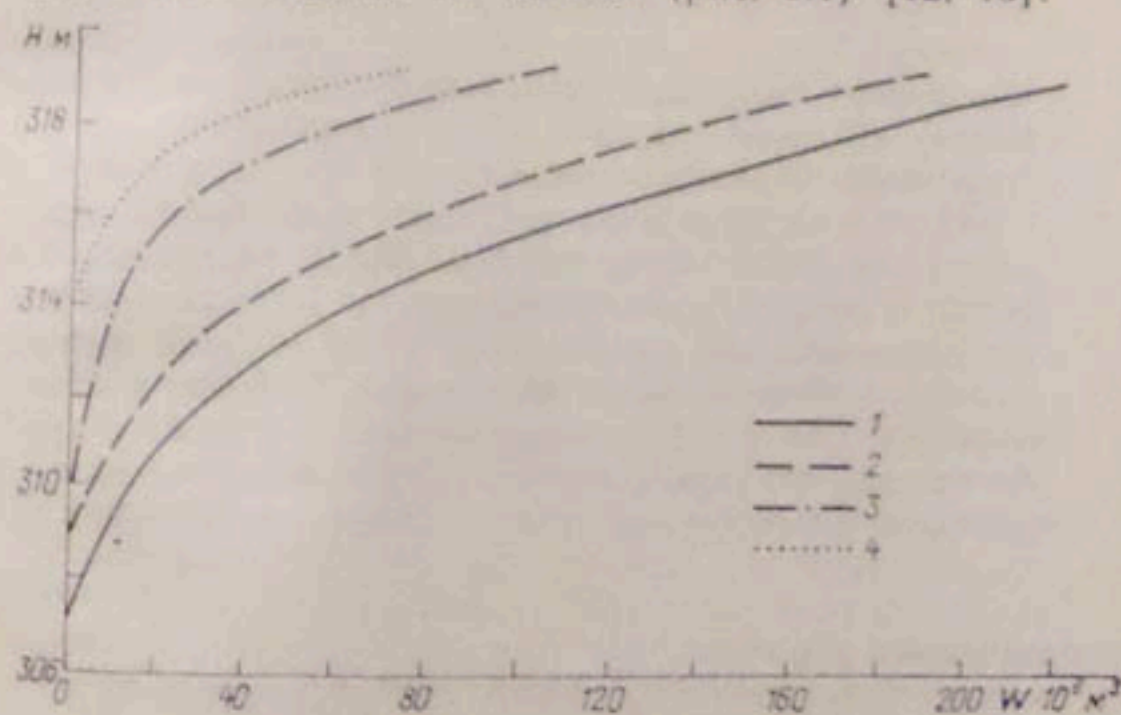


Рис. 9.1. Изменение объема чаши Фархадского водохранилища.

1 — 1948 г., 2 — 1950 г., 3 — 1953 г., 4 — 1955 г.

Методика исследования процессов заиления водохранилищ Средней Азии была заложена работами экспедиции ГГИ [53, 54] и продолжала совершенствоваться в Кайраккумской гидрометеорологической обсерватории [78, 79]. Изучение заиления проводится в трех направлениях: первое — это прежде всего повторные батиметрические съемки чаш водохранилищ, позволяющие получить конечные результаты заиления; второе — анализ компонентов седиментационного баланса на участке водохранилищ; третье — получение пространственной характеристики изменения режима заиления путем проведения съемок динамики мутности, скоростей течения, фракционного и гранулометрического со-

става наносов и донных отложений по акватории водохранилищ.

Батиметрические съемки проводятся по закрепленным на местности створам и сводятся к промерным работам с помощью эхолота или наметкой, а также нивелировкой осушенной части небольших водохранилищ после их сработки [53]. Наибольшую методическую трудность здесь представляет определение расстояний на створах, имеющих длину в несколько километров. Обычно это делается по ходу судна с дополнительными засечками контрольных точек (в среднем одна-две на километр) секстантом по береговым ориентирам.

Начиная с 1966 г. эхолотирование производится и по косым галсам, закрепленным у тех же створных знаков, что в значительной мере облегчает рисовку рельефа между створами. Для более точного определения площадей, успешно применена аэрофотосъемка, которая позволила внести существенные коррективы в материалы наземных работ. Обработка полевых материалов заключается в построении планов и расчете кривых зависимостей объемов водоемов и площадей водного зеркала от уровня воды.

Баланс стока наносов изучается на замыкающих водохранилище гидрометрических створах и проводится путем измерения расходов взвешенных наносов и отбора ежедневных проб на мутность. Пробы берутся, как правило, батометрами длительного наполнения, опускаемыми в поток на штанге или в грузе. Для получения объема отложившихся в водохранилище наносов используются материалы специальных исследований объемного веса отложений [54, 142].

Динамика мутности в водохранилище изучается преимущественно в верхней зоне русловых водохранилищ или в зоне подводящего канала на наливных водохранилищах, наиболее подверженных заилению. Отборы проб на мутность проводятся на закрепленных створах батометрами длительного или мгновенного наполнения на вертикалях, количество которых на створе может изменяться в зависимости от его длины от 5—6 до 10—15. Пробы берутся в пяти или в двух точках. Одновременно на этих горизонтах производится измерение скоростей течения.

Весьма существенным фактором, влияющим на сопоставимость полученных результатов, является время затраченное на производство работ. Для улучшения качества материалов на небольших водохранилищах продолжительность съемки динамики мутности не превышает одного рабочего дня. На таких водохранилищах, как Кайраккумское, при охвате значительной площади водной поверхности продолжительность съемки доведена до 2—



Рис. 9.2. Схема расположения Мургабских водохранилищ.
Водохранилища: I — Ташкепринское, II — Сары-Языское, III — Колхозбентское, IV — Иолотанское, V — Гиндукушское.

3 сут. Последнее достигается применением 2—3 специально оборудованных судов. Одновременно на замыкающих створах производятся измерения расходов воды и наносов, а также учащенные наблюдения за уровнем воды и мутностью.

Наглядным примером динамики заиления среднеазиатских водохранилищ является эволюция

Таблица 9.1

Батиметрические съемки водохранилищ

Водохранилище	Год производства съемки
Тюямуюнское	1986, 1987
Южно-Сурханское	1975, 1979
Чимкуртанское	1965, 1971, 1980
Пачкамарское	1976
Каттакуртанское	1957, 1959, 1966, 1974, 1983
Куюмазарское	1963, 1973, 1981
Кайраккумское	1959, 1960, 1963, 1964, 1966, 1969, 1975, 1983
Чардаринское	1968, 1977, 1982
Уртатокайское	1960, 1965, 1969, 1980
Ахангаранское	1984
Туябугузское	1964, 1968, 1984
Чарвакское	1985
Джизакское	1986
Иолотанское	1928, 1949, 1955, 1979
Тедженское II	1982

р. Мургаб аккумулировались в чаше Колхозбент-чаши Иолотанского водохранилища. За 74 года эксплуатации (1909—1983 гг.) его объем уменьшился на 47,5 млн м³, или на 68 %. При этом в первые 15 лет чаша водохранилища заилась лишь на 2 млн м³, так как практически все наносы

ского водохранилища, заилившегося к 1928 г. (рис. 9.2). За последующие 24 года (1928—1949 гг.) объем заиления составил 34,8 млн м³, а в период с 1950 по 1955 г. интенсивность заиления сократилась до 0,4 млн м³/г. в связи с вводом в эксплуатацию расположенного выше по течению р. Мургаб Ташкепринского водохранилища. Строительство Сары-Языского водохранилища еще более сократило поступление наносов в чашу Иолотанского водохранилища, с 1955 по 1983 г. средний годовой объем наносов оценивался в 0,3 млн м³.

С 1955 по 1986 г. из водохранилищ Средней Азии было произведено 40 батиметрических съемок (табл. 9.1), которые позволили провести анализ и выявить основные факторы, определяющие заиление водохранилищ, а также сформулировать закономерности развития этого процесса.

В настоящее время благодаря проведению систематических батиметрических съемок с периодичностью от 3 до 8 лет, появилась возможность оценить объемы заиления чаш водохранилищ и охарактеризовать динамику изменения их водных запасов. Как видно из табл. 9.2, процессы заиления имеют высокую интенсивность, достигая уменьшения объемов чаш в 1—2 % в год, и тем самым заслуживают особого внимания.

Изучение процессов заиления предгорных водохранилищ было осуществлено Ю. Н. Ивановым на Уртатокайском водохранилище в период работы Среднеазиатской экспедиции ГГИ. С этой целью в ноябре 1960 г. была выполнена детальная нивелировка дна по 45 поперечникам в условиях сработанного водохранилища и проанализированы материалы по твердому стоку р. Кассансай с 1940 по

Таблица 9.2

Объемы заиления водохранилища, млн м³

Водохранилища	Начальный объем млн м ³	Год от начала наблюдений															
		3	8	9	10	12	13	17	18	21	24	26	30	37	43	74	80
Южно-Сурханское	758			102			118										
Чимкуртанское	480			29					38								
Пачкамарское	310			16					17								
Каттакуртанское	860		9														
Куюмазарское	332	13					20			27							
Кайраккумское	4200	100		210		420						672					
Уртатокайское	162				2												
Ахангаранское	399				1				20								
Туябугузское	250	13															
Чарвакское	2005		14														
Ташкепринское	166													148			
Колхозбентское	55																
Иолотанское	72							12		50				37	41	48	
Тедженское I	150												117				
Тедженское II	180								49								
Хор-Хор	22										4						
Фархадское	253	35			220												

1963 г. Сопоставление плана чаши водохранилища в горизонталях по съемке института Уггирводхоз в 1941 г. и по данным съемки ГГИ в 1960 г. показало, что объем водохранилища за 19 лет эксплуатации уменьшился на 1,569 млн м³ (табл. 9.3).

Таблица 9.3

Изменение объема Уртатокайского водохранилища

Отметка водного зеркала, м над ур. м	1941 г.		1961 г.		Уменьше- ние объема, млн м ³
	площадь водохра- нища, км ²	объем, млн м ³	площадь водохра- нища, км ²	объем, млн м ³	
1074	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1076	0,100	0,070	—	—	—
1078	—	—	0,124	0,186	—
1080	0,323	0,916	0,278	0,588	0,328
1082	—	—	0,424	1,290	—
1084	0,621	2,804	0,559	2,273	0,531
1086	—	—	0,689	3,521	—
1088	0,921	5,888	0,854	5,064	0,824
1090	1,086	7,895	1,000	6,918	0,979
1092	1,342	10,323	1,272	9,410	0,813
1094	—	—	1,538	12,220	—
1096	1,832	16,671	1,770	15,528	1,143
1098	—	—	2,029	18,327	—
1100	2,344	25,023	2,332	23,688	1,335
1102	—	—	2,809	28,829	—
1104	2,996	35,703	2,943	34,581	1,122
1106	—	—	3,038	40,562	—
1108	3,570	48,835	3,522	47,122	1,713
1110	3,810	56,215	3,832	54,476	1,739
1112	4,299	64,324	4,235	62,543	1,781
1114	—	—	4,880	71,658	—
1116	5,048	83,018	5,052	81,590	1,428
1118	—	—	5,392	92,034	—
1120	5,876	104,866	5,871	103,297	1,569

Было установлено, что заиление наблюдается непосредственно в устье рек Кассансай и Урюкты и продвигается вниз почти до самой плотины, но при этом отложения наносов формируются в соответствии со сработкой уровня водохранилища в виде гряд с ясно выраженными крутыми уступами высотой в среднем 0,5—0,6 м, располагающимися через 100—200 м по длине водохранилища. В верхней части водохранилища вдоль бывшего русла реки располагается полоса илистых отложений значительной мощности, которая при сработке бьефа прорезается рекою до уровня ее старого дна. В водохранилище ясно выражена сортировка отложений по крупности: в верховьях преобладают гравелисто-песчаные отложения, которые сменяются песчаными, а в нижней части водохранилища — илистыми.

По данным анализа 43 проб донных отложений было получено, что в них преобладают наносы крупностью менее 0,05 мм (77,8 %), причем все

фракции имеют в среднем примерно одинаковый нес. Следует подчеркнуть, что донные отложения водохранилища являются интегральной характеристикой гранулометрического состава взвешенных наносов за многие годы и в этой связи наиболее полно отражают их количественный и качественный состав.

При сопоставлении объема заиления водохранилища с количеством наносов, поступивших в него по рекам Кассансай и Урюкты за период эксплуатации и равным 1,348 млн м³, получаем невязку в 0,221 млн м³. При учете объема возможного заиления за счет переформирования берегов, которое оценивается в 0,005 млн м³, с учетом стока взвешенных наносов рек Кассансай и Урюкты объем заиления по балансу стока наносов составит 1,353 млн м³, или 86 % объема заиления по промерам. Учитывая точность учета стока взвешенных наносов на горных реках, нивелировочных работ и первичного картографического материала, на котором заложение горизонталей составило 2 м, как считает автор, приведенные расчеты следует признать удовлетворительными [53].

Оценкой правильности промеров, с одной стороны, является седиментационный баланс, который позволяет представить из каких источников происходит заиление или занесение водоема, а с другой — сопоставление результирующей объема заиления с данными баланса наносов проливают свет на полноту и точность наших наблюдений в замыкающих гидрометрических створах и на самом водохранилище.

Основными компонентами седиментационного баланса водохранилищ является

$$V = V_{\text{пр}} + V_{\text{бер}} - V_{\text{но}} \pm V_{\text{н}}$$

где V — суммарный объем отложения наносов в водохранилище; $V_{\text{пр}}$ — объем наносов, поступивших в водохранилище с водосборного бассейна по основным рекам, каналам, боковым притокам, включая коллекторно-дренажную сеть, временно действующие водотоки, распределенные по периметру водоема; $V_{\text{бер}}$ — объем отложений, поступивших в водохранилище при переработке его берегов; $V_{\text{но}}$ — объем наносов, сброшенных в нижний бьеф; $V_{\text{н}}$ — абсолютная невязка седиментационного баланса водохранилищ.

При расчетах седиментационных балансов не учитывались отложения за счет садки солей, отложения продуктов внутриводной растительности и гидробионтов, выпадения из атмосферы пыли и ветровой перенос песка, так как эти процессы изучены недостаточно полно и по ориентированным оценкам составляют лишь мизерную долю в общем балансе наносов (табл. 9.4).

Таблица 9.4

Многолетний седиментационный баланс водохранилищ

Водохранилище (годы)	Компонент									
	V		$V_{\text{пр}}$		$V_{\text{бер}}$		$V_{\text{но}}$		$V_{\text{н}}$	
	млн м ³	%	млн м ³	%	млн м ³	%	млн м ³	%	млн м ³	%
Кайраккумское (1956—1983)	742	100	444	59,8	8	1,1	10	1,3	300	40,5
Чимчурганское (1962—1980)	40,1	100	24,6	61,7	1,2	3,0	0,15	0,4	14,2	35,7
Южно-Сурханское (1967—1979)	116	100	73,7	63,6	10,3	8,9	0,3	0,3	32,3	27,8
Куймазарское (1963—1981)	14,2	100	9,4	66,2	2,5	17,6	0,01	0,0	2,3	16,2

Анализируя компоненты водно-седиментационного баланса среднеазиатских водохранилищ следует подчеркнуть, что основная доля наносов, поступающих с водосборного бассейна, приносится в водохранилище по основной реке или каналу в виде взвешенных $V_{взв}$ и влекомых $V_{вл}$ наносов, наиболее изученными из которых являются взвешенные (табл. 9.5).

Несмотря на низкую точность определения срочных и среднесрочных характеристик стока взвешенных наносов, при расчете годовых и тем более многолетних их значений случайные ошибки

Таблица 9.5

Приток взвешенных наносов в некоторые водохранилища Средней Азии

Водохранилища	Средний годовой приток взвешенных наносов с учетом параметра $\gamma_{ск}$	
	10^6 м^3	% объема водохранилища
Кайраккумское ¹	22/5,7	0,62/0,16
Каттакурганское	0,8	0,09
Южно-Сурханское	6,1	0,76
Чимкуртанское	1,4	0,28
Куямазарское	0,5	0,16
Пачкамарское	0,3	0,11
Туябугульское	0,2	0,07
Уртатоксайское	0,1	0,05

¹ Для Кайраккумского водохранилища приведены сведения для периодов до (числитель) и после (знаменатель) ввода в эксплуатацию Токтогульского водохранилища.

практически исключаются. Как показывает анализ параллельных наблюдений на входных гидрометрических створах Кайраккумского водохранилища, расположенных на расстоянии 18 км между пунктами Акджар и Чильмахрам, средняя годовая погрешность расчета стока взвешенных наносов по результатам наблюдений за последние 15 лет равна не более 9, а среднего многолетнего его значения — не более 3 % [78]. Изменчивость стока взвешенных наносов как в многолетнем, так и внутригодовом разрезе значительно больше колебаний водности водотока. Это объясняется влиянием на формирование стока взвешенных наносов множества дополнительных факторов, в том числе и хозяйственной деятельности человека, связанной с освоением земель, строительством на реке каскадов водохранилищ и т. д. Так, например, в результате ввода в эксплуатацию Токтогульского водохранилища с 1974 г. при одинаковых средних годовых объемах притока воды в Кайраккумское водохранилище сток взвешенных наносов сократился в 2—4 раза, а в его формировании возросла роль русловых отложений (табл. 9.5).

Рассматривая внутригодовое распределение притока взвешенных наносов в водохранилища Средней Азии можно отметить, что на долю половодья, продолжающегося около 5 месяцев, в большинстве случаев приходится более 90 % годовой нормы стока взвешенных наносов. Половодье, как правило, совпадает с периодом, когда горизонт воды в водоемах близок к НПУ, что вызывает интенсивное заиление верхней зоны водохранилищ.

Влекомые наносы $V_{вл}$ в отличие от взвешенных изучены слабо. В первую очередь это связано со сложностями русловых процессов и отсутствием

приборов, дающих возможность производить достоверные измерения [65].

В первые годы эксплуатации водохранилищ происходит интенсивное переформирование его берегов. Скорость этого процесса, естественно, неодинакова для разных типов водохранилищ и зависит от их морфологических структур, геологического строения берегов, волнового воздействия, длительности стояния нормально подвертого уровня воды, глубины сработки и многих других факторов [56, 70].

Со временем интенсивность этого процесса падает, что в первую очередь связано с образованием устойчивой береговой отмели. Объем наносов, поступивших в водохранилище за счет береговых обрушений $V_{бер}$, определяется по результатам измерений на участках изучения переформирования берегов, а также нивелировочных работ при производстве батиметрических съемок. Примером может служить Кайраккумское водохранилище, где за первые 15 лет его эксплуатации объем береговых обрушений составил 6 млн м^3 берега, а за вторые — лишь 2 млн м^3 .

Для подсчета объема отложений, поступающих в водохранилище при переработке его берегов, использованы данные наблюдений на участках постов кишл. Джидалык, Правобережный и Дом отдыха.

Берега водохранилища на участке кишл. Джидалык сложены смесью песка с гравием мощностью 8,3 м и супесью мощностью 7,2 м. На участке поста Правобережный мощность песка с гравием достигает 3,5 м, суглинка — 2 м, а в зоне Дома отдыха берега сложены в основном сцементированным песчанником мощностью 10,5 м. Высота берегов составляет 2,2—2,6 м на участке кишл. Джидалык, 1,1—1,3 м на посту Правобережный и 13—13,5 м в зоне Дома отдыха [60, 131, 155].

В результате обрушения берегов под воздействием вышеперечисленных факторов берег водохранилища за первые 15 лет отступил на уровне НПУ на первом участке на 46,3 м, на втором на 25,8 м, на третьем на 42,6 м, а от бровки первоначального склона — соответственно на 37,6, 16,8 и 13,0 м. Каждый участок наблюдений характерен для определенного отрезка периметра водохранилища (табл. 9.6).

При распространении данных на соответствующие участки побережья были получены общие по водохранилищу объемы размыва и аккумуляции продуктов обрушения берегов.

Для водохранилищ, где имеет место значительная переработка берегов и она не изучалась, при наличии аэрофотосъемки площади водного зеркала при НПУ можно ориентировочно оценить объем обрушения берегов с начала ввода в эксплуатацию водохранилища по формуле

$$V_{бер} = \Delta h \Delta f_{НПУ} / 2 \Delta f_{пр},$$

где $\Delta f_{НПУ}$ — увеличение площади водного зеркала при НПУ с начала эксплуатации водохранилища, $f_{пр}$ — площадь, заключенная между контуром НПУ и ближайшей к нему горизонталью на проектном плане, а Δh — превышение между этими изолиниями [78].

Значительно повысить точность определения суммарного объема обрушения с применением полученной формулы можно, производя расчеты по характерным участкам.

Переформирование берегов водохранилищ

Номер участка (створа)	Название участка	Породы берега	Дата съемки		Характеристики деформаций			
			первой	последующей	за дату последующей съемки	за весь период наблюдений		деформаций, м на 1 м берега
					бровка	гребень	размык	
вдхр. Кайраккумское								
1	кишл. Джидалык	Глина, песчаник, гравий	15.07.57	13.10.60	3,3	24,0	30,5	179,5
				28.09.66	2,9	34,4	41,1	188,7
				13.04.70	2,5	37,6	46,3	250,8
				10.10.74	2,3	50,6	62,2	312,0
2	Дом отдыха	Глина, песчаник, гравий	15.07.57	25.09.80	2,4	53,1	64,1	313,0
				05.10.66	12,5	12,3	40,0	307,8
				28.10.70	11,9	13,0	42,6	738,3
				10.10.79	8,5	16,5	49,0	768,0
вдхр. Каттакурганское								
1	Подводящий канал	Суглинки	7.09.70	18.10.75	3,9	27,5	17,9	142,1

Сток взвешенных наносов из водохранилищ в нижний бьеф во многом лимитируется режимом их эксплуатации. Основными факторами, препятствующими выносу наносов, являются:

наполнение водохранилищ, близкое к НПУ, при аккумуляции стока половодья;

опорожнение водохранилищ сопровождается спадом половодья и переходом рек к межениному периоду.

В результате вынос наносов из большинства водохранилищ, за исключением случаев их полной сработки, незначителен, что подтверждается как непосредственными измерениями в нижних бьефах, так и наблюдениями за мутностью в приплотинной зоне на различных горизонтах.

Вынос наносов в нижний бьеф $V_{но}$ для водохранилищ (см. табл. 9.4), за исключением Кайраккумского, где проводились натурные измерения, рассчитывались по формулам И. А. Шнеера с учетом вторичного смыва наносов потоком, протекающим по оголившейся верхней зоне водохранилищ [151, 152].

Особую роль в седиментационном балансе играет суммарный объем наносов V , отложившихся в водохранилище, и определяемый по материалам батиметрических съемок. Суммарная погрешность расчета V складывается из погрешностей, допускаемых при промерных и топографических работах и дальнейшей камеральной обработке полевого и графического материала при определении объема водохранилища в начале и в конце расчетного периода.

Ошибки при полевых работах, проводимых специализированной Кайраккумской гидрометеообсерваторией на водохранилищах, сведены к минимуму путем повышения частоты промерных створов, более тщательной подготовки плановой основы, а также применения эхолотов. Увеличению точности промерных работ способствует сглаживание рельефа дна под действием волнения и осаднения приносимых в водохранилище наносов. Погрешность определения суммарного объема отложений находится в пределах 2—3 %.

В первые годы эксплуатации равнинных водохранилищ, расположенных в зонах распространения лёссовых грунтов, наблюдаются просадки дна в результате заполнения чаш водохранилищ. Дополнительная емкость, возникающая при уплотнении грунтов, как правило, не превышает погрешности промерных работ.

Натурные исследования просадок лёссовых пород были проведены в период заполнения Кайрак-

Таблица 9.7

Объем просадок грунтов Кайраккумского водохранилища за 1966—1969 гг.

№ створа	Площадь просадок по створу, м ²	Площадь просадок между створами, км ²	Среднее расстояние между створами, км	Ширина зоны просадок на створе, км	Средняя толщина слоя просадок, м	Толщина слоя просадок между створами, м	Объем просадок между створами, млн м ³
4	0	1,5	2,4	0			
5	1940	7,5	2,6	2,34	0,83	0,83	7,47
11	3345	1,3	1,6	4,05	0,83	0,68	3,47
7	0	3,8	2,1	0			
12	1885	8,6	2,6	3,64	0,52	0,57	4,90
6	2220			3,57	0,62		
							Общий объем 15,84

кумского водохранилища. С 1956 по 1959 г. максимальные значения просадок достигали в отдельных зонах двухметрового слоя. Площадь распространения просадочных явлений, по данным Ю. Н. Иванова, составила 150 км², а объем деформаций — 60 млн м³ (рис. 9.3) [54]. Однако со временем последнее сокращается и за период между батиметрическими съемками 1966 и 1969 г. объем просадок, подсчитанный непосредственно по совмещенным профилям, составил 15,8 млн м³ (табл. 9.7). Явление просадок в этот период было отмечено в

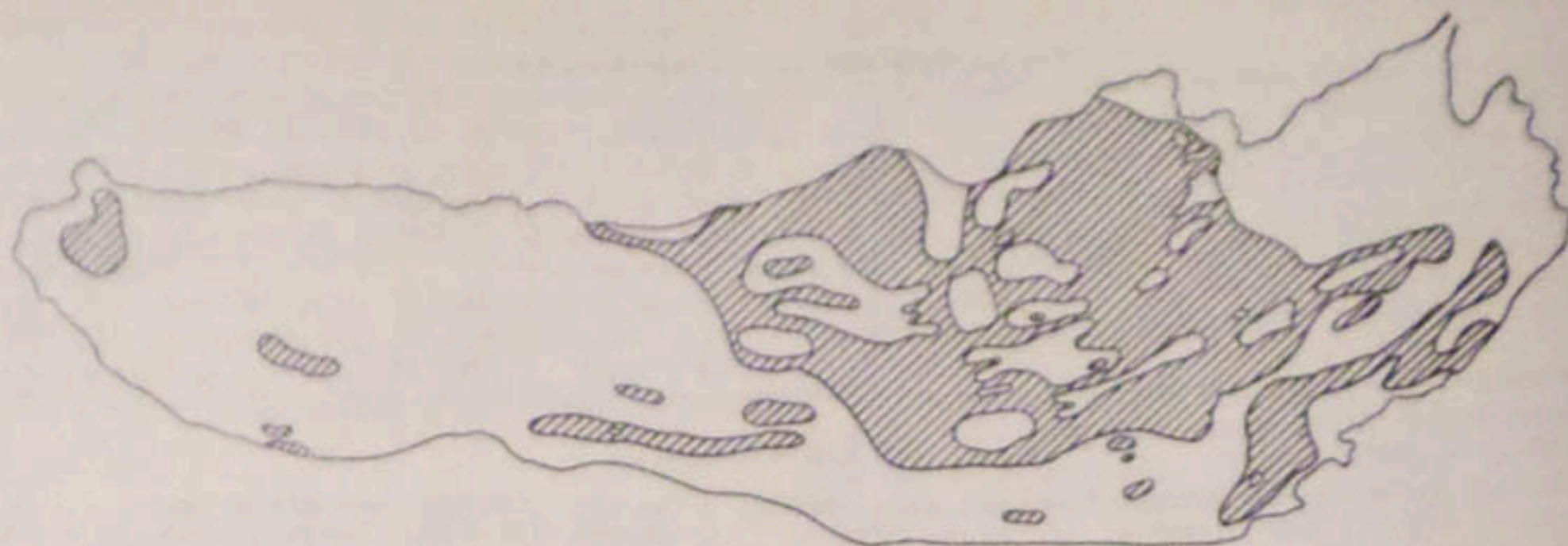


Рис. 9.3. Схема просядок грунта Кайраккумского водохранилища. Штриховкой выделена зона просядок.

основной и мелководной зонах, ежегодно обнажающихся при сработке [60].

Следует сказать, что в условиях Средней Азии при широком распространении лёссовых пород не-

лению, подобные исследования на равнинных водохранилищах (Южно-Сурханское, Каттакурганское, Куймазарское, Чардаринское и др.), расположенных в зонах распространения лёссовых грунтов, не проводились.

В условиях значительных по амплитуде внутри-годовых колебаний уровня воды наблюдается практически ежегодное опорожнение водохранилищ. Особенно значительная сработка водохранилищ отмечается в маловодные годы, когда нередко опорожняются и мертвые объемы. В подобных условиях река прорезает слои ранее осажженных наносов и смывает их на более низкие горизонты.

В целях изучения данного процесса на водохранилищах в характерные фазы их уровня режима производятся съемки динамики мутности, съемки грунтов, а также наблюдения за другими гидрометеорологическими элементами, косвенно или непосредственно влияющими на распределение взвешенных частиц по акватории водоема. Анализ результатов этих исследований показал, что при отсутствии значительного волнения основная масса наносов оседает в устьевой зоне. Мутность воды при этом уменьшается от места впадения реки (канала) к плотине и берегам, но даже при незначительном волнении наблюдается некоторое увеличение мутности у берегов и на отмелях (рис. 9.4). В результате проведения в различные сезоны съемок динамики мутности на Кайраккумском водохранилище были выявлены две резко отличные зоны — верхняя со значительной мутностью (100—3000 г/м³) и нижняя с постоянными значениями мутности порядка 10—20 г/м³ (рис. 9.5).



Рис. 9.4. Распределение мутности (г/м³) по акватории Урта-токайского водохранилища. I — пост наблюдений Угидромета.

обходимо в первые годы эксплуатации водохранилищ проводить батиметрические съемки для уточнения проектных объемных характеристик. К сожа-

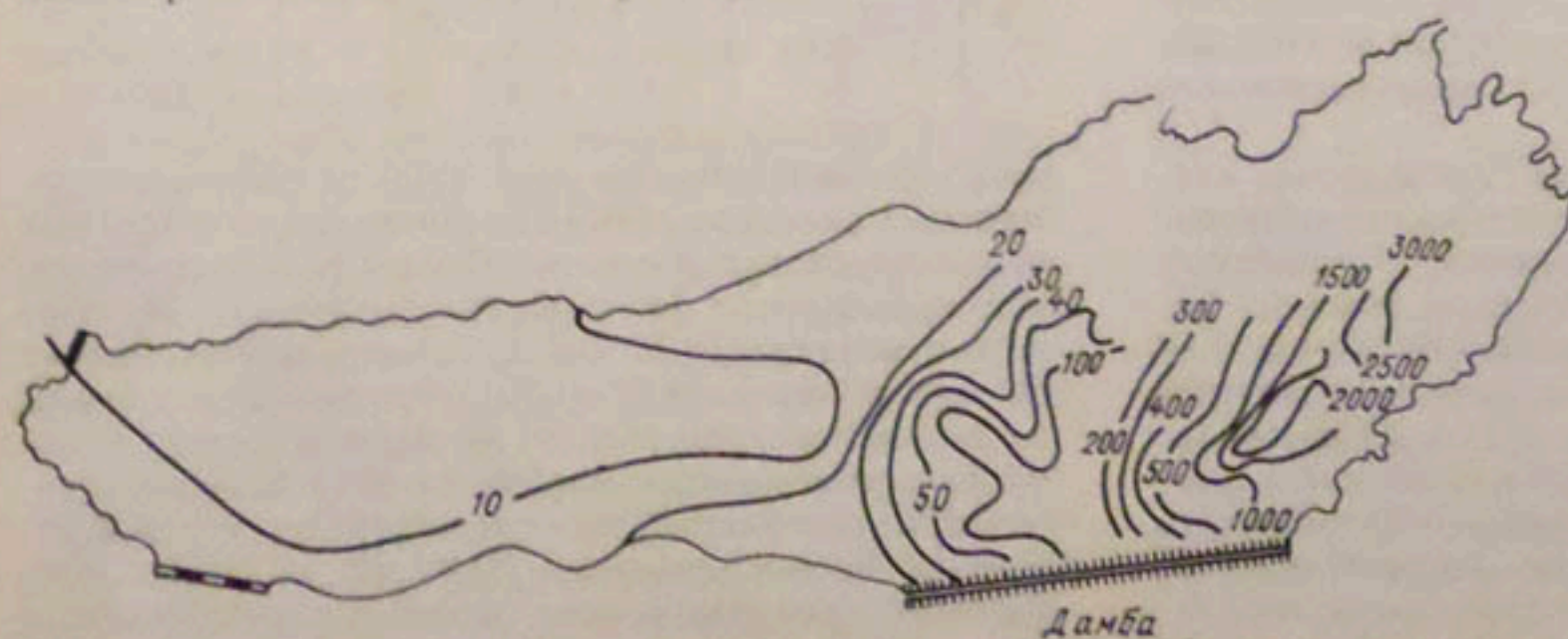


Рис. 9.5. Распределение мутности (г/м³) по акватории Кайраккумского водохранилища.

Распределение мутности по глубине носит более сложный характер. В устье реки концентрация взвешенных частиц в основном уменьшается от дна к поверхности. По мере удаления от устья максимальная мутность может наблюдаться как в средней части вертикали, так и у поверхности, что можно объяснить быстрым осаждением крупных фракций, находящихся в придонном слое. Еще более неопределенный характер распределения мутности по вертикали наблюдается в тех частях водоема, где во взвешенном состоянии остаются лишь мельчайшие частицы, на которые влияют даже незначительные перемещения водных масс [72, 73, 74].

Приток наносов в водохранилища в значительной степени определяется транспортирующей способностью питающих их водотоков. Основная масса

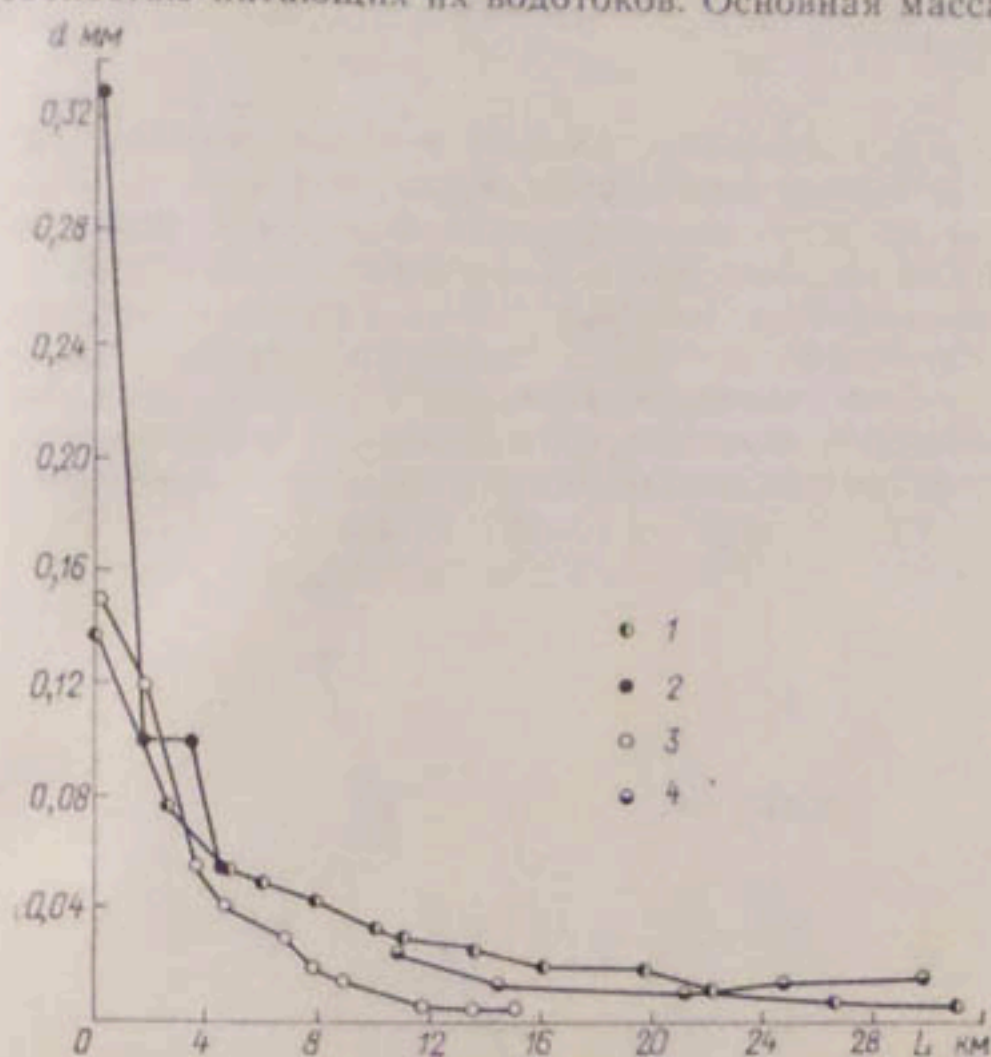


Рис. 9.6. Изменение средней крупности наносов (d) по длине водохранилища (L).

1 — Кайраккумское, 2 — Уртатокайское, 3 — Чимкурганское, 4 — Чардаринское.

наносов приносится рекой в период половодья, когда уровень большинства водохранилищ в Средней Азии в связи со спецификой их эксплуатации близок к НПУ. В таких условиях изменение крупности отложений по длине водохранилища определяется в основном законами осаждения взвешенных частиц, крупность которых, как правило, уменьшается по мере приближения к плотине (рис. 9.6).

Основное накопление наносов в устьевой части водоема при НПУ происходит до тех пор, пока на границе между действующим руслом и образовавшейся поймой не возникнут благоприятные условия для развития растительности, определяемые как глубиной воды, так и длительностью осушения грунта в период вегетации. При возникновении сплошного зарастания обмелевшей зоны водохранилища происходит ее отчуждение от русла реки, чему способствует интенсивное уменьшение глубины воды на границе поймы за счет осаждения здесь наносов, вызванного резким снижением скоростей течения. Благодаря описанному процессу по мере накопления наносов в водохранилище проис-

ходит продвижение зоны активного заиления к плотине [87, 148, 151].

На закрепленном участке русла реки при сработке водохранилища мутность воды может увеличиться только за счет донных наносов, в следствие чего смыл наносов здесь незначителен и русловые процессы происходят в условиях, приближающихся к бытовым. Наиболее интенсивно смыл отложений происходит в области активного заиления до начала процесса естественного закрепления берегов. В этих условиях река, свободно меандрируя и врезаюсь в отложения, все более интенсивно загружается наносами, чему способствует увеличение ее транспортирующей способности в основном за счет уменьшения крупности отложений, уменьшения шероховатости и увеличение уклонов дна. Русло, образовавшееся в зоне активного осаждения наносов при последующем наполнении водохранилища, в результате оплывания слабосвязанных отложений и выравнивающего воздействия волнения практически полностью заиливается.

Необходимо отметить, что устойчивость русла реки, а следовательно, и смыл ранее осевших наносов во многом определяется гранулометрическим составом отложений. Исходя из выше изложенного можно не без основания предположить, что расход взвешенных наносов в оголившейся части водохранилища приближается к транспортирующей способности водного потока.

После впадения реки (канала) в водохранилище расход взвешенных наносов в его устьевой области при недостаточном насыщении водного потока на предустьевом участке может увеличиваться. В значительной мере пополнение такого потока наносами происходит при интенсивном перестроении берегов и дна верхней зоны водохранилища под воздействием волнения и течений (рис. 9.7). В этом случае в гранулометрическом составе взвешенных наносов происходят следующие изменения: наиболее крупные фракции оседают, образуя устьевой бар, а дефицит наносов восполняется более мелкими частицами, входящими в состав донных отложений и береговых разрушений.

При дальнейшем продвижении к плотине происходит пофракционное осаждение наносов, вызываемое уменьшением транспортирующей способности водного потока. Вынос наносов в нижний бьеф возможен только при глубоких сработках, всеобщем взмучивании водоема во время сильных штормов и в случаях образования донного потока повышенной плотности.

Рассматривая результаты съемок грунтов водохранилищ (табл. 9.8), можно проследить изменчивость объемного веса скелета отложений $\gamma_{ск}$ как в пространстве, так и во времени. Степень этой изменчивости определяется рядом факторов, основными из которых являются интенсивность поступления наносов, их гранулометрический состав, режим наполнения и сработки водохранилищ. Плотность отложений в значительной мере зависит от их влажности. При высыхании обнаженных наносов в них появляются частые трещины, размеры которых определяются толщиной слоя отложений. После затопления трещины исчезают, а плотность грунтов приближается к первоначальной.

Как видно из табл. 9.8, объемный вес грунтов водохранилищ повышается за счет уплотнения по мере их ежегодного наслоения.

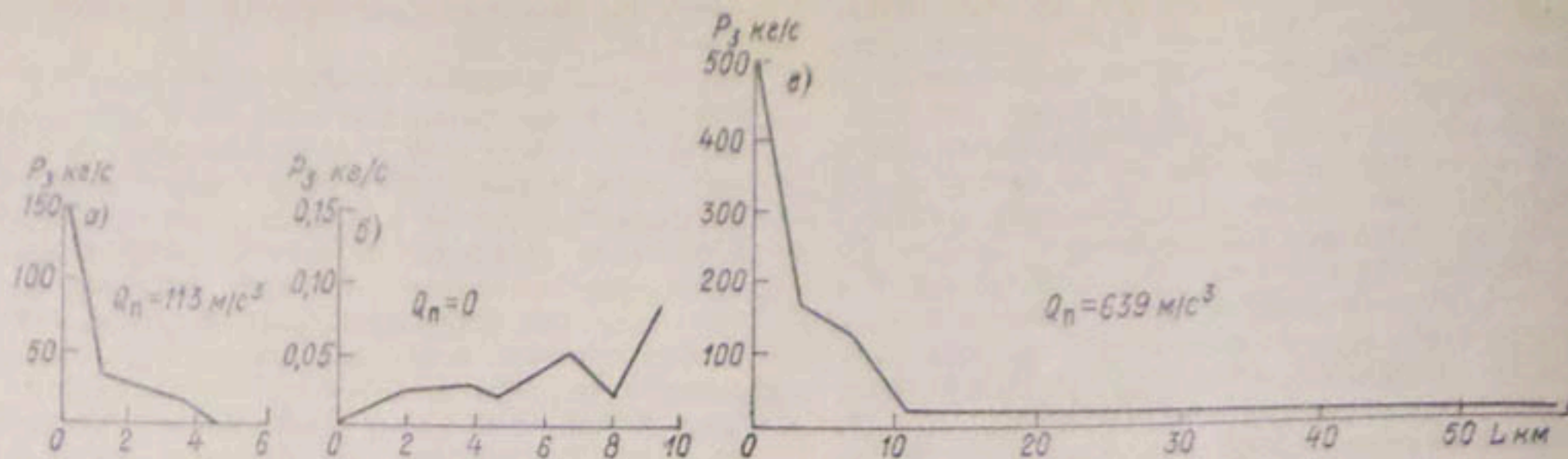


Рис. 9.7. Изменение расхода взвешенных наносов (P) по длине водохранилищ (L).

а, б — Туйбугузское, в — Чардаринское.

Седиментационные балансы наиболее изученных водохранилищ, приведенные в табл. 9.4, показывают, что господствующим компонентом седиментационного баланса являются взвешенные наносы, поступающие с водосбора бассейна по основным водотокам и оценивающиеся в 70—75 % объема

Таблица 9.8

Плотность отложений водохранилищ, $т/м^3$

Год съемки	Средний	Минимальный	Максимальный	Год съемки	Средний	Минимальный	Максимальный
вдхр Южно-Сурханское				вдхр Кайраккумское			
1979	1,15	1,09	1,74	1970	1,27	0,84	1,97
вдхр Чимкурганское				1971	1,28	0,94	1,66
1970	1,31	1,02	1,67	1972	1,34	1,01	1,65
1971	1,15	0,71	1,40	1975	1,45	1,26	1,91
1973	1,55	1,38	1,72	1977	1,34	1,06	1,74
1981	1,54	1,24	1,66	1980	1,29	—	—
1985	1,36	1,08	1,71	1984	1,40	1,04	1,72
вдхр Каттакурганское				вдхр Уртатокайское			
1985	1,38	1,20	1,54	1970	1,13	0,91	1,74
вдхр Куюмазарское				1971	1,41	1,17	1,66
1970	1,25	0,95	1,48	1972	1,38	1,09	1,72
1971	1,24	0,96	1,80	1973	1,45	1,11	1,75
1972	1,14	0,98	1,54	1985	1,32	1,05	1,69
1973	1,47	1,20	1,83	вдхр Тюябугузское			
1975	1,35	1,14	1,78	1983	1,27	—	—
1978	1,43	—	—	вдхр Чарвакское			
1979	1,18	—	—	1985	1,49	1,30	1,72
1980	1,38	—	—	вдхр Джизакское			
1982	1,27	1,08	1,64	1986	1,27	1,11	1,50

заиления, определенного по данным батиметрических съемок. Следует отметить, что остаточный член баланса наносов достаточно велик и всегда положителен. Учитывая небольшой удельный вес в балансе наносов большинства водоемов компонентов $V_{но}$ и $V_{бер}$ можно прийти к выводу, что остаточный член этого баланса включает в себя систематически неучитываемый компонент. Анализ методов учета стока наносов показывает, что этим компонентом является недоучет стока взвешенных частиц в придонном слое потока, находящемся вне досягаемости измерений, и влекомых наносов.

Сток влекомых наносов в долях единицы или в процентах взвешенных может меняться в широких пределах в зависимости от условий формирования твердого стока. Так, например, для горных рек он может достигать 0,3—1 и более, а для равнинных рек исходя из немногочисленных исследований общепринят равным 0,05—0,10. Есть все основания полагать, что для влекомых наносов, особенно для равнин, полученное как измеренными,

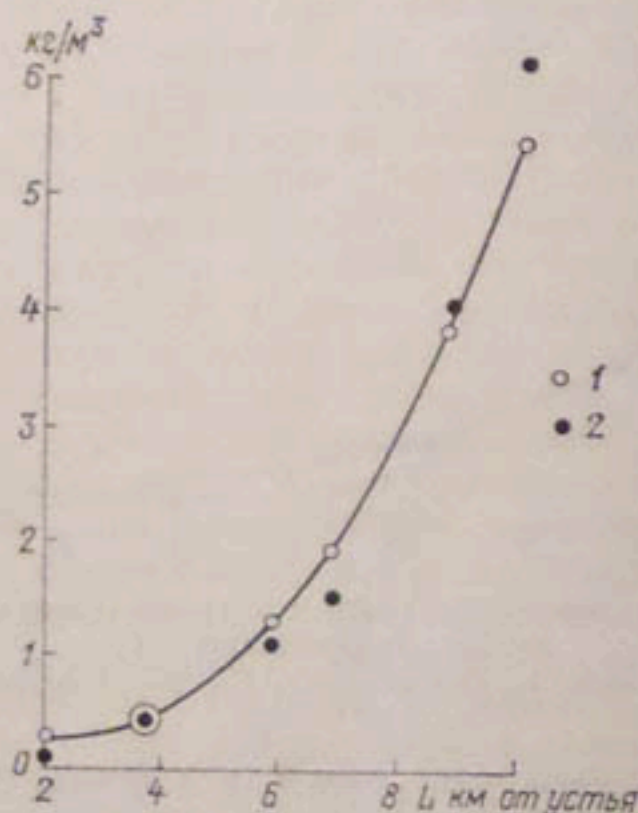


Рис. 9.8. Изменение мутности ($кг/м^3$) по длине реки (L) в оголившейся зоне Чимкурганского водохранилища по съемке 1981 г.

1 — измеренное, 2 — рассчитанное.

так и базирующимися на них расчетными методами измерения соотношение влекомых и взвешенных наносов явно занижено. При больших расходах воды слабосвязанные донные отложения, насыщенные водой, под действием касательного напряжения водного потока в свою очередь насыщенного наносами, приходят в движение, составляя значительную долю в суммарном стоке наносов.

Анализ седиментационных балансов (см. табл. 9.4) еще раз подтверждает значимость процессов заиления в формировании чаш среднеазиатских водохранилищ, расположенных в равнинной зоне, где, учитывая специфические особенности эксплуатации водохранилищ, наблюдается вторичный смыл наносов и их перераспределение в чаше водохранилищ.

Следует подчеркнуть, что баланс стока наносов не отражает истинные объемы заиления, что приводит к необходимости проведения повторных батиметрических съемок.

И следует отметить, что методы расчета заиления, рекомендованные в «Международном руководстве по методам расчета основных гидрологических характеристик» [85, 139], базируются на использовании многолетних, осредненных данных и позволяют производить оценку времени полного или частичного заиления. Расчет объема отложений по участкам приемлем лишь для водохранилищ с незначительной амплитудой колебания уровня воды. Эти методы не учитывают загрузку потока наносами в предустьевой зоне рек в условиях глубокой сработки водохранилищ и их транспорта на более низкие отметки. В то же время проведение батиметрических съемок раз в 8—10 лет не обеспечивает необходимой точности в оценке водных запасов водохранилищ и эффективность их эксплуатации. Особенно это заметно при прохождении серии маловодных или многоводных лет, когда происходят существенные изменения в переформировании чаш водохранилищ.

А. А. Либертом была разработана методика расчета заиления водохранилищ с учетом вторичного смыва наносов и перераспределением их в чаше водохранилищ в связи со значительным их опорожнением в период вегетационной сработки [79].

Этот метод позволяет осуществлять корректирование зависимостей объемов воды от ее уровня между батиметрическими съемками, и тем самым уточнить аккумулирующую составляющую водного баланса.

Для расчета вторичного смыва отложений предложены расчетные зависимости: мутности потока (г/м^3) в условиях опорожняющегося водохранилища (1) (рис. 9.8) и дальности осаждения основной массы наносов от устья (2), км:

$$S = K_m Q^{0.3} i^{1.38} / (n^{3.15} u_o^{0.75}), \quad (1)$$

$$X = K_{oc} [Q / (K_{ил} u_{10\%})]^{1/m}, \quad (2)$$

где Q — расходы воды, i — уклон; n — шероховатость дна; u_o — гидравлическая хрупкость отложений; $u_{10\%}$ — гидравлическая хрупкость взвешенных наносов, соответствующая диаметру частиц 10% обеспеченности; K_m — параметр, характеризующий гидравлические элементы входного створа; K_{oc} — параметр, характеризующий гидравлические элементы потока; $K_{ил}$ — параметр, характеризующий площадь живого сечения в расчетной точке от устья и зависит от наполнения водохранилища и равен

$$K_{ил} = f_0 / 0.2 l_0;$$

m — параметр, зависящий от формы водоема и изменяющийся в незначительных пределах при сработке водохранилищ, который может быть принят равным 1,3.

ГЛАВА 10. ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И КАЧЕСТВО ВОД ВОДОХРАНИЛИЩ

Химический состав и гидрохимический режим вод водохранилищ Средней Азии формируется под воздействием ряда физико-географических факторов, основными из которых являются: состав растворенных веществ, приносимых в водохранилища водами притоков, характер регулирования стока и интенсивность водообмена, морфология чаш водохранилищ, ледово-термический режим, интенсивность биологических процессов.

Рациональное, комплексное использование водных ресурсов в народном хозяйстве в условиях интенсивного антропогенного воздействия на них возможно лишь при оценке не только их количественных, но и качественных показателей, что особенно важно в условиях Средней Азии. В этой связи анализ метаморфизации речных вод в чашах водохранилищ и оценка их качества по химическому составу — задача весьма актуальная.

Стационарные наблюдения за химическим составом вод водохранилищ Средней Азии осуществляются Госкомгидрометом СССР, а также организациями ММ и ВХ СССР¹ и академий наук среднеазиатских республик [11, 14, 20, 33—35, 44, 68, 75, 81, 102, 111].

В главе обобщены фондовые гидрохимические материалы Госкомгидромета СССР, САНИИРИ и многолетних наблюдений, выполненных В. А. Николаенко на среднеазиатских водохранилищах [43, 98, 104—110].

Накопленные материалы наблюдений позволили осветить основные черты гидрохимического режима 12 водохранилищ, расположенных в различных природно-климатических зонах и отличающихся условиями перерегулирования стока, а также дать общую характеристику гидрохимического режима и качества вод водохранилищ Средней Азии.

Для характеристики химического состава и физических свойств воды были использованы результаты гидрохимических анализов главных ионов — Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , биогенных элементов — NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , P , Fe , Si , органического вещества — ПО , БО , БПК_5 , цветности, растворенного кислорода и рН [10, 11].

Всего в исследованиях были использованы данные более 8600 гидрохимических анализов воды водохранилищ, притоков и сбросов.

Полученные результаты химического анализа вод систематизировали, определяя вначале средневзвешенные по стоку или объему воды средние месячные значения минерализации и главных ионов в воде рек и водохранилищ, а затем рассчитывая средние многолетние значения этих компонентов.

При отсутствии данных в отдельные месяцы минерализация воды определялась по хронологическим графикам связи минерализации с расходами или объемами воды.

Средние многолетние и средние месячные значения биогенных элементов, органического вещества, растворенного кислорода и рН определялись как средние арифметические из числа имеющихся данных за период обобщения материалов.

Средние многолетние значения минерализации воды Σ и среднеазиатских водохранилищ варьируют в широких пределах (223,1—102,0 мг/дм³) (табл. 10.1). По общей минерализации водохранилища подразделяются на четыре группы: 1) предгорные с минерализацией до 300 мг/дм³ (Ахангаранское, Чарвакское, Ортотокайское), 2) равнинные с малым влиянием антропогенных факторов и минерализацией до 500 мг/дм³ (Туябугузское, Каттакурганское), 3) равнинные с повышенным влиянием антропогенных факторов и минерализацией более 500 мг/дм³, 4) аномальные, минерализация которых зависит от геологических и гидрологических особенностей водосборных бассейнов и чаш водохранилищ (Пачкамарское, Тудакульское).

В формировании химического состава воды предгорных водохранилищ превалирующую роль играют природные факторы, а равнинных — антропогенные, выражающиеся в сбросе в водохранилища высокоминерализованных коллекторно-дренажных вод и режиме регулирования стока. Средняя многолетняя минерализация воды этих водохранилищ оценивается в 600—1200 мг/дм³.

Во внутригодовом ходе минерализации воды наблюдается сезонная динамика, характеризующаяся пониженными ее значениями в период максимального наполнения водохранилищ и трансформацией основного объема половодья (июнь—июль) и повышенными значениями в период сработки водохранилищ и меженного периода на питающих водохранилища реках (сентябрь—январь) (рис. 10.1).

Как по акватории, так и по глубине в различные сезоны наблюдается неоднородность в распределении солевого состава воды.

В русловых удлинённых водохранилищах (Кайраккумском, Чардаринском, Южно-Сурханском, Чимкурганском) в весенне-летний паводок вода в верхней их зоне имеет меньшую минерализацию, а в осенне-зимнюю межень — большую, чем в нижней, приплотинной зоне. Это различие колеблется в среднем от 10 до 25 %.

В наливных водохранилищах (Куюмазарском, Каттакурганском, Учкызылском), имеющих сложную морфологию во все сезоны наблюдается более

¹ Ныне Минводстрой СССР.

Средний многолетний химический состав вод водохранилищ Средней Азии, мг/дм³

Водохранилище	Период, годы	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Сумма ионов	Индекс по О. А. Алекину	Индекс по В. М. Левченко
Чарвакское	1971—1980	40,4	8,6	5,5	138,2	22,6	7,8	223,1	C _{II} ^{Ca}	C—S
Ортокойское	1958—1961	51,9	9,6	13,8	158,8	43,2	15,5	291,8	C _{II} ^{Ca}	C—S
Туябугузское	1968—1980	48,8	11,2	20,5	134,4	74,6	15,3	304,8	C _{II} ^{Ca}	S
Каттакурганское	1970—1980	50,5	25,7	32,0	156,8	129,7	22,7	417,4	C _{II} ^{Ca, Mg}	C—S
Джизакское	1969—1970	32,1	32,8	74,0	219,7	149,8	19,0	527,4	C _{II} ^{Na, Mg}	S
Южно-Сурханское	1970—1980	73,2	25,7	52,8	151,9	217,1	30,5	551,2	S _{II} ^{Ca}	S
Чимкуртанское	1974—1980	68,5	39,0	45,8	173,7	210,8	43,4	581,2	S _{II} ^{Ca, Mg}	S
Пачкамарское	1969—1976	127,0	41,4	76,4	139,7	414,7	62,0	866,2	S _{II} ^{Ca}	S
Учкуйское	1972—1980	113,2	43,8	106,3	134,2	422,7	88,6	908,8	S _{II} ^{Ca}	S
Кайраккумское	1968—1980	112,2	64,5	125,0	162,3	492,8	105,7	1062,5	S _{II} ^{Ca, Mg, Na}	S
Тюямунское	1983	102,4	48,5	181,0	114,6	417,3	205,7	1069,5	S _{II} ^{Na}	S
Куюмазарское	1973—1980	108,2	54,1	180,0	143,4	491,0	158,9	1135,6	S _{II} ^{Na}	S
Чардаринское	1966—1976	129,2	82,8	126,8	181,6	524,6	157,0	1202,0	S _{II} ^{Mg, Ca}	S

Примечание. C — гидрокарбонатный класс, S — сульфатный класс, Ca, Mg, Na — группа, II — тип, C—S — гидрокарбонатно-сульфатный класс.

неоднородное распределение минерализации воды по акватории, так как процессы смешения водных масс в них в основном зависят от местоположения

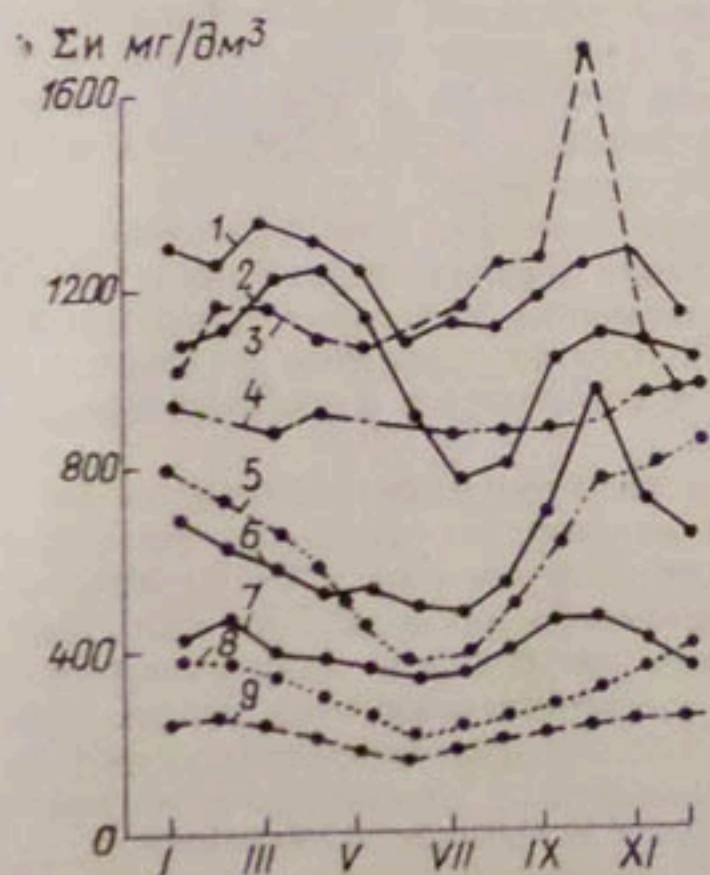


Рис. 10.1. Сезонная многолетняя динамика минерализации воды водохранилищ Средней Азии.

Водохранилища: 1 — Чардаринское, 2 — Кайраккумское, 3 — Куюмазарское, 4 — Учкуйское, 5 — Южно-Сурханское, 6 — Чимкуртанское, 7 — Каттакурганское, 8 — Туябугузское, 9 — Чарвакское.

подводящих каналов и водовыпусков. Изменение минерализации воды по глубине наиболее часто обнаруживается на глубоководных участках водохранилищ. При этом минерализация придонных слоев воды превышает поверхностную на 10—17 %.

Концентрация главных ионов так же, как и минерализация воды, подвержена влиянию природных и антропогенных факторов и зависит от зоны расположения водохранилищ. Содержание ионов Ca²⁺ в воде водохранилищ предгорно-горной зоны колеблется от 43 до 69 %¹, равнинной — от 31 до 46 %, гидрокарбонатных ионов — в пределах 44—77 и 11—34 % соответственно, ионов Mg²⁺ — 22—36 и 25—38 % соответственно, ионов Na⁺ + K⁺ — 7—22 и 22—44 % соответственно, сульфат-ионов — 16—46 и 52—66 % соответственно, Cl⁻ — 7—11 и 11—35 % соответственно.

По классификации О. А. Алекина [10], воды предгорно-горных водохранилищ, минерализация которых не превышает 550 мг/дм³, относятся к гидрокарбонатному классу, второму типу, группе кальция (лишь у Каттакурганского водохранилища группа воды кальциево-магниевая, а у Джизакского в первые годы становления была натриево-магниевая). Водохранилища равнинной зоны относятся к сульфатному классу, второму типу, но имеют различную группу: кальциевую, кальциево-магниевую, кальциево-магнево-натриевую, магнево-кальциевую и натриевую (табл. 10.1).

По классификации В. М. Левченко [75], воды исследуемых водохранилищ относятся к двум классам: гидрокарбонатно-сульфатному и сульфатному. Гипотетический солевой состав гидрокарбонатно-сульфатного класса вод представлен гидрокарбонатами кальция и магния, сульфатами магния и натрия и хлористым натрием, а сульфатного класса — сульфатами кальция, магния и натрия, гидрокарбонатами кальция и хлористым натрием.

¹ Здесь и далее под пропентами (%) подразумевается количество вещества эквивалентна в пропентах.

В. А. Николаенко разработано графическое изображение химического состава природных вод с учетом классификаций О. А. Алекина и В. М. Левченко [108]. По этому способу по средним многолетним данным построены графики химического состава воды среднеазиатских водохранилищ (рис. 10.2).

Вертикальная линия графика соответствует сумме катионов, которая соответственно равна сумме анионов (ммоль/дм³) в условном масштабе, слева фиксируется значение катионов, справа — анионов.

На боковых линиях, перпендикулярных вертикальной, откладываются значения главных ионов. Соединенные вершинами, эти линии образуют ионные треугольники, по размерам которых видны преобладающие ионы и легко определяется их количественное эквивалентное соотношение. Это позволяет по треугольникам быстро определять класс, группу и тип воды по классификации О. А. Алекина.

Откладывая горизонтальные ионные катеты в поля треугольников по абсциссе на расстояние, равное масштабному значению отдельных ионов, получаем равнобедренные треугольники, по которым определяется состав и количество гипотетических солей и соответственно класс воды по классификации В. М. Левченко. По этому способу по средним многолетним данным построены графики химического состава воды исследуемых водохранилищ (рис. 10.2).

Режим растворенного кислорода в воде водохранилищ определяется как гидрохимическим режимом притоков, так и химико-биологическими процессами, протекающими в самих водохранилищах, особенно в первые годы их эксплуатации.

Содержание растворенного кислорода в водохранилищах Средней Азии достаточно высокое во все периоды года. При этом наблюдается общая закономерность в его внутригодовом распределении. Минимальное количество растворенного кислорода приходится на летний период, когда повышается температура воды и увеличивается расход кислорода на окислительные процессы. В этот период средняя месячная концентрация растворенного кислорода находится в пределах 7—10 мг/дм³.

В глубоководных застойных зонах концентрация растворенного кислорода может понижаться до 2,20—2,57 мг/дм³ (25,5—26 % насыщения).

Максимальное количество растворенного кислорода обнаруживается зимой. Этому способствует, во-первых, низкая температура воды, при которой увеличивается абсорбция кислорода из атмосферы и отмечается неполное замерзание акватории водохранилищ, а, во-вторых, малое содержание в воде водохранилищ органического вещества. В зимний период концентрация растворенного кислорода превышает 10 и достигает 13 мг (80—100 % насыщения).

Все водохранилища имеют слабощелочную реакцию. Среднее месячное значение рН колеблется от 7,53 до 8,25.

На динамику биогенных элементов в воде водохранилищ большое влияние оказывают внутриводные процессы, которые в них протекают более интенсивно, чем в притоках. В летние месяцы, когда значительное количество биогенных элементов потребляется фитопланктоном, наблюдается уменьшение их концентрации, кроме фосфатов, концентрация которых возрастает. В зимний и

предаводочный период содержание большинства элементов (биогенных) максимально.

Из различных форм азота в воде водохранилищ доминирует азот нитратов, средняя месячная многолетняя концентрация которого колеблется от 0,74 до 4,73 мг/дм³. Средняя месячная концентрация азота аммония и нитритов значительно меньше — 0,030—0,556 и 0,005—0,147 мг/дм³ соответственно. Предельная средняя месячная концентрация других биогенных элементов в воде водохранилищ следующая: Р_{общ} — 0,007—0,130 мг/дм³, Si — 2,4—10 мг/дм³, Fe_{общ} — 0,005—0,230 мг/дм³.

В содержании биогенных элементов наблюдается вертикальная стратификация. Более высокая их концентрация прослеживается в придонных слоях воды, где накапливаются продукты минерализации органического вещества.

Воды водохранилищ слабоокрашенные с малым содержанием гуминовых веществ. Соответственно и цветность воды низкая, ее средние месячные значения составляют 1,0—3,5°.

Формирование органического вещества в водохранилищах обусловлено притоком их приточной водой, органическим веществом донных отложений, а также протекающими процессами.

Под влиянием притоков концентрация органического вещества в воде водохранилищ в весенний период увеличивается по сравнению с зимним. При этом наблюдается прямо пропорциональная связь между притоком воды и содержанием органического вещества.

В летний период количество органического вещества еще более возрастает, а к осени вновь снижается.

Средние месячные значения концентрации органического вещества в воде водохранилищ изменяются в следующих пределах: ПО и БО — соответственно 0,63—5,26 и 1,74—8,73 мг/дм³ атомарного кислорода, БПК₅ — 0,56—3,81 мг/дм³ молекулярного кислорода.

Следует отметить, что в первые два-три года эксплуатации водохранилищ концентрация биогенных элементов и органического вещества в 2—4 раза больше по сравнению со средним аллохтонным их содержанием в начальный период эксплуатации.

Часть аналитического материала по минерализации и ионному составу воды была подвергнута математической обработке по программе парного корреляционного анализа. При этом были получены данные по средним квадратическим отклонениям и коэффициентам корреляции. Для количественного выражения статистической связи между минерализацией и содержанием отдельных ионов использовалось уравнение регрессии.

Ниже приводится описание гидрохимического режима наиболее изученных водохранилищ.

Южно-Сурханское водохранилище. Гидрохимический режим руслового долинного Южно-Сурханского водохранилища тесно связан с гидрологическим и гидрохимическим режимом р. Сурхандарьи и режимом эксплуатации его водных запасов.

Средняя многолетняя минерализация воды р. Сурхандарьи равна 452,0 мг/дм³, понижаясь в летний период при половодье и повышаясь в межень осенне-зимний, а средняя месячная многолетняя сумма ионов в воде реки изменяется от

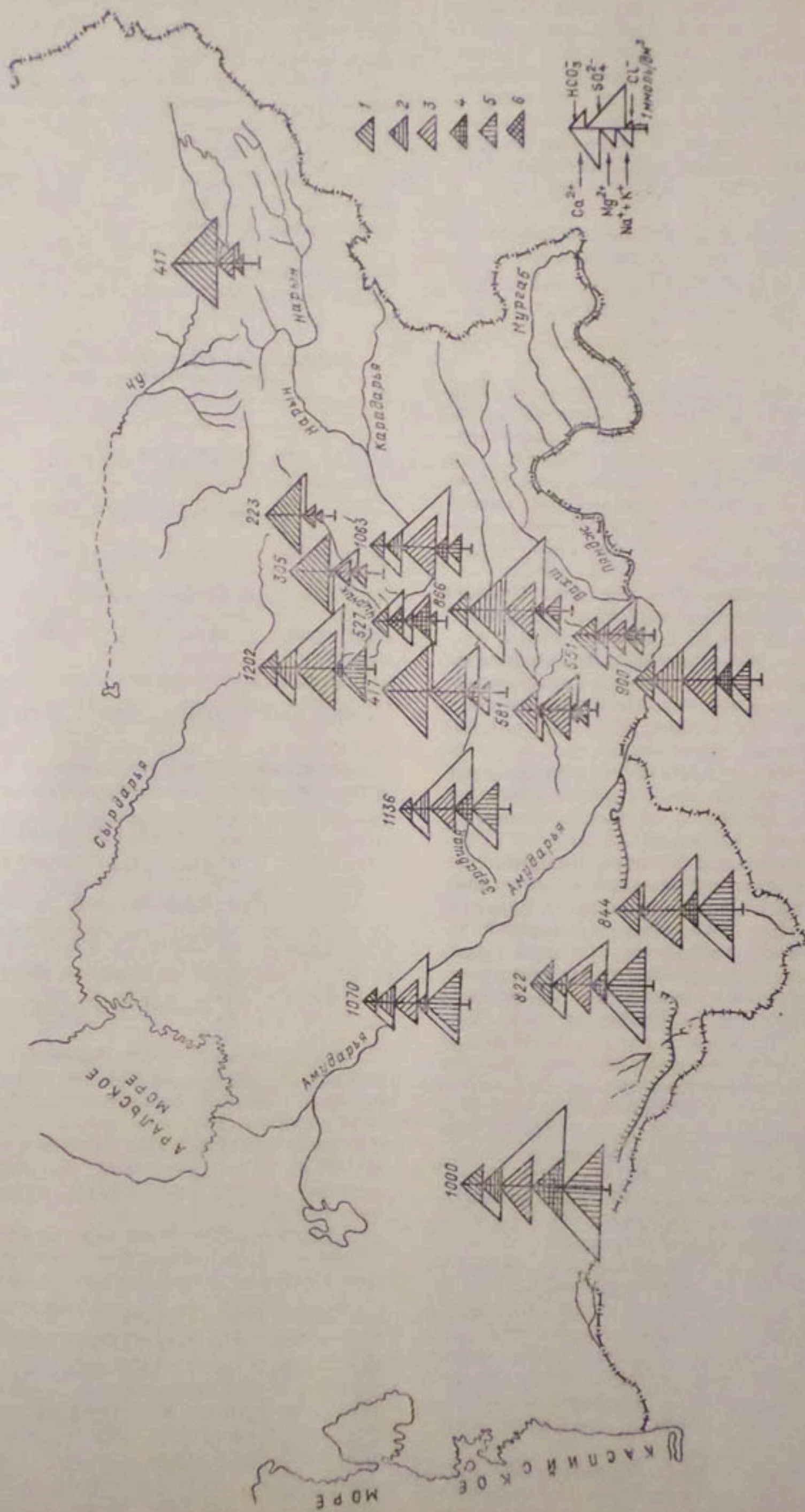


Рис. 10.2. Гидрохимическая схема водохранилищ Средней Азии.
1 — Ca (HCO₃)₂, 2 — CaSO₄, 3 — NaSO₄, 4 — Na₂SO₄, 5 — NaCl, 6 — Mg (HCO₃)₂.

314,0 (июнь) до 84,6 мг/дм³ (октябрь). Следует отметить, что на гидрохимический режим реки водохранилища оказывает влияние сток коллекторно-дренажных вод, средняя годовая минерализация которых изменяется от 0,71 до 1,62 г/дм³.

Из главных ионов в воде р. Сурхандарьи преобладают ионы сульфатов и гидрокарбонатов, средняя многолетняя концентрация которых соответственно равна 166,7 мг/дм³ (54,1 %) и 64,4 мг/дм³ (50,1 %).

Средняя месячная многолетняя концентрация главных ионов изменяется в следующих пределах: Ca²⁺ — 44,9—110,2 мг/дм³, Mg²⁺ — 13,1—46,7 мг/дм³, Na⁺ + K⁺ — 27,8—89,5 мг/дм³, HCO₃⁻ — 190,2 мг/дм³, SO₄²⁻ — 104,6—390,4 мг/дм³, Cl⁻ — 18,6—47,9 мг/дм³.

Вода р. Сурхандарьи достаточно хорошо насыщена растворенным кислородом, средняя многолетняя концентрация которого составляет 9,21 мг/дм³ молекулярного кислорода (91,1 % насыщения). В летний период количество растворенного кислорода на 2—4 мг/дм³ меньше, чем в осенне-зимний. Его средняя месячная многолетняя концентрация колеблется от 7,92 до 11,57 мг/дм³ (75,1—102,1 % насыщения).

Вода имеет слабощелочную реакцию. Среднее многолетнее значение pH равно 8,10, а среднее месячное изменяется от 7,90 до 8,22.

Из соединений азота наибольшее количество приходится на нитраты, наименьшее — на нитриты. Их средняя многолетняя концентрация соответственно равна 2,96 и 0,045 мг/дм³, а средняя месячная многолетняя изменяется от 1,17 до 4,40 мг/дм³ и от 0,20 до 0,070 мг/дм³ соответственно. Средняя многолетняя концентрация азота аммония равна 0,260 мг/дм³, а среднее месячное изменяется от 0,094 до 0,523 мг/дм³.

Четкой закономерности во внутригодовом распределении азота аммония и нитратов не наблюдается. В то же время содержание азота нитратов подвержено сезонным колебаниям. В летний период его количество уменьшается, а в осенне-зимний — повышается. Среднее многолетнее содержание других биогенных элементов следующее: P_{общ} — 0,061 мг/дм³ (0,034—0,088 мг/дм³), Si — 8,96 мг/дм³ (7,3—10,5 мг/дм³), Fe_{общ} — 0,040 мг/дм³ (0,024—0,047 мг/дм³). Количество органического вещества в реке незначительно при средней многолетней концентрации ПО, равной 1,16 мг/дм³ атомарного кислорода (0,67—1,74 мг/дм³ атомарного кислорода), БО — 2,54 мг/дм³ атомарного кислорода (2,06—2,96 мг O₂/дм³), БПК₅ — 1,95 мг/дм³ молекулярного кислорода (1,56—2,13 мг/дм³). Цветность речной воды изменяется от 1—1,5 до 2,0° по платиново-кобальтовой шкале.

Средняя многолетняя минерализация воды в водохранилище почти на 100 мг/дм³ выше, чем в р. Сурхандарье, и составляет 551,2 мг/дм³, изменяясь от 376,3 (июнь) до 852,0 мг/дм³ (декабрь). В вегетационный период минерализация воды значительно меньше (465,0 мг/дм³), чем в невегетационный (765,2 мг/дм³), а разность минерализации воды в поверхностном и придонном слое достигает 60 мг/дм³.

Из главных ионов в воде водохранилища преобладают ионы сульфатов и кальция. Средняя многолетняя концентрация главных ионов составляет:

Ca²⁺ 73,2 мг/дм³ (46,4 %), Mg²⁺ 29,7 мг/дм³ (26,8 %), Na⁺ + K⁺ — 52,8 мг/дм³ (26,8 %), HCO₃⁻ — 151,9 мг/дм³ (31,6 %), SO₄²⁻ — 217,1 мг/дм³ (57,4 %), Cl⁻ — 30,5 мг/дм³ (11,0 %). А средняя месячная концентрация главных ионов изменяется в следующих пределах: Ca²⁺ — 56,1—104,8 мг/дм³, Mg²⁺ — 16,1—42,7 мг/дм³, Na⁺ + K⁺ — 29,3—91,3 мг/дм³, HCO₃⁻ — 111,7—202,6 мг/дм³, SO₄²⁻ — 134,5—367,0 мг/дм³, Cl⁻ — 19,2—51,1 мг/дм³ с максимумом в осенне-зимний.

Между минерализацией воды водохранилища и концентрацией главных ионов наблюдается достаточно тесная связь (табл. 10.2).

Таблица 10.2

Статистические характеристики ионного состава воды Южно-Сурханского водохранилища

Σ и	Ион					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Среднее многолетнее значение, мг/дм ³						
664,0	87,0	41,0	63,4	167,5	272,9	38,3
Среднее квадратическое отклонение						
223,0	28,1	24,8	30,0	41,1	116,9	18,1
Коэффициент корреляции зависимости Σи = f(ион)						
1,000	0,815	0,520	0,893	0,650	0,974	0,874

Зависимости минерализации воды от концентрации отдельных ионов выражаются уравнениями:

$$\begin{aligned}\Sigma и &= 6,47 \text{Ca}^{2+} + 101,1, \\ \Sigma и &= 4,68 \text{Mg}^{2+} + 472,1, \\ \Sigma и &= 6,64 \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} + 243,0, \\ \Sigma и &= 3,53 \text{HCO}_3^{-} + 72,7, \\ \Sigma и &= 1,86 \text{SO}_4^{2-} + 156,4, \\ \Sigma и &= 10,77 \text{Cl}^{-} + 251,5.\end{aligned}$$

Минерализация воды нижнего бьефа водохранилища неамного превышает минерализацию воды последнего и оценивается 570,3 мг/дм³. При этом средняя месячная многолетняя минерализация воды нижнего бьефа колеблется от 359 (июнь) до 877,7 мг/дм³ (декабрь), а средняя за вегетационный период равна 494,2 мг/дм³, за вегетационный — 787,3 мг/дм³.

Преобладающими ионами также являются ионы сульфатов и кальция. Средняя многолетняя концентрация главных ионов составляет: Ca²⁺ — 72,6 мг/дм³ (44,4 %), Mg²⁺ — 27,2 мг/дм³ (25,5 %), Na⁺ + K⁺ — 57,4 мг/дм³ (28,1 %), HCO₃⁻ — 153,3 мг/л (30,8 %), SO₄²⁻ — 226,4 мг/л (57,7 %), Cl⁻ — 33,4 мг/дм³ (11,5 %), а средняя месячная многолетняя концентрация изменяется в следующих пределах: Ca²⁺ — 48,1—106,7 мг/дм³, Mg²⁺ — 18,4—45,8 мг/дм³, Na⁺ + K⁺ — 30,8—93,0 мг/дм³, HCO₃⁻ — 106,7—204,4 мг/дм³, SO₄²⁻ — 132,3—378,2 мг/дм³, Cl⁻ — 21,6—53,4 мг/дм³ (рис. 10.3).

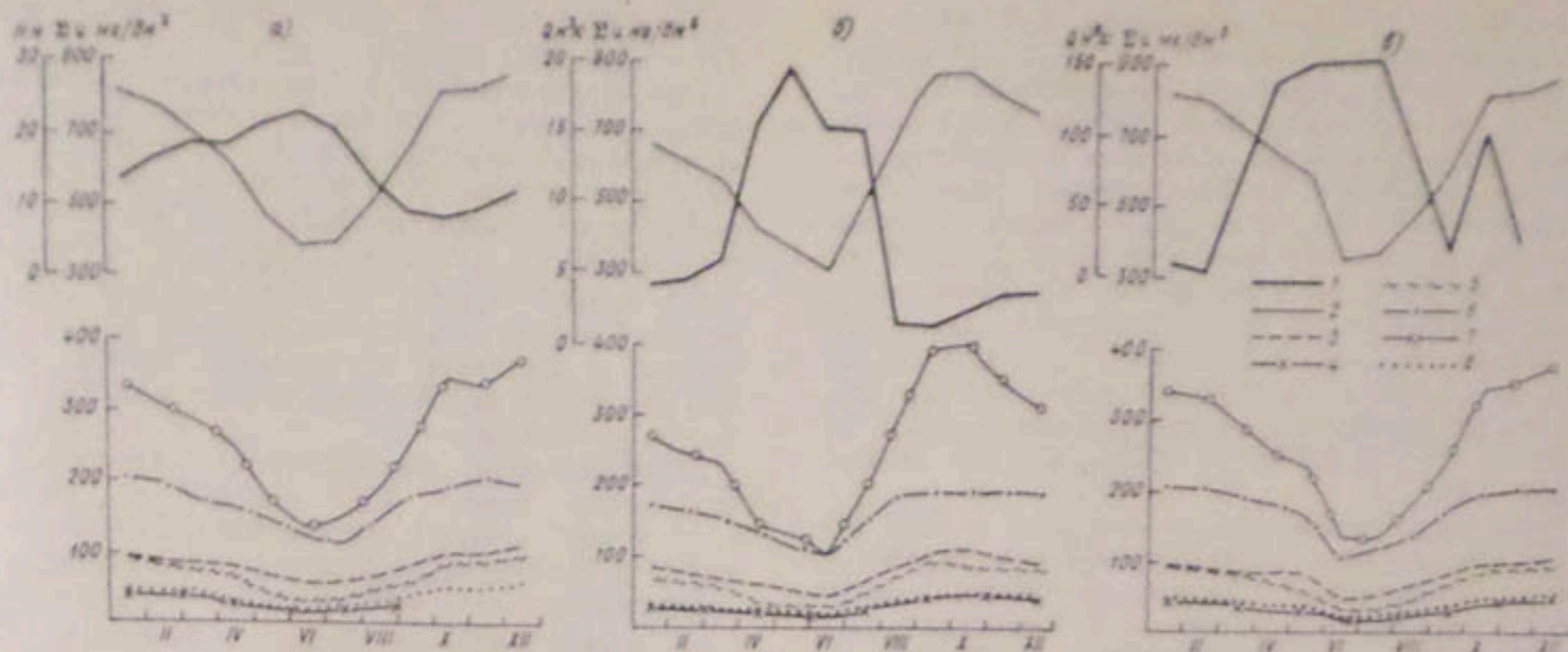


Рис. 10.3. Среднемесячное содержание ионов и минерализация воды Южно-Сурханского водохранилища (а), р. Сурхандарья у г. Шурчи (б), нижнего бьефа водохранилища (в).

1 — уровень воды водохранилища и расход притока — оттока, 2 — Σ , 3 — Ca^{2+} , 4 — Mg^{2+} , 5 — $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 6 — HCO_3^- , 7 — SO_4^{2-} , 8 — Cl^- .

Содержание растворенного кислорода колеблется в широких пределах, особенно в начальный период эксплуатации водохранилища. В зимне-весенний период концентрация растворенного кислорода изменялась от 4,98 до 13,03 мг/дм³ в поверхностных слоях и от 4,11 до 13,00 мг/дм³ в придонных. Особенно разнообразен кислородный режим в летний период, когда активизируются биологические и биохимические процессы. В это время на глубоководных участках обнаруживается наибольшая кислородная стратификация. Так, у плотины разность между концентрациями растворенного кислорода в поверхностных и придонных слоях воды (17 м) достигала 7,22 мг/дм³, у поверхности — 120 % насыщения (9,42 мг/дм³, у дна — 26 % (2,20 мг/дм³). В остальные сезоны года содержание растворенного кислорода изменяется достаточно плавно: от поверхности до глубины 3,0 м уменьшается не более, чем на 0,5 мг/дм³, с 3,0 до 6,0 м — на 1,0, с 6,0 до 10,0 м — на 1,5 и с 10,0 до 20,0 м — на 2,5 мг/дм³.

Средняя многолетняя концентрация растворенного кислорода в воде водохранилища составляет 9,30 мг/дм³ (94,9 % насыщения), а средняя месячная изменяется от 7,60 до 10,80 мг/дм³ (81,7—101,2 % насыщения). При этом в летний период содержание растворенного кислорода на 2—3 мг/дм³ меньше, чем в осенне-зимний (табл. 10.3). Растворенный кислород в воде нижнего бьефа водохранилища имеет аналогичное распределение, а его средняя многолетняя концентрация равна 9,14 мг/дм³ (93,9 % насыщения) при средних месячных значениях 7,42—10,62 мг/дм³ (83,4—100,3 % насыщения).

Вода нижнего бьефа, так же как и вода водохранилища, имеет слабощелочную реакцию, а значение pH изменяется от 7,76 до 8,26.

Содержание биогенных элементов и органического вещества в воде водохранилища зависит в основном от их количества, вносимого р. Сурхандарьей. Из соединений азота в воде водохранилища преобладают нитраты, средняя многолетняя

Таблица 10.3

Средние многолетние значения биогенных элементов, показателей органического вещества, растворенного кислорода, pH и цветности воды Южно-Сурханского водохранилища

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
NH_4 , мг/дм³	0,056	0,087	0,144	0,048	0,358	0,070	0,103	0,122	0,094	0,180	0,076	0,007	0,112
NO_2 , мг/дм³	0,028	0,034	0,040	0,020	0,026	0,046	0,026	0,034	0,027	0,039	0,021	0,005	0,029
NO_3 , мг/дм³	2,37	2,71	2,75	2,46	2,42	1,34	2,01	1,84	2,63	3,04	3,12	3,00	2,47
$\text{P}_{\text{орг}}$, мг/дм³	0,036	0,042	0,039	0,091	0,058	0,040	0,091	0,085	0,097	0,075	0,066	0,047	0,063
Si, мг/дм³	7,4	6,8	5,4	5,6	6,2	4,4	4,9	8,1	7,7	7,3	8,3	8,7	6,73
Fe, мг/дм³	0,041	0,037	0,034	0,036	0,032	0,038	0,032	0,034	0,042	0,041	0,051	0,048	0,040
ПО, мг/дм³ атомарного кислорода	0,93	0,86	0,97	1,34	1,52	1,47	1,54	1,05	1,08	0,88	0,76	1,26	1,13
БО, мг/дм³ атомарного кислорода	2,51	2,32	2,44	2,81	2,87	2,91	2,83	2,85	2,64	1,97	1,81	2,04	2,50
БПК ₅ , мг/дм³ молекулярного кислорода	1,17	1,36	1,25	1,86	1,96	1,71	1,38	1,53	1,39	1,78	1,34	2,01	1,56
Цветность, °	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,1
O_2 , мг/дм³	10,75	10,67	10,73	10,11	9,00	8,14	7,91	7,60	7,74	8,46	9,73	10,80	9,30
O_2 , %	81,7	91,4	93,4	101,2	99,5	96,2	98,1	98,3	91,5	95,6	97,4	94,3	94,9
pH	8,27	8,21	8,26	8,23	8,03	8,06	7,98	8,11	8,07	8,13	8,23	7,76	8,11

концентрация которых составляет 2,47 мг/дм³, а средняя месячная колеблется от 1,34 до 3,12 мг/дм³. В летний период содержание азота нитратов уменьшается, а в осенне-зимний период повышается (табл. 10.3). Содержание аммония и нитритов значительно меньше, и их концентрация равна соответственно 0,112 и 0,029 мг/дм³, а средние месячные значения изменяются соответственно от 0,007 до 0,358 и от 0,005 до 0,046 мг/дм³. Средняя многолетняя концентрация других биогенных элементов составляет: $P_{\text{общ}}$ — 0,063 мг/дм³, Si — 6,73 мг/дм³ и $Fe_{\text{общ}}$ — 0,040 мг/дм³ при средних месячных значениях, изменяющихся соответственно от 0,036 до 0,097, от 4,4 до 8,7 и от 0,032 до 0,048 мг/дм³ (табл. 10.3).

Количество органического вещества в воде водохранилища почти идентично его содержанию в воде р. Сурхандарьи. Среднее многолетнее содержание показателей органического вещества — ПО и БО — составляет соответственно 1,13 и 2,50 мг/дм³ атомарного кислорода, а средняя месячная многолетняя концентрация изменяется соответственно от 0,76 до 1,56 и от 1,81 до 2,91 мг/дм³ атомарного кислорода. В летний период содержание ПО и БО в воде водохранилища повышается, а в осенне-зимний уменьшается. Средняя многолетняя концентрация БПК₅ равна 1,56 мг/дм³ молекулярного кислорода с колебаниями в течение года от 1,25 до 2,01 мг/дм³ молекулярного кислорода. Цветность воды в водохранилище низкая и изменяется от 2,0 до 2,5° по платиново-кобальтовой шкале.

В воде бьефа водохранилища концентрация биогенных элементов и органического вещества находится в прямой зависимости от их содержания в водохранилище. Среднее многолетнее содержание соединений азота составляет: NO_3^- — 2,25 мг/дм³, NH_4^+ — 0,109, NO_2^- — 0,032 мг/дм³. Их средняя месячная концентрация изменяется соответственно в следующих пределах: 1,04—3,07, 0,063—0,252, 0,08—0,052 мг/дм³.

Содержание органического вещества в воде нижнего бьефа водохранилища незначительно выше, чем в воде водохранилища. Средние многолетние значения ПО и БО равны соответственно 1,30 и 2,62 мг/дм³ атомарного кислорода, а средние месячные изменяются соответственно от 0,74 до 1,74 мг/дм³ и от 1,73 до 2,90 мг/дм³ атомарного кислорода. Многолетнее содержание БПК₅ такое же, как и в водохранилище — 1,56 мгО₂/дм³.

Учкузылское водохранилище. Гидрохимический режим наливного котловинного Учкузылского водохранилища формируется под воздействием притока воды по каналу Занг и внутригодовым изменением объема в результате перерегулирования стока. Средняя многолетняя минерализация воды канала Занг составляет 820 мг/дм³ и колеблется в пределах 700—1000 мг/дм³. В период основного наполнения водохранилища минерализация воды канала на 130—150 мг/дм³ меньше, чем в период минимальных расходов воды, приходящихся на не-вегетационный период.

Средняя месячная многолетняя концентрация главных ионов в воде канала находится в следующих пределах: Ca^{2+} — 90,4—122,6 мг/дм³, Mg^{2+} — 31,6—49,1 мг/дм³, $Na^+ + K^+$ — 81,5—120,3 мг/дм³, HCO_3^- —

124,5—156,3 мг/дм³, SO_4^{2-} — 307,3—464,1 мг/дм³, Cl^- — 68,4—98,1 мг/дм³.

Из главных ионов в воде канала преобладают ионы сульфатов и кальция, средняя многолетняя концентрация которых составляет соответственно 362,7 мг/дм³ (62,4 %) и 99,0 мг/дм³ (40,8 %). Количество других ионов следующее: Mg^{2+} — 37,9 мг/дм³ (25,8 %), $Na^+ + K^+$ — 101,0 мг/дм³ (33,4 %), HCO_3^- — 136,2 мг/дм³ (18,4 %), Cl^- — 82,3 мг/дм³ (19,2 %). Поздней весной содержание главных ионов уменьшается и достигает минимума в летний период, осенью происходит его повышение, а зимой наблюдается максимум.

Концентрация растворенного кислорода не опускается ниже 5,7 мг/дм³ и достигает 12,02 мг/дм³ (101,8 % насыщения). Биогенные элементы и органическое вещество изменяется в следующих пределах: концентрация NH_4^+ — от 0 до 0,103 мг/дм³, NO_2^- — от 0 до 0,086 мг/дм³, NO_3^- — от 0,52 до 2,74 мг/дм³, $P_{\text{общ}}$ — от 0,005 до 0,057 мг/дм³, $Fe_{\text{общ}}$ — от 0,003 до 0,061 мг/дм³, Si — от 3,2 до 8,7 мг/дм³, ПО — от 1,02 до 4,01, БО — от 2,36 до 5,12 мг/дм³ атомарного кислорода.

Средняя многолетняя минерализация воды водохранилища почти на 90 мг/дм³ выше, чем в канале, и составляет 909 мг/дм³, а средняя месячная

Таблица 10.4

Статистические характеристики ионного состава воды
Учкузылского водохранилища

Σ	Ион					
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
Среднее многолетнее значение, мг/дм ³						
914,9	113,8	43,3	108,5	132,2	429,0	88,1
Среднее квадратическое отклонение						
99,4	14,8	5,8	23,0	23,7	65,4	14,1
Коэффициент корреляции зависимости $\Sigma_i = f(\text{ион})$						
1,000	0,727	0,782	0,835	0,754	0,929	0,690

многолетняя изменяется от 866 (июнь) до 966 мг/дм³ (декабрь).

Из главных ионов преобладают ионы сульфатов и кальция. Их средняя многолетняя концентрация составляет соответственно 422,7 мг/дм³ (65,2 %) и 113,2 мг/дм³ (41,9 %). Количество других главных ионов распределяется следующим образом: Mg^{2+} — 43,8 мг/дм³ (26,7 %), $Na^+ + K^+$ — 106,3 мг/дм³ (31,4 %), HCO_3^- — 134,2 мг/дм³ (16,2 %), Cl^- — 88,6 мг/дм³ (18,6 %). Так же как и минерализация воды, содержание главных ионов в воде водохранилища уменьшается в летний период и повышается в осенне-зимний.

Средняя месячная многолетняя минерализация воды в водохранилище находится в следующих пределах: Ca^{2+} — 105,8—121,2 мг/дм³, Mg^{2+} — 41,1—48,4 мг/дм³, $Na^+ + K^+$ — 100,3—112,8 мг/дм³, HCO_3^- — 102,5—147,7 мг/дм³, SO_4^{2-} — 401,1—453,0 мг/дм³, Cl^- — 81,9—99,1 мг/дм³ (рис. 10.4).

Между минерализацией воды водохранилища и концентрацией главных ионов наблюдается достаточно тесная связь (табл. 10.4).

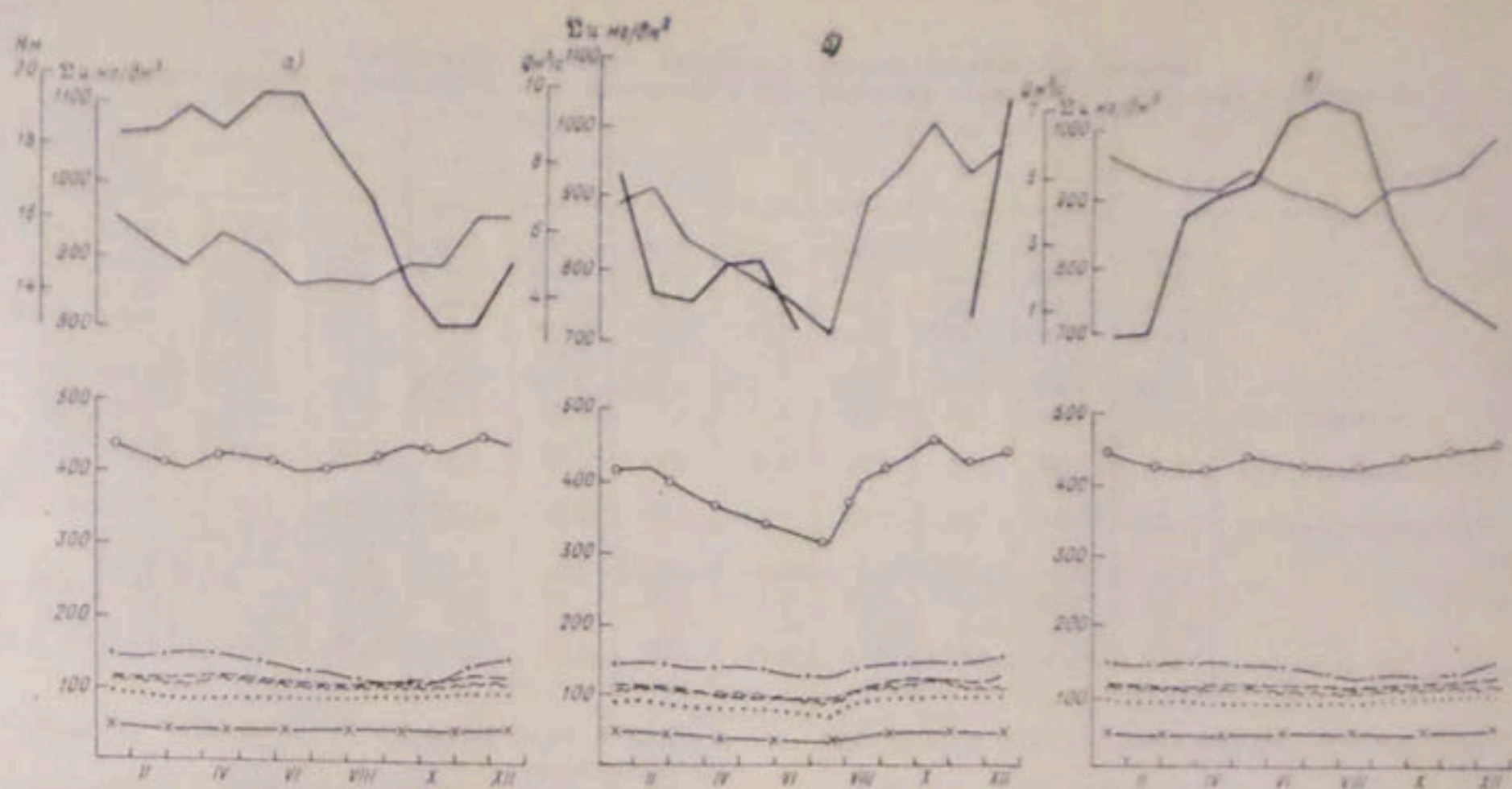


Рис. 10.4. Средневзвешенное содержание ионов и минерализация воды Учкызылского водохранилища (а), канала Занг (б) и нижнего бьефа водохранилища (в).
Усл. обозначения см. на рис. 10.3.

Зависимость минерализации воды от концентрации отдельных ионов выражается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}\Sigma и &= 4,88\text{Ca}^{2+} + 359,6, \\ \Sigma и &= 13,15\text{Mg}^{2+} + 336,8, \\ \Sigma и &= 3,61\text{Na}^+ + \text{K}^+ + 523,2, \\ \Sigma и &= 3,16\text{HCO}_3^- + 497,1, \\ \Sigma и &= 1,41\text{SO}_4^{2-} + 310,0, \\ \Sigma и &= 6,27\text{Cl}^- + 362,5.\end{aligned}$$

Минерализация воды в отводящем канале близка к минерализации водохранилища, а ее среднее многолетнее значение равно 918,4 мг/дм³ при средних месячных многолетних значениях 881,0 (август) — 980,0 мг/дм³ (декабрь).

Из главных ионов преобладают ионы сульфатов кальция, их средняя месячная концентрация составляет соответственно 424,3 мг/дм³ (65,0 %) и 114,4 мг/дм³ (42,0 %). Содержание других ионов следующее: Mg^{2+} — 45,2 мг/дм³ (27,4 %), $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ — 104,0 мг/дм³ (30,6 %), HCO_3^- — 135,1 мг/дм³ (16,3 %), Cl^- — 90,4 мг/дм³ (18,7 %). Минимальное содержание главных ионов обнаруживается в летний период, а максимальное — в зимний. Средняя месячная многолетняя концентрация главных ионов в воде отводящего канала колеблется в тех же пределах, что и в воде водохранилища.

Содержание растворенного кислорода в воде водохранилища изменяется в широких пределах, и его средняя месячная многолетняя концентрация составляет 7,9—12,60 мг/дм³ (78,7—106,1 % насыщения).

Обычно в летний период содержание растворенного кислорода на 2—4 мг/дм³ меньше, чем в осенне-зимний. В летний период в глубокой зоне водохранилища ($h = 30$ м), где формируется застой-

ная водная масса, содержание кислорода может опускаться до 2,57 мг/дм³ (25,5 % насыщения).

Вода водохранилища имеет слабощелочную реакцию. Среднее многолетнее значение pH составляет 8,04, а среднее месячное многолетнее — 7,60—8,22. Содержание растворенного кислорода в воде нижнего бьефа водохранилища достаточно высокое и практически близко к средней концентрации в воде водохранилища. Режим биогенных элементов и органического вещества в воде Учкызылского водохранилища, как и минерализация, зависит от их поступления по каналу Занг.

Средняя многолетняя концентрация NO_3^- составляет 2,12 мг/дм³, NO_2^- — 0,029 мг/дм³, NH_4^+ — 0,092 мг/дм³. В весенне-летний период содержание NO_3^- уменьшается, а в осенне-зимний повышается. Динамика содержания азота аммония и азота нитритов не имеет четких закономерностей. Средняя месячная многолетняя концентрация различных форм азота колеблется в следующих пределах: NO_3^- — 1,63—2,55 мг/дм³, NO_2^- — 0,001—0,062 мг/дм³, NH_4^+ — 0,053—0,240 мг/дм³ (табл. 10.5).

Среднее многолетнее содержание других биогенных элементов в воде водохранилища составляет: $\text{P}_{\text{общ}}$ — 0,038 мг/дм³ (0,07—0,102 мг/дм³), Si — 7,1 мг/дм³ (0,005—0,058 мг/дм³) (табл. 10.5). Средняя многолетняя концентрация ПО равна 1,02 мг/л атомарного кислорода, БО — 3,11 мг/дм³ атомарного кислорода, БПК₅ — 1,03 мг/дм³ молекулярного кислорода. Их средняя месячная концентрация колеблется соответственно от 0,62 до 1,86, от 2,05 до 3,41 мг/дм³ атомарного кислорода и от 0,67 до 1,45 мг/дм³ молекулярного кислорода. Все показатели органического вещества имеют повышенные концентрации в летний период и пониженные в осенне-зимний.

Низка в водохранилище цветность воды. Среднее многолетнее ее значение составляет 2,2° (1,5—2,5°) по платиново-кобальтовой шкале, что говорит

Средние многолетние значения биогенных элементов, показателей органического вещества, растворимого кислорода, pH и цветности воды Учкызылского водохранилища

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
NH ₄ мг/дм ³	0,080	0,110	0,113	0,058	0,060	0,089	0,079	0,053	0,063	0,240	0,076	0,093	0,092
NO ₂ мг/дм ³	0,041	0,001	0,062	0,026	0,011	0,040	0,028	0,063	0,037	0,107	0,010	0,017	0,028
NO ₃ мг/дм ³	2,55	2,39	1,87	1,95	2,03	1,87	2,09	2,07	1,63	2,26	2,28	2,46	2,12
P _{общ} мг/дм ³	0,008	0,007	0,032	0,014	0,022	0,049	0,090	0,102	0,041	0,046	0,019	0,023	0,038
Si мг/дм ³	9,5	8,7	5,0	5,7	4,1	4,8	6,6	7,1	8,3	9,1	8,1	8,4	7,1
Fe мг/дм ³	0,005	0,028	0,042	0,037	0,032	0,034	0,030	0,024	0,031	0,053	0,046	0,058	0,046
ПО, мг/дм ³ атомарного кислорода	0,62	0,84	1,05	0,96	1,08	1,43	1,86	0,87	0,78	1,06	0,94	0,81	1,02
БО, мг/дм ³ атомарного кислорода	2,05	2,26	2,91	2,94	3,17	4,31	4,17	3,65	2,78	3,34	3,06	2,73	3,11
БПК ₅ мг/дм ³ молекулярного кислорода	0,67	0,83	1,34	1,17	1,03	1,45	0,79	1,32	1,30	1,15	0,72	0,67	1,03
Цветность, ...	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,5	2,0	1,5	2,2
O ₂ мг/дм ³	11,24	12,60	10,97	9,42	8,11	8,28	7,90	8,43	8,67	8,98	8,50	9,36	9,37
O ₂ %	96,4	101,3	93,6	92,3	91,4	97,1	97,7	106,1	103,4	101,2	78,7	84,5	95,3
pH	8,15	7,60	8,07	8,15	8,03	7,98	8,22	8,12	8,00	8,08	7,90	8,15	8,04

о ничтожно малом содержании в воде гуминовых веществ.

Средняя многолетняя концентрация биогенных элементов и органического вещества в нижнем бьефе практически не отличается от их содержания в водохранилище и составляет $\pm 10\%$.

Чимкуртанское водохранилище. Гидрохимический режим долинного руслового Чимкуртанского водохранилища формируется под воздействием основного притока — р. Кашкадарья, а также минерализованными грунтовыми и коллекторно-дренажными водами. Средние месячные значения минерализации р. Кашкадарья в створе п. Чиракчи изменяются от 362 до 468 мг/дм³ при средних годовых значениях 396—415 мг/дм³. Наименьшие значения минерализации приходятся на период прохождения основного объема половодья (март — май), когда в водохранилище поступает более 70 % годового объема притока воды. Наибольшие значения минерализации приходятся на летне-осенний период, когда из составляющих р. Кашкадарья рек Акдарья, Танхаздарья, Яккабагдарья и Джиньдарья забирается на орошение до 80 % стока [110].

В воде р. Кашкадарья преобладают ионы гидрокарбоната и кальция, а средняя многолетняя концентрация главных ионов составляет:

Ca²⁺ — 57,5 мг/дм³ (52,1 %), Mg²⁺ — 20,1 мг/дм³ (30,5 %), Na⁺ + K⁺ — 23,5 мг/дм³ (17,4 %), HCO₃⁻ — 198,8 мг/дм³ (60,3 %), SO₄²⁻ — 81,2 мг/дм³ (31,2 %), Cl⁻ — 16,4 мг/дм³ (8,5 %). Их средние месячные многолетние значения колеблются в следующих пределах: Ca²⁺ — 55,2 — 66,1 мг/дм³, Mg²⁺ — 18,0 — 25,0 мг/дм³, Na⁺ + K⁺ — 18,5 — 29,3 мг/дм³, HCO₃⁻ — 180,0 — 215,4 мг/дм³, SO₄²⁻ — 76,3 — 104,2 мг/дм³, Cl⁻ — 13,2 — 28,4 мг/дм³.

Вода р. Кашкадарья — слабощелочная. Среднее многолетнее значение pH равно 7,85 при экстремальных значениях 7,60—8,25. Средняя многолетняя концентрация растворенного кислорода составляет 10,03 мг/дм³ (95 % насыщения), а средняя месячная изменяется от 7,63 до 11,70 мг/дм³ (84,3—104,2 % насыщения). В летние месяцы (июнь — сентябрь) количество растворенного кис-

лорода в воде реки на 3—4 мг/дм³ меньше, чем в осенне-зимние.

Из соединений азота наибольшее количество приходится на нитраты, наименьшее — на нитриты. Их средняя многолетняя концентрация составляет соответственно 1,78 и 0,034 мг/дм³. Содержание NH₄ равно 0,152 мг/дм³. Сезонные изменения концентрации азота аммония и нитритов выражены нечетко. Их средние месячные многолетние концентрации находятся в пределах соответственно 0,062—0,363 и 0,007—0,151 мг/дм³, а содержание NO₂ колеблется от 1,17 до 2,93 мг/дм³. Летом количество азота нитратов на 60—90 % меньше, чем в другие сезоны. Средняя многолетняя концентрация других биогенных элементов составляет: P_{общ} — 0,075 мг/дм³, Si — 7,2 мг/дм³ (5,3—9,8 мг/дм³), Fe_{общ} — 0,072 мг/дм³ (0,025—2,214 мг/дм³). Вода реки имеет невысокую цветность — от 1,0 до 2,0° по платиново-кобальтовой шкале. Содержание органического вещества повышается в летний период и понижается в осенне-зимний. Средняя многолетняя концентрация ПО равна 1,50 (0,96—2,34), БО — 3,85 мг/дм³ атомарного кислорода (2,65—6,43 мг/дм³ атомарного кислорода), а БПК₅ — 1,14 мг/дм³ молекулярного кислорода (0,28—2,27 мг/дм³ молекулярного кислорода).

На участке от гидрологического поста Чиракчи до водохранилища впадает пять коллекторов, осуществляющих незначительные сбросы воды, минерализация которых находится в пределах 0,5—3,0 г/дм³, что частично изменяет солевой состав приточной воды в водохранилище.

Средняя многолетняя минерализация воды водохранилища на 185 мг/дм³ выше, чем в р. Кашкадарье и составляет 581,2 мг/дм³, а средняя годовая минерализация воды водохранилища варьирует от 514,0 до 617,6 мг/дм³. Это результат влияния сбросов более минерализованных коллекторно-дренажных и грунтовых вод.

В период весенне-летнего наполнения минерализация воды понижается, а к осени возрастает. Средняя месячная минерализация воды в июле снижается до 486,8, а в октябре повышается до 986,2 мг/дм³.

Распределение минерализации воды по акватории и глубине водохранилища неоднородна, что

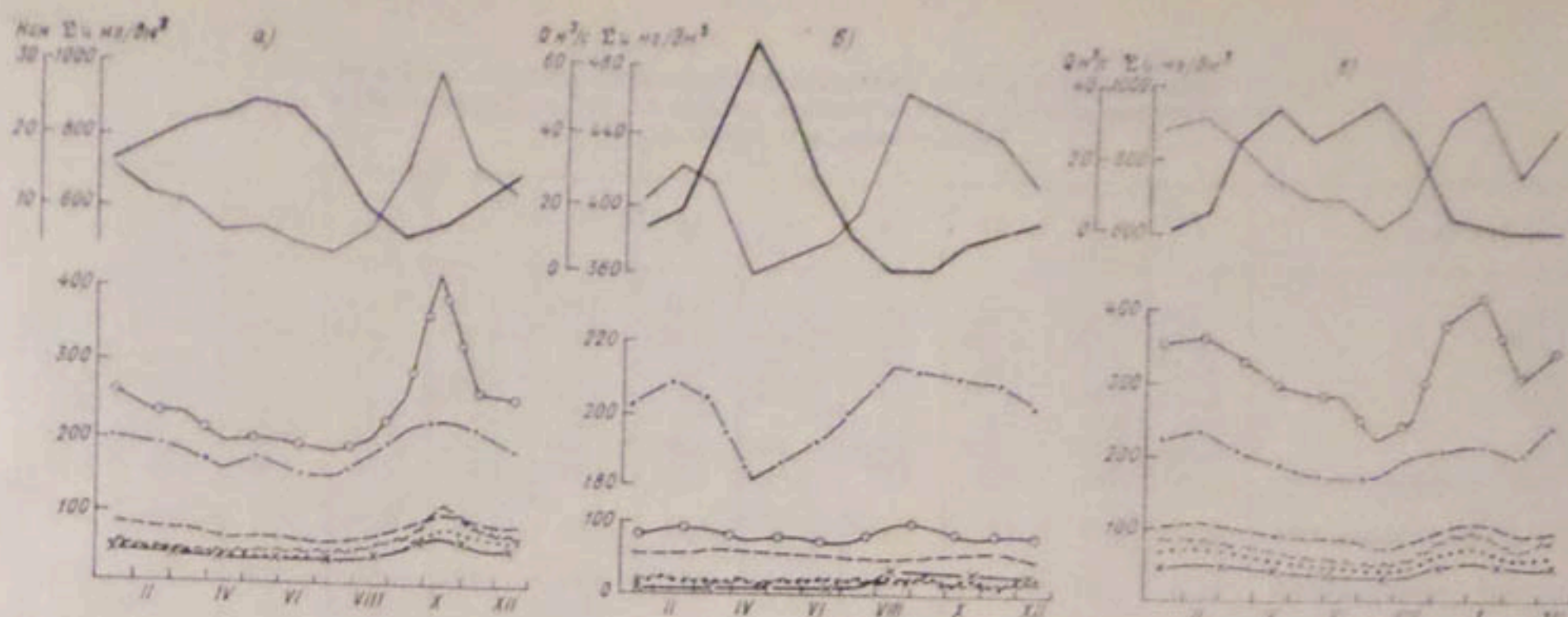


Рис. 10.5. Средневзвешенное содержание ионов и минерализация воды Чимкурганского водохранилища (а), р. Кашкадарья у пункта наблюдений Чиракчи (б), нижнего бьефа водохранилища (в).
Усл. обозначения см. на рис. 10.3.

обуславливается неравномерным распределением и замещением озерных водных масс речными. При этом различия в минерализации воды между приплотинным участком водохранилища в его верховье достигают 200 мг/дм³, а поверхностным и придонным слоем — 40 мг/дм³.

В воде водохранилища преобладают ионы кальция и сульфатов, средняя многолетняя концентрация которых составляет соответственно 68,5 мг/дм³ (40,4 %) и 210,8 мг/дм³ (51,9 %). Содержание других ионов следующее: Mg^{2+} — 39,0 мг/дм³ (37,9 %), $Na^{+} + K^{+}$ — 45,8 мг/дм³ (21,7 %), HCO_3^{-} — 173,7 мг/дм³ (33,7 %), Cl^{-} — 43,4 мг/дм³ (14,4 %). Среднее месячное многолетнее содержание главных ионов колеблется в следующих пределах: Ca^{2+} — 56,5—96,6 мг/дм³, Mg^{2+} — 31,3—64,2 мг/дм³, $Na^{+} + K^{+}$ — 41,0—108,0 мг/дм³, HCO_3^{-} — 144,2—224,3 мг/дм³, SO_4^{2-} — 183,1—262,3 мг/дм³, Cl^{-} — 30,7—71,6 мг/дм³ (рис. 10.5).

Вода из водохранилища сбрасывается в его нижний бьеф и забирается в Правобережный и Левобережный каналы. Пробы воды на химический анализ в нижнем бьефе отбирались на расстоянии 3—5 км от плотины, а в каналах — на расстоянии 1,5—2 км. На гидрохимический режим нижнего бьефа дополнительное влияние оказывают возвратные воды, минерализация которых достигает более 3000 мг/дм³. В этой связи средняя многолетняя минерализация воды нижнего бьефа почти на 150 мг/дм³ выше, чем воды в водохранилище, и составляет 727,7 мг/дм³ при средней месячной 608,6—989,2 мг/дм³.

Средняя месячная многолетняя концентрация главных ионов в воде нижнего бьефа находится в следующих пределах: Ca^{2+} — 72,1—109,3 мг/дм³, Mg^{2+} — 39,3—63,0 мг/дм³, $Na^{+} + K^{+}$ — 51,3—101,0 мг/дм³, HCO_3^{-} — 171,1—238,4 мг/дм³, SO_4^{2-} — 224,8—421,3 мг/дм³, Cl^{-} — 48,7—82,2 мг/дм³.

Минерализация воды в Правобережном и Левобережном каналах одинакова, а ее среднее месячное значение колеблется соответственно от 606,7 до 942,2 и 608,5 до 946,4 мг/дм³.

Из главных ионов в воде каналов преобладают ионы сульфатов и кальция. Средняя месячная концентрация главных ионов изменяется в пределах: Ca^{2+} — 71,4—106,8 мг/дм³, Mg^{2+} — 39,2—62,4 мг/дм³, $Na^{+} + K^{+}$ — 51,3—91,3 мг/дм³, HCO_3^{-} — 170,3—241,3 мг/дм³, SO_4^{2-} — 224,8—398,6 мг/дм³, Cl^{-} — 46,2—79,0 мг/дм³.

Концентрация растворенного кислорода в воде водохранилища достаточно высокая, и в отдельные периоды достигается его перенасыщение. Средняя многолетняя концентрация растворенного кислорода составляет 10,27 мг/дм³ (97,4 %), а средняя месячная колеблется от 8,52 до 11,54 мг/дм³ (84,3—102,1 %). В летний период содержание растворенного кислорода на 1,5—3,0 мг/дм³ меньше, чем в осенне-зимний период (табл. 10.6).

В нижнем бьефе водохранилища концентрация растворенного кислорода в воде также велика, и среднее многолетнее ее значение составляет 10,84 мг/дм³ (99,8 % насыщения). Хорошее перемешивание воды в нижнем бьефе способствует высокому насыщению ее растворенным кислородом во все периоды года. Средняя месячная многолетняя концентрация кислорода на данном участке реки колеблется от 7,76 до 12,50 мг/дм³ (86,6—107,5 % насыщения).

Как в водохранилище, так и в его нижнем бьефе вода слабощелочная. Среднее многолетнее значение pH в воде водохранилища равно 7,92, а в воде нижнего бьефа — 7,81. Средние месячные значения pH соответственно изменяются от 7,53 до 8,25 и от 7,11 до 8,10 (табл. 10.6).

Содержание биогенных элементов и органического вещества в водохранилище зависит в основном от их количества, вносимого р. Кашкадарьей.

Из форм азота в воде водохранилища преобладает азот нитратов, средняя многолетняя концентрация которого равна 1,75 мг/дм³. Количество других форм азота значительно меньше. NH_4^{+} — 0,207 мг/дм³, а NO_2^{-} — 0,048 мг/дм³. Средняя месячная многолетняя концентрация NO_3^{-} изменяется от 1,23 до 2,57 мг/дм³, NH_4^{+} — от 0,071 до 0,556 мг/дм³, NO_2^{-} — от 0,024 до 0,089 мг/дм³.

Средние многолетние значения концентраций биогенных элементов, показателей органического вещества, растворенного кислорода, pH и цветности воды Чимкурганского водохранилища

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
NH ₄ мг/дм ³	0,210	0,180	0,232	0,071	0,131	0,214	0,195	0,135	0,155	0,229	0,556	0,174	0,207
NO ₂ мг/дм ³	0,040	0,027	0,056	0,024	0,036	0,035	0,041	0,089	0,034	0,040	0,055	0,099	0,041
NO ₃ мг/дм ³	1,50	2,11	2,57	2,26	1,95	1,31	1,83	1,41	1,95	1,27	1,59	1,23	1,71
P _{общ} мг/дм ³	0,042	0,062	0,051	0,074	0,040	0,095	0,049	0,047	0,034	0,086	0,126	0,074	0,065
Si мг/дм ³	7,3	5,2	4,3	3,4	7,1	6,0	4,2	5,4	6,5	6,4	7,2	8,7	6,2
Fe мг/дм ³	0,040	0,037	0,052	0,044	0,046	0,063	0,047	0,032	0,081	0,055	0,081	0,086	0,055
ПО, мг/дм ³ атомарного кислорода	0,84	0,82	0,96	2,01	3,12	2,58	1,77	1,87	1,54	1,18	1,57	1,17	1,60
БО, мг/дм ³ атомарного кислорода	2,17	2,37	3,82	3,26	5,25	6,01	4,83	4,24	4,06	3,91	4,41	4,17	4,04
БПК ₅ мг/дм ³ молекулярного кислорода	0,74	1,40	1,21	2,40	2,80	2,97	2,84	1,58	2,61	1,24	1,36	0,56	1,81
Цветность, ...	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	1,8
O ₂ мг/дм ³	11,54	10,91	11,43	9,65	9,17	9,89	9,33	8,52	9,66	10,53	11,29	11,40	10,27
O ₂ %	84,3	79,4	96,8	102,1	101,3	108,4	100,6	102,3	100,2	103,1	100,4	89,7	97,4
pH	8,25	8,20	8,09	8,02	7,92	7,87	7,96	7,92	7,53	7,65	8,06	7,61	7,92

(табл. 10.6). В летний период концентрация соединений азота уменьшается, а в осенне-зимний повышается. Однако сбросы коллекторно-дренажных вод, содержащих более высокие концентрации биогенных элементов, в отдельные периоды нарушают общую закономерность в их динамике.

Средняя многолетняя концентрация P_{общ} составляет 0,065 мг/дм³, Si — 6,2 мг/дм³, Fe_{общ} — 0,055 мг/дм³. Их средние месячные многолетние концентрации колеблются соответственно в следующих пределах: 0,034—0,126, 3,4—8,7, 0,032—0,086 мг/дм³.

Количество органического вещества в воде водохранилища незначительно больше, чем в воде р. Кашкадарье. Средняя многолетняя концентрация показателей органического вещества — ПО, БО, БПК₅ — равна соответственно 1,60, 4,04 мг/дм³ атомарного кислорода и 1,81 мг/дм³ молекулярного кислорода. Среднее месячное многолетнее содержание ПО и БО колеблется соответственно в пределах 0,82—3,12 и 2,17—6,01 мг/дм³ атомарного кислорода, а БПК₅ — от 0,56 до 2,97 мг/дм³ молекулярного кислорода (табл. 10.6). Цветность воды в водохранилище небольшая и изменяется от 1,5 до 2,0° по платиново-кобальтовой шкале.

В воде нижнего бьефа водохранилища концентрация биогенных элементов, таких, как P_{общ}, Si и Fe_{общ}, близка к таковой в воде самого водохранилища. Их средние многолетние значения равны соответственно 0,060, 6,2 и 0,058 мг/дм³. Содержание NO₃ не намного больше, чем в водохранилище, и составляет 1,95 мг/дм³, NH₄ и NO₂ — соответственно 0,158 и 0,029 мг/дм³. Средние многолетние концентрации показателей органического вещества в воде нижнего бьефа несколько выше, чем в водохранилище: ПО и БО составляют соответственно 2,28 и 4,77 мг/дм³ атомарного кислорода и БПК₅ — 1,97 мг/дм³ молекулярного кислорода.

Каттакурганское водохранилище Гидрологический режим наливного сложного долинного Каттакурганского водохранилища формируется под влиянием вод р. Зеравшан, поступающих по подводящему каналу и автохтонных процессов, происходящих в водоеме. Вода, поступающая по подводящему каналу, маломинерализованная, и ее

средние месячные многолетние значения колеблются от 280 в летний период до 423 мг/дм³ в зимний. Преобладающими ионами являются ионы гидрокарбонатов сульфатов и кальция, средние многолетние концентрации которых равны соответственно 151,5 мг/дм³ (46,6 %), 112,6 мг/дм³ (44,0 %) и 47,1 мг/дм³ (44,2 %) при концентрации других ионов: Mg²⁺ — 24,6 мг/дм³ (38,0 %), Na⁺ + K⁺ — 23,8 мг/дм³ (17,8 %), Cl⁻ — 17,8 мг/дм³ (9,4 %). Средние месячные многолетние концентрации главных ионов в воде канала находятся в следующих пределах: Ca²⁺ — 36,2—50,8 мг/дм³, Mg²⁺ — 16,8—28,5 мг/дм³, Na⁺ + K⁺ — 17,0—28,3 мг/дм³, HCO₃⁻ — 130,2—162,1 мг/дм³, SO₄²⁻ — 68,6—128,4 мг/дм³, Cl⁻ — 11,2—21,4 мг/дм³ (рис. 10.6).

Содержание растворенного кислорода достаточно высокое, и его средняя многолетняя концентрация составляет 10,58 мг/дм³ (97,9 % насыщения), а средняя месячная изменяется от 9,09 до 12,18 мг/дм³ (94,7—102,3 % насыщения). Вода имеет слабощелочную реакцию, а среднее многолетнее значение pH равно 7,97 (7,50—8,20). Из соединений азота преобладают нитраты, средняя многолетняя концентрация которых составляет 1,90 мг/дм³. Содержание NH₄ равно 0,197 мг/дм³, а NO₂ — 0,043 мг/дм³. Средняя месячная многолетняя концентрация соединений азота изменяется в следующих пределах: NO₂ — 1,28—2,64 мг/дм³, NH₄ — 0,101—0,301 мг/дм³, NO₃ — 0,018—0,068 мг/дм³. Среднее многолетнее содержание других биогенных элементов составляет: P_{общ} — 0,083 мг/дм³ (0,048—0,147 мг/дм³), Si — 5,2 мг/дм³ (3,0—8,2 мг/дм³), Fe_{общ} — 0,040 мг/дм³ (0,033—0,056 мг/дм³). Концентрация органического вещества в воде канала невысокая. Среднее многолетнее содержание ПО и БО составляет соответственно 0,90 (0,76—1,08) и 2,58 мг/дм³ атомарного кислорода (1,97—3,17 мг/дм³ атомарного кислорода), БПК₅ — 1,73 мг/дм³ молекулярного кислорода (1,20—2,21 мг/дм³ молекулярного кислорода). Цветность в канале низкая, и ее среднее многолетнее значение составляет 2,4° по платиново-кобальтовой шкале.

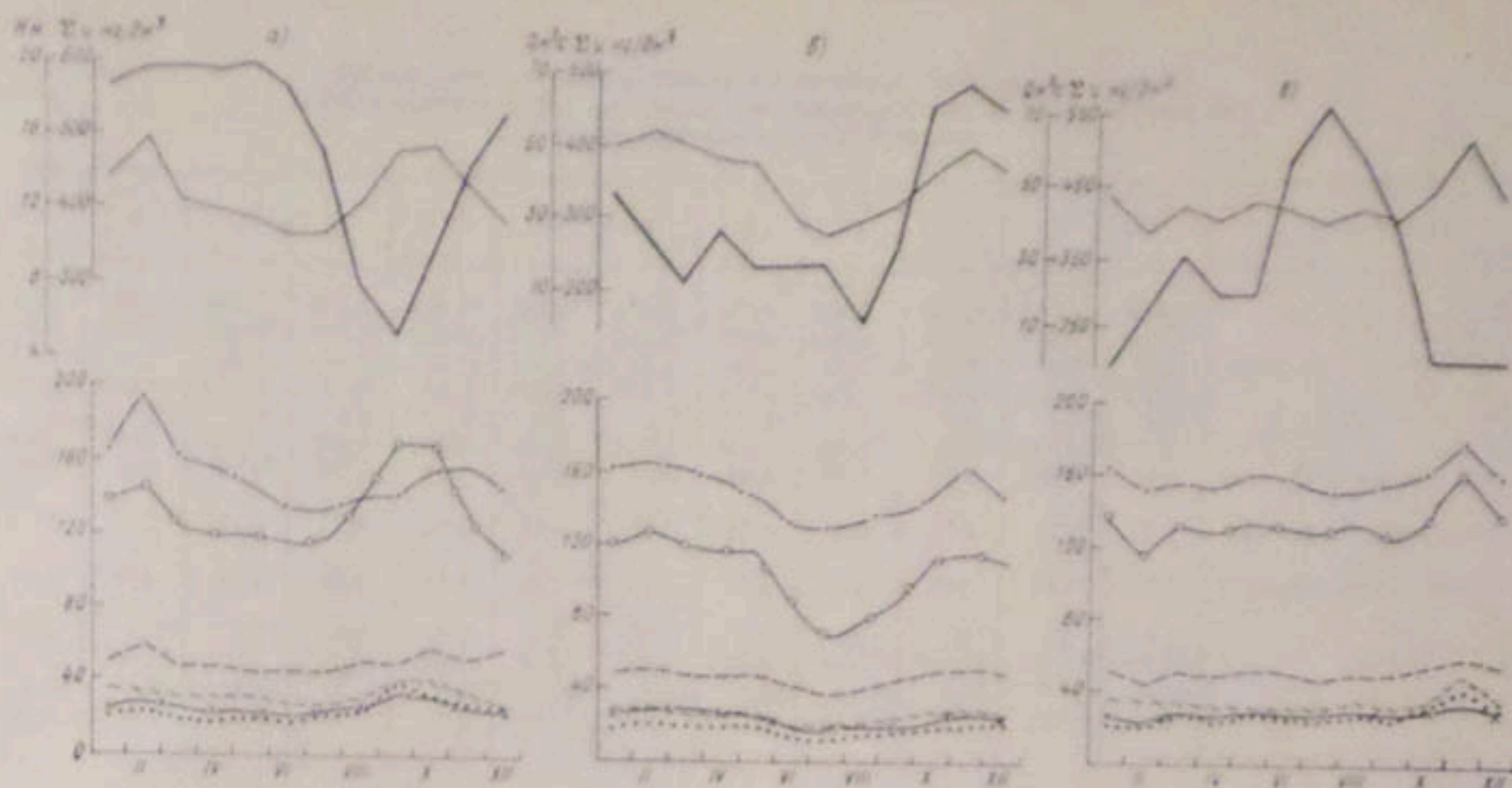


Рис. 10.6. Среднемесячное содержание ионов и минерализация воды Каттакурганского водохранилища (а), подводящего канала (б), отводящего канала (е).
Усл. обозначения см. на рис. 10.3.

Вследствие особенностей эксплуатации водных запасов водохранилища, характеризующейся продолжительным осенне-зимне-весенним наполнением (октябрь — май) и интенсивной летней сработкой (июнь — сентябрь), а также термического режима, динамических процессов и малыми значениями показателя условного водообмена ($K_2 \approx 1$) в водоеме формируется однородная озерная водная масса с минерализацией на 100—150 мг/дм³ выше, чем в канале. В связи с боковым приплотинным расположением устьевой зоны Подводящего канала, влияние речных вод прослеживается лишь в ограниченной зоне акватория водохранилища.

До реконструкции плотины и увеличения в 1968 г. объема водохранилища средняя месячная многолетняя минерализация воды в его центральной зоне колебалась от 375 до 811 мг/дм³ при минимальных значениях в июне — июле и максимальных в сентябре — октябре [33]. С 1958 по 1968 г. экстремальные значения минерализации составили 30 мг/дм³ в августе 1964 г. и 1443 мг/дм³ в октябре 1965 г., что во многом определялось водностью лет и антропогенным влиянием на сток р. Зеравшан. Следует отметить, что при минерализации воды до 350 мг/дм³ преобладающими являются ионы гидрокарбоната и кальция, но с увеличением минерализации до 700 мг/дм³ почти вдвое возрастает содержание сульфатов — до 32 %.

Многолетняя минерализация воды в водохранилище после реконструкции составила 417 мг/дм³, а средняя месячная колебалась от 370,9 до 500,0 мг/дм³ (рис. 10.6). Из главных ионов в воде водохранилища преобладают ионы гидрокарбонатов, сульфатов и кальция. Их средняя многолетняя концентрация равна соответственно 156,8 мг/дм³ (43,5 %), 129,7 мг/дм³ (45,7 %) и 50,5 мг/дм³ (42,6 %) при концентрации других ионов: Mg^{2+} — 25,7 мг/дм³ (35,7 %), $Na^+ + K^+$ — 32,0 мг/дм³ (21,7 %), Cl^- — 22,7 мг/дм³ (10,8 %).

Средняя месячная многолетняя концентрация главных ионов следующая: Ca^{2+} — 45,9—61,5 мг/дм³, Mg^{2+} — 21,6—35,5 мг/дм³, $Na^+ + K^+$ — 26,8—40,5 мг/дм³, HCO_3^- — 136,1—193,3 мг/дм³, SO_4^{2-} — 112,4—173,9 мг/дм³, Cl^- — 18,8—40,8 мг/дм³.

Между минерализацией воды водохранилища и концентрацией главных ионов наблюдается достаточно тесная связь (табл. 10.7).

Таблица 10.7

Статистические характеристики ионного состава воды Каттакурганского водохранилища

Σn	Ион					
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
Среднее многолетнее значение, мг/дм³						
458,4	54,8	28,4	37,8	155,8	160,8	20,5
Среднее квадратическое отклонение						
128,5	15,0	9,4	19,9	22,4	71,4	23,3
Коэффициент корреляции						
1,000	0,897	0,811	0,865	0,859	0,958	0,798

Зависимость минерализации воды от концентрации отдельных ионов выражается следующими уравнениями:

$$\Sigma n = 7,71Ca^{2+} + 38,0,$$

$$\Sigma n = 11,04Mg^{2+} + 144,5,$$

$$\Sigma n = 5,58Na^+ + K^+ + 247,6,$$

$$\Sigma n = 4,93HCO_3^- - 309,7,$$

$$\Sigma n = 1,72SO_4^{2-} + 198,5,$$

$$\Sigma n = 4,41Cl^- + 323,9.$$

Средняя многолетняя минерализация воды Отводящего канала близка к таковой водохранилища

Средние многолетние значения биогенных элементов, показателей органического вещества, растворенного кислорода, pH и цветности воды Каттакурганского водохранилища

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
NH ₄ мг/дм ³	0,048	0,060	0,105	0,187	0,134	0,074	0,090	0,221	0,130	0,088	0,063	0,046	0,104
NO ₂ мг/дм ³	0,060	0,053	0,081	0,038	0,033	0,055	0,038	0,024	0,031	0,030	0,048	0,017	0,042
NO ₃ мг/дм ³	2,03	2,27	2,12	1,88	1,73	1,73	1,67	1,20	1,21	1,23	1,86	1,73	1,72
P _{общ} мг/дм ³	0,053	0,068	0,062	0,082	0,054	0,055	0,086	0,082	0,074	0,076	0,082	0,084	0,071
Si мг/дм ³	6,8	5,7	4,4	5,3	4,1	5,0	5,6	4,1	6,2	6,1	5,6	7,1	5,5
Fe мг/дм ³	0,053	0,046	0,051	0,040	0,037	0,035	0,032	0,038	0,030	0,038	0,046	0,050	0,041
ПО, мг/дм ³ атомарного кислорода	0,72	0,84	0,91	0,90	0,93	0,95	0,93	1,44	1,26	0,93	0,63	0,86	0,94
БО, мг/дм ³ атомарного кислорода	2,46	2,77	3,11	3,91	3,74	3,63	3,86	3,95	3,82	3,17	2,71	2,97	3,34
БПК ₅ , мг/дм ³ молекулярного кислорода	2,04	2,21	3,09	2,81	2,05	2,14	2,43	2,82	2,86	2,58	2,05	2,08	2,43
Цветность, ...°	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,0	2,5	2,5	2,0	2,5
O ₂ мг/дм ³	11,38	11,27	11,07	10,46	9,86	9,23	9,02	7,85	8,26	9,61	10,59	11,32	10,00
O ₂ %	87,5	88,7	98,1	100,4	99,3	98,2	100,6	98,7	97,2	92,3	98,4	98,2	96,5
pH	8,25	8,25	8,20	8,12	8,13	8,13	7,82	7,96	7,99	8,18	7,82	8,25	8,09

и составляет 416,4 мг/дм³, а средняя месячная изменяется от 404,0 до 526,3 мг/дм³. Из главных ионов преобладают ионы гидрокарбонатов, сульфатов, средняя многолетняя концентрация которых соответственно равна 152,5 мг/дм³ (42,3 %), 132,6 мг/дм³ (46,7 %) при концентрации других ионов: Mg²⁺ — 26,5 мг/дм³ (36,9 %), Na⁺ + K⁺ — 33,8 мг/дм³ (22,6 %), Cl⁻ — 2,2 мг/дм³ (11,0 %). В весенне-летний период содержание главных ионов в воде отводящего канала понижается, а в осенне-зимний увеличивается. Средние месячные значения главных ионов изменяются в следующих пределах: Ca²⁺ — 44,8—57,7 мг/дм³, Mg²⁺ — 23,0—32,1 мг/дм³, Na⁺ + K⁺ — 28,8—47,0 мг/дм³, HCO₃⁻ — 51,1—178,6 мг/дм³, SO₄²⁻ — 115,7—162,3 мг/дм³, Cl⁻ — 20,0—38,6 мг/дм³ (рис. 10.6).

Для Каттакурганского водохранилища характерно достаточно высокое содержание растворенного кислорода при среднем многолетнем его значении 10,00 мг/дм³ (96,5 % насыщения), экстремальных средних месячных значениях 7,85—11,38 мг/дм³ (87,5—100,6 % насыщения) (табл. 10.8). В летний период наблюдается прямая стратификация в содержании растворенного кислорода и степень насыщения кислородом поверхностных слоев выше придонных на 50—75 %.

Содержание растворенного кислорода в воде Отводящего канала равно в среднем 10,09 мг/дм³ (98,2 % насыщения). Его средние месячные значения колеблются от 8,58 до 12,85 мг/дм³ (95,6—100,8 % насыщения). Следует отметить, что в летний период количество растворенного кислорода на 2—4 мг/дм³ меньше, чем в зимний.

Вода водохранилища и Отводящего канала имеет слабощелочную реакцию. Среднее многолетнее значение pH равно соответственно 8,09 (7,82—8,25) и 8,00 (7,51—8,32).

Режим биогенных элементов и органического вещества в воде водохранилища зависит от их поступления с водой Подводящего канала и от автохтонных процессов. Из соединений азота преобладают нитраты, средняя многолетняя концентрация которых составляет 1,72 мг/дм³, а средняя меся-

ная изменяется от 1,20 до 2,27 мг/дм³ с уменьшением в летний и повышением в осенне-зимний периоды (табл. 10.8).

Средняя многолетняя концентрация других биогенных элементов: NH₄ — 0,104 мг/дм³ (0,046—0,221 мг/дм³), NO₂ — 0,042 мг/дм³ (0,017—0,081 мг/дм³), P_{общ} — 0,071 мг/дм³ (0,053—0,086 мг/дм³), Si — 5,5 мг/дм³ (4,1—7,1 мг/дм³), Fe_{общ} — 0,041 мг/дм³ (0,030—0,041 мг/дм³). Из-за неустойчивости внутригодовой режим содержания азота выражен нечетко, концентрация фосфора повышается в летний и уменьшается в зимний периоды, а во внутригодовом режиме кремния и железа наблюдается обратная картина. Средняя многолетняя концентрация косвенных показателей органического вещества равна: ПО и БО соответственно 0,94 (0,72—1,44) и 3,34 мг/дм³ атомарного кислорода (2,46—3,95 мг/дм³ атомарных кислорода), а БПК₅ — 2,43 мг/дм³ молекулярного кислорода (2,04—2,86 мг/дм³ молекулярного кислорода) при повышенном их содержании в летний и пониженном в зимний периоды (табл. 10.8).

Цветность воды водохранилища невысокая и колеблется внутри года от 2,0 до 3,5° (средняя 2,5°) по платиново-кобальтовой шкале.

Концентрация биогенных элементов и органического вещества в Отводящем канале зависит от уровня сработки водохранилища, объема стока этих веществ и распределяется следующим образом: NH₄ — 0,143 мг/дм³ (0,21—0,300 мг/дм³), NO₂ — 0,042 мг/дм³ (0,013—0,102 мг/дм³), NO₃ — 2,44 мг/дм³ (1,71—3,98 мг/дм³), P_{общ} — общий — 0,061 мг/дм³ (0,043—0,078 мг/дм³), Si — 5,2 мг/дм³ (3,3—7,8 мг/дм³), Fe_{общ} — 0,042 мг/дм³ (0,026—0,054 мг/дм³), ПО и БО — соответственно 1,65 (1,07—2,28) и 3,44 мг/дм³ атомарного кислорода (2,88—4,12 мг/дм³ атомарного кислорода), БПК₅ — 2,15 мг/дм³ молекулярного кислорода (1,42—2,82 мг/дм³ молекулярного кислорода). Внутригодовая динамика органического вещества и биогенных элементов в воде Отводящего канала сходна с внутригодовыми изменениями их в воде водохранилища.

Цветность воды в Отводящем канале, так же как и в водохранилище, низка, и ее среднее много-

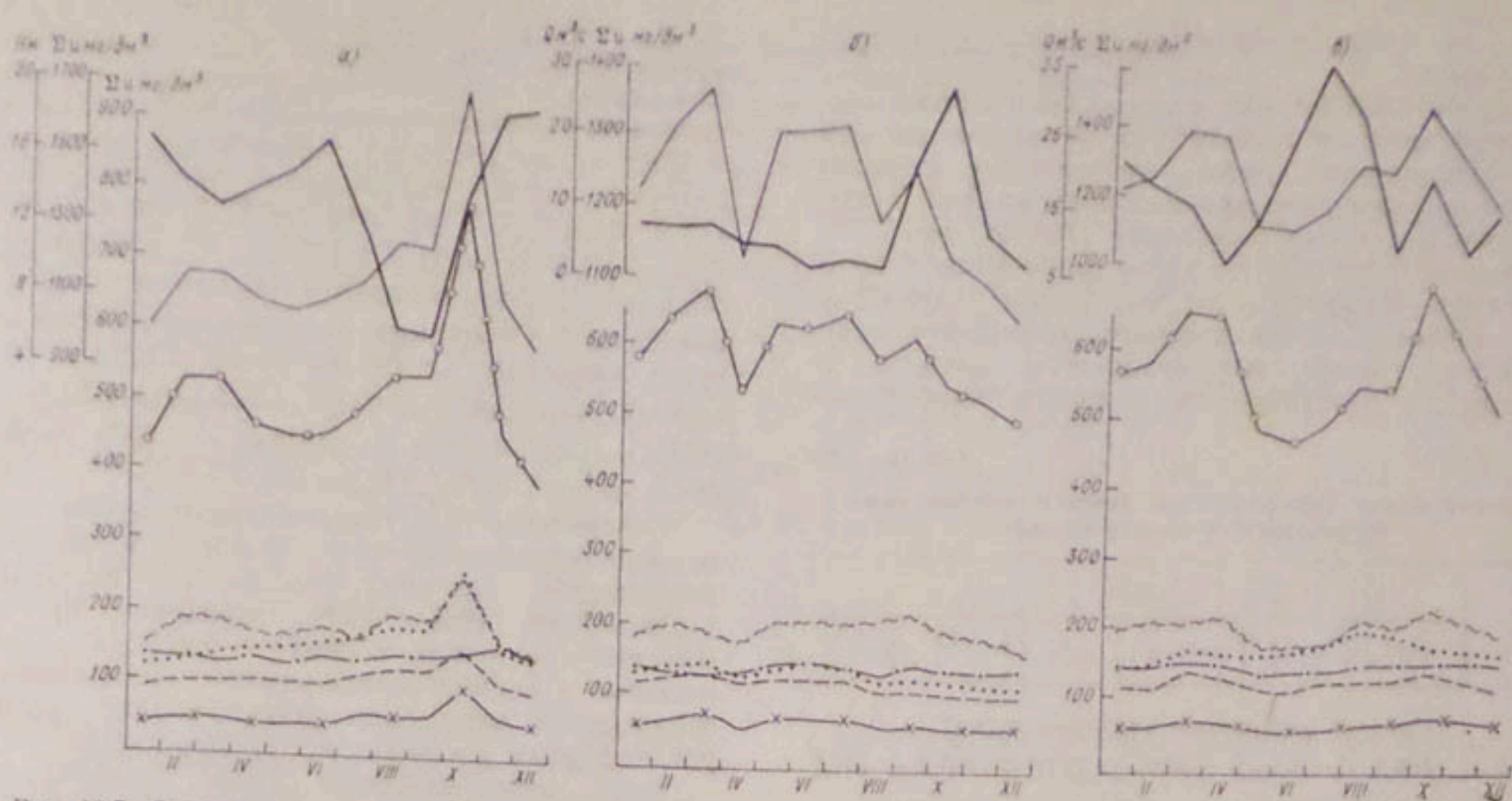


Рис. 10.7. Средневзвешенное содержание ионов и минерализация воды Куюмазарского водохранилища (а), Подводящего канала (б) и Отводящего канала (в). Усл. обозначения см. на рис. 10.3.

летнее значение составляет $2,1^{\circ}$ ($1,5-2,5^{\circ}$) по платиново-кобальтовой шкале.

Куюмазарское водохранилище. В формировании гидрохимического режима Куюмазарского водохранилища принимают участие как воды р. Зеравшан, которые поступают в водохранилище по Подводящему каналу, так и р. Амударья, сброс которых осуществляется из Аму-Бухарского канала. В связи со значительной долей в питании низовьев р. Зеравшан высокоминерализованных коллекторно-дренажных вод, средняя многолетняя минерализация вод Подводящего канала оценивается в 1210 мг/дм^3 . Минимальные значения средней месячной многолетней минерализации воды приходятся на ноябрь — декабрь (1036 мг/дм^3), когда осуществляется осеннее наполнение водохранилища. Максимальные значения средней месячной минерализации воды в канале наблюдаются в марте (1368 мг/дм^3), когда сток по каналу резко сокращается, однако в обоих случаях минерализация весьма высока и превышает допустимую норму солености воды, пригодной для орошения.

В солевом составе преобладающими являются сульфаты и сумма натрия и калия, средняя многолетняя концентрация которых равна $591,2 \text{ мг/дм}^3$ ($68,6\%$) и $190,0 \text{ мг/дм}^3$ ($42,4\%$) при концентрации других ионов: $\text{Ca}^{2+} - 113,0 \text{ мг/дм}^3$ ($31,4\%$), $\text{Mg}^{2+} - 57,2 \text{ мг/дм}^3$ ($26,2\%$), $\text{HCO}_3^- - 137,9 \text{ мг/дм}^3$ ($12,2\%$), $\text{Cl}^- - 119,5 \text{ мг/дм}^3$ ($18,6\%$). Динамика содержания главных ионов соответствует внутригодовому изменению минерализации воды, а средняя месячная многолетняя минерализация воды канала имеет следующие экстремальные значения: $\text{Ca}^{2+} - 94,8-135,7 \text{ мг/дм}^3$, $\text{Mg}^{2+} - 50,1-74,9 \text{ мг/дм}^3$, $\text{Na}^+ + \text{K}^+ - 162,5-214,5 \text{ мг/дм}^3$, $\text{HCO}_3^- - 129,4-146,9 \text{ мг/дм}^3$, $\text{SO}_4^{2-} - 486,1-683,5 \text{ мг/дм}^3$, $\text{Cl}^- - 07,2-148,9 \text{ мг/дм}^3$ (рис. 10.7).

Минерализация и содержание главных ионов в воде Аму-Бухарского канала на $20-25\%$ ниже,

чем в Подводящем. Из биогенных элементов, представленных соединениями азота, в воде канала преобладают нитраты, средняя многолетняя концентрация которых составляет $2,51 \text{ мг/дм}^3$ ($1,82-3,31 \text{ мг/дм}^3$), значительно меньше аммония — $0,124 \text{ мг/дм}^3$ ($0,051-0,227 \text{ мг/дм}^3$) — и нитритов — $0,056 \text{ мг/дм}^3$ ($0,022-0,126 \text{ мг/дм}^3$). Концентрация других биогенных элементов составляет: $\text{F}_{\text{общ}} - 0,080 \text{ мг/дм}^3$ ($0,026-0,094 \text{ мг/дм}^3$), $\text{Si} - 6,2 \text{ мг/дм}^3$ ($4,2-8,9 \text{ мг/дм}^3$), $\text{F}_{\text{общ}} - 0,045 \text{ мг/дм}^3$ ($0,028-0,061 \text{ мг/дм}^3$). Средняя многолетняя концентрация органического вещества в канале составляет: ПО и БО — соответственно $1,35$ и $2,12 \text{ мг/дм}^3$ атомарного кислорода, БПК₅ — $1,09 \text{ мг/дм}^3$ молекулярного кислорода, а средние месячные значения находятся соответственно в следующих пределах: $0,67-1,86$ и $1,92-2,47 \text{ мг/дм}^3$ атомарного кислорода, $0,92-1,54 \text{ мг/дм}^3$ молекулярного кислорода. Цветность воды в канале низкая и колеблется от $1,0$ до $2,0^{\circ}$ (среднее $1,3^{\circ}$) по платиново-кобальтовой шкале.

Насыщение воды растворенным кислородом достаточно высокое. Средняя многолетняя концентрация его равна $8,31 \text{ мг/дм}^3$ ($84,2\%$ насыщения), а средняя месячная колеблется от $6,84$ до $8,95 \text{ мг/дм}^3$ ($73,7-101,1\%$ насыщения). Вода в Подводящем канале имеет слабощелочную реакцию, и значение pH равно $7,67$ ($7,50-8,32$).

Отличительной чертой гидрохимического режима Куюмазарского водохранилища является повышение минерализации в летний период. С июня — июля минерализация начинает расти, достигая максимума в октябре. Это связано, с одной стороны, с питанием водохранилища более минерализованной водой Подводящего канала, а с другой — интенсивной сработкой водохранилища, что способствует аккумуляции более минерализованных вод. В 1968 г. в результате реконструкции объем водохранилища был увеличен на 100 млн м^3 и его наполнение стало осуществляться водой из Аму-Бухарского кана-

да, что не могло не сказаться на его гидрохимическом режиме.

Средняя многолетняя минерализация воды в водохранилище с 1970 по 1985 гг. несколько меньше, чем в Подводящем канале, что связано с поступлением менее минерализованной воды из Аму-Бухарского канала, и она составляет 1136 мг/дм³.

Средняя месячная минерализация воды в водохранилище изменяется от 962 мг/дм³ (декабрь), когда осуществляется весеннее наполнение водохранилища водой Аму-Бухарского канала, до 1705 мг/дм³ (октябрь) в условиях наибольшей

Таблица 10.9

Статистические характеристики ионного состава воды
Куюмазарского водохранилища

$\Sigma_{\text{и}}$	Ион					
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
Среднее многолетнее значение, мг/дм ³						
1136	108,2	54,1	180,0	143,4	491,0	159,0
Среднее квадратическое отклонение						
476,1	38,4	28,3	97,7	23,8	264,2	102,7
Коэффициент корреляции						
1,000	0,870	0,856	0,921	0,510	0,942	0,709

сработки. Из главных ионов в воде водохранилища преобладают ионы сульфатов и суммы натрия и калия, средняя многолетняя концентрация которых равна соответственно 491,0 мг/дм³ (59,9 %) и 180,0 мг/дм³ (42,2 %). Содержание других главных ионов следующее: Ca^{2+} — 108,2 мг/дм³ (31,7 %), Mg^{2+} — 54,1 мг/дм³ (26,1 %), HCO_3^- — 143,4 мг/дм³ (13,8 %), Cl^- — 158,9 мг/дм³ (16,3 %).

Средние месячные многолетние экстремальные значения главных ионов изменяются в следующих пределах: Ca^{2+} — 93,6—155,5 мг/дм³, Mg^{2+} — 45,7—98,5 мг/дм³, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ — 147,8—257,3 мг/дм³, HCO_3^- — 131,2—161,7 мг/дм³, SO_4^{2-} — 440,9—777,7 мг/дм³, Cl^- — 126,2—265,9 мг/дм³ (рис. 10.7).

Между минерализацией воды водохранилища и концентрацией главных ионов наблюдается достаточно тесная связь (табл. 10.9).

Зависимость минерализации воды от концентрации отдельных ионов выражается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}\Sigma_{\text{и}} &= 10,58 \text{ Ca}^{2+} - 28,1, \\ \Sigma_{\text{и}} &= 14,13 \text{ Mg}^{2+} + 372,2, \\ \Sigma_{\text{и}} &= 4,41 \text{ Na}^+ + \text{K}^+ + 350,2, \\ \Sigma_{\text{и}} &= 10,1 \text{ HCO}_3^- + 285,6, \\ \Sigma_{\text{и}} &= 1,67 \text{ SO}_4^{2-} + 339,7, \\ \Sigma_{\text{и}} &= 3,22 \text{ Cl}^- + 627,6.\end{aligned}$$

В Отводящем канале внутригодовой ход минерализации воды близок к такому в воде водохранилища, а ее среднее многолетнее значение составляет 1215,0 мг/дм³ при средней месячной концентрации 1095,0 (июнь) — 1437,1 мг/дм³ (октябрь).

Из главных ионов в воде Отводящего канала преобладают ионы сульфатов и суммы натрия и калия, средняя многолетняя концентрация которых составляет соответственно 538,6 мг/дм³ (61,6 моль) и 198,6 мг/дм³ (43,0 %). Содержание других ионов распределяется следующим образом: Ca^{2+} — 112,6 мг/дм³ (30,9 %), Mg^{2+} — 57,9 мг/дм³ (26,1 %), HCO_3^- — 147,8 мг/дм³ (13,3 %), Cl^- — 162,4 мг/дм³ (25,1 %). Средняя годовая многолетняя минерализация воды в Отводящем канале изменяется в следующих пределах: Ca^{2+} — 109,2—137,7 мг/дм³, Mg^{2+} — 49,7—71,4 мг/дм³, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ — 170,0—221,8 мг/дм³, HCO_3^- — 132,6—150,2 мг/дм³, SO_4^{2-} — 463,5—688,2 мг/дм³, Cl^- — 142,5—194,7 мг/дм³.

Содержание растворенного кислорода в воде водохранилища достаточно высокое, и его среднее многолетнее значение колеблется от 7,07 до 11,08 мг/дм³ (70,8—97,1 % насыщения) при минимальных значениях в июле — сентябре и максимальных в период осенне-зимнего наполнения. Поверхностные слои воды обычно более насыщены растворенным кислородом, чем придонные.

Вода водохранилища имеет слабощелочную реакцию, и среднее месячное значение pH изменяется от 7,36 до 8,20 (табл. 10.10).

В Отводящем канале вода также хорошо обогащена растворенным кислородом, средняя многолетняя концентрация которого равна 9,12 мг/дм³ (90,8 % насыщения), а средняя месячная изменяется от 6,27 до 11,73 мг/дм³ (80,5—101,2 %). Среднее месячное значение pH воды Отводящего канала изменяется от 7,46 до 7,83.

Режим биогенных элементов и органического вещества в воде Куюмазарского водохранилища зависит как от притока их с водой каналов, так и от ряда физико-химических и биологических процессов, протекающих в самом водохранилище. Средняя многолетняя концентрация различных форм азота распределяется следующим образом: NO_3^- — 2,00 мг/дм³, NH_4^+ — 0,77 мг/дм³, NO_2^- — 0,052 мг/дм³. В летний период содержание нитратов понижается, а в зимний повышается. Динамика содержания азота аммония и нитритов выражена менее четко. Средняя многолетняя концентрация соединения азота изменяется в следующих пределах: NO_3^- — 1,30—2,69 мг/дм³, NH_4^+ — 0,040—0,133 мг/дм³, NO_2^- — 0,025—0,147 мг/дм³, $\text{P}_{\text{общ}}$ — 0,055 мг/дм³ (0,027—0,037 мг/дм³), Si — 8,01 мг/дм³ (7,1—8,9 мг/дм³). Содержание железа и кремния в летний период понижается, а в зимний повышается. Внутригодовой ход фосфора общего имеет обратный характер (табл. 10.10).

Концентрация органического вещества в воде водохранилища невысокая. Среднее многолетнее содержание ПО и БО составляет соответственно 1,48 и 2,64 мг/дм³ атомарного кислорода, а БПК₅ — 1,11 мг/дм³ молекулярного кислорода. В весенне-летний период их количество повышается, а в осенне-зимний понижается. Среднее месячное содержание органического вещества распределяется следующим образом: ПО и БО — соответственно 0,88—1,86 и 2,13—3,04 мг/дм³ атомарного кислорода, БПК₅ — 0,73—1,66 мг/дм³ молекулярного кислорода.

Цветность воды в водохранилище низкая и ее средняя многолетняя величина равна 1,7° по платиново-кобальтовой шкале (1,0—2,0°).

Средние многолетние значения биогенных элементов, показателей органического вещества, растворенного кислорода, pH и цветности воды Куюмазарского водохранилища

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
NH ₄ мг/дм ³	—	0,040	0,052	0,069	0,046	0,050	0,042	0,124	0,133	0,126	0,089	—	0,077
NO ₂ мг/дм ³	—	0,147	0,078	0,017	0,031	0,028	0,046	0,076	0,025	0,043	0,033	—	0,052
NO ₃ мг/дм ³	—	2,45	2,21	1,66	2,14	1,72	1,30	1,70	1,84	2,22	2,69	—	2,09
P _{общ} мг/дм ³	—	0,034	0,049	0,056	0,040	0,076	0,087	0,069	0,067	0,042	0,027	—	0,055
Si мг/дм ³	—	8,4	8,9	7,5	7,8	8,0	7,1	7,3	7,6	8,2	8,9	—	8,01
Fe мг/дм ³	—	0,047	0,031	0,045	0,044	0,041	0,052	0,031	0,043	0,042	0,031	—	0,038
ПО, мг/дм ³ атомарного кислорода	—	0,88	1,43	1,86	1,74	1,66	1,72	1,67	1,58	1,23	1,09	—	1,48
БО, мг/дм ³ атомарного кислорода	—	2,21	2,34	2,81	3,04	2,43	2,91	2,83	2,94	2,71	2,13	—	2,64
БПК ₅ мг/дм ³ молекулярного кислорода	—	0,82	0,73	0,97	1,66	1,12	1,18	1,27	1,33	1,12	0,90	—	1,11
Цветность, ...°	—	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	—	1,7
O ₂ мг/дм ³	—	10,19	11,08	9,51	8,70	8,07	8,08	7,63	7,07	8,22	9,43	—	8,79
O ₂ %	—	94,3	97,1	87,3	85,2	85,4	88,6	87,5	70,8	85,1	88,4	—	87,0
pH	—	8,20	7,82	7,36	7,70	7,89	7,85	7,80	7,84	7,60	7,90	—	7,80

Содержание биогенных элементов и органического вещества в Отводящем канале зависит от их стока из водохранилища и имеет следующие значения: NO₃ — 2,01 мг/дм³ (1,43—2,52 мг/дм³), NH₄ — 0,093 мг/дм³ (0,035—0,186 мг/дм³), NO₂ — 0,049 мг/дм³ (0,09—0,067 мг/дм³). Содержание других биогенных элементов распределяется следующим образом: P_{общ} — 0,052 мг/дм³ (0,043—0,063 мг/дм³), Si — 7,64 мг/дм³ (5,5—9,0 мг/дм³), Fe_{общ} — 0,037 мг/дм³ (0,024—0,48 мг/дм³).

Показатели органического вещества в воде Отводящего канала невысоки, а их средние многолетние значения составляют: ПО и БО — соответственно 1,89 (1,05—2,94), и 2,88 мг/дм³ атомарного кислорода (2,43—3,19 мг/дм³ атомарного кислорода), БПК₅ — 0,75—2,12 мг/дм³ молекулярного кислорода. Цветность воды в канале низкая и колеблется от 1,0 до 2,0° по платиново-кобальтовой шкале (средняя 1,3°).

Кайраккумское водохранилище. Как было показано в главе 4, являясь долинным русловым водохранилищем, Кайраккумское водохранилище получает основное питание по р. Сырдарье, менее значительный приток поступает по коллекторам и сбросам, а также за счет грунтовых вод.

Гидрохимический режим р. Сырдарьи в гидрологическом створе Чильмахрам формируется под воздействием рек Нарына и Карадарьи, а также в значительной степени определяется сбросами в реку высокоминерализованных коллекторно-дренажных вод, собираемых с орошаемых территорий Ферганской долины. Средняя многолетняя минерализация воды превышает 1000 мг/дм³ и характеризуется максимальными значениями в период осенне-зимней межени (980—1350 мг/дм³), а минимальными — весенне-летний (738—850 мг/дм³).

В последние годы наблюдается рост минерализации воды р. Сырдарьи. Если в 1968—1973 гг. ее средняя годовая минерализация колебалась от 750 до 960 мг/дм³, то в 1975—1976 гг. она превысила 1000 мг/дм³, достигая 1233 мг/дм³, в 1976—1980 гг. составила 1500 мг/дм³, в 1980—1985 гг. — 1613 мг/дм³.

Следует отметить, что ионный состав коллекторно-дренажных вод характеризуется повышенными

концентрациями ионов сульфатов (до 1550 мг/дм³), натрия (до 580 мг/дм³) и хлора (до 420 мг/дм³).

Из главных ионов в воде р. Сырдарьи преобладают ионы сульфатов — 461,1 мг/дм³ (64,0 %) — и кальция — 114,6 мг/дм³ (38,1 %). Средняя многолетняя концентрация других ионов следующая: Mg²⁺ — 62,0 мг/дм³ (34,0 %), Na⁺ + K⁺ — 104,5 мг/дм³ (27,9 %), HCO₃⁻ — 161,7 мг/дм³ (17,7 %), Cl⁻ — 97,5 мг/дм³ (18,3 %) (рис. 10,8).

Вода р. Сырдарьи имеет слабощелочную реакцию, и значение pH изменяется от 7,44 до 7,87. Содержание растворенного кислорода довольно высокое и изменяется от 7,13 в летний период до 11,97 мг/дм³ в зимний период при насыщении от 80,1 до 102,1 %. Цветность воды низкая, в среднем составляет 2,4° по платиново-кобальтовой шкале.

Из соединений азота наибольшее количество обнаруживается азота нитратов, а наименьшее — азота нитритов при средней многолетней их концентрации соответственно 2,32 и 0,72 мг/дм³, аммония — 0,165 мг/дм³. Сезонные изменения в содержании соединений азота выражены нечетко, так как они зависят главным образом от притока их в реку с возвратными водами.

Средняя многолетняя концентрация других биогенных элементов следующая: P_{общ} — 0,089 мг/дм³ (0,021—0,187 мг/дм³), Si — 8,7 мг/дм³ (3,9—13,8 мг/дм³), F_{общ} — 0,055 мг/дм³ (0,036—0,092 мг/дм³).

Количество органического вещества в воде р. Сырдарьи невысокое, что подтверждается значениями ПО, БО и БПК₅, средние многолетние концентрации которых составляют соответственно 1,59 (0,72—2,71), 3,81 мг/дм³ (2,37—5,32 мг/дм³) атомарного кислорода и 1,17 мг/дм³ (0,64—1,98 мг/дм³) молекулярного кислорода.

Гидрохимический режим Кайраккумского водохранилища исследовался с начала его заполнения (1956 г.). До 1960 г. средняя годовая минерализация воды водохранилища колебалась от 540 до 690 мг/дм³. В последующие годы минерализация воды в водохранилище постепенно повышалась в связи с ростом влияния коллекторно-дренажных вод. С 1968 г. по 1973 г. средняя годовая средневзвешенная по объему минерализация не превы-

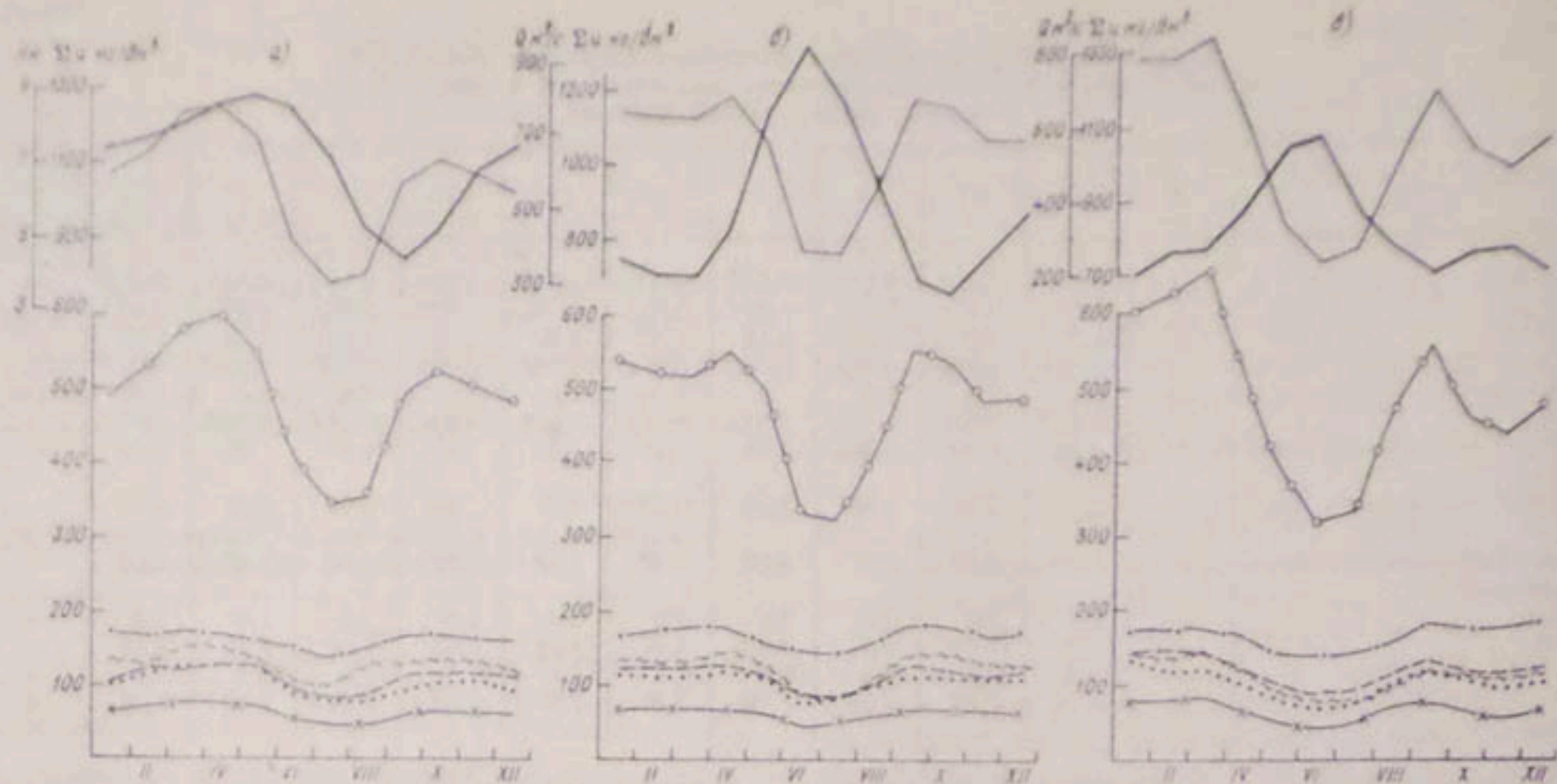


Рис. 10.8. Среднемесячное содержание ионов и минерализация воды Кайракумского водохранилища (а), р. Сырдарьи у поста Кызылжылак (б), р. Сырдарьи у поста Чильмахрам (в). Усл. обозначения см. на рис. 10.3.

шла 1000 мг/дм³ и изменялась от 848 до 992 мг/дм³, а с 1974 г. она постоянно превышает 1000 мг/дм³. В 1976 г. средняя годовая минерализация воды составила 1412 мг/дм³, а в 1977 г. — 1708 мг/дм³. С 1977 по 1985 г. она изменялась от 1226 до 1626 мг/дм³.

Средняя многолетняя минерализация воды водохранилища составляет 1062,5 мг/дм³, при этом ее минимальные значения наблюдаются в июле — августе, а максимальные — в осенне-зимний и ранне-весенний периоды (рис. 10.8).

Следует отметить, что минерализация воды в водохранилище распределяется неравномерно как по акватории, так и по глубине. В различные годы относительная разница минерализации воды по глубине колеблется в пределах 5—25 %, по ширине — 4—30 %, по длине — до 30 %. Во внутригодовом ходе минерализации воды по акватории водохранилища наблюдается следующая картина. Перед началом половодья в водохранилище концентрируются водные массы, поступившие в водоем в течение осенне-зимней межени, при этом отмечается небольшое увеличение минерализации к устью водохранилища, где концентрируются наиболее минерализованные предпаводковые воды (рис. 10.9). [111].

Наиболее существенные различия в гидрохимических характеристиках воды по акватории и глубине водохранилища отмечаются в начале половодья, когда часть водохранилища занята сравнительно однородными высокоминерализованными зимними водными массами, а в верховьях — мало минерализованными водами половодья. В этот период минерализация воды постепенно падает от приплотинной к устьевой зоне водохранилища. Перепады минерализации по длине водоема могут составлять до 1000 мг/дм³. Различия минерализации по глубине не превышает 10—15 мг/дм³.

Постепенно по мере вытеснения зимних водных масс водами половодья различия в минерализации и электропроводности воды по акватории водоема несколько сглаживаются. В период спада поло-

водья минерализация речных вод становится выше, чем в водохранилище, и в последнем отмечается постепенное повышение минерализации от плотины к устью реки [111].

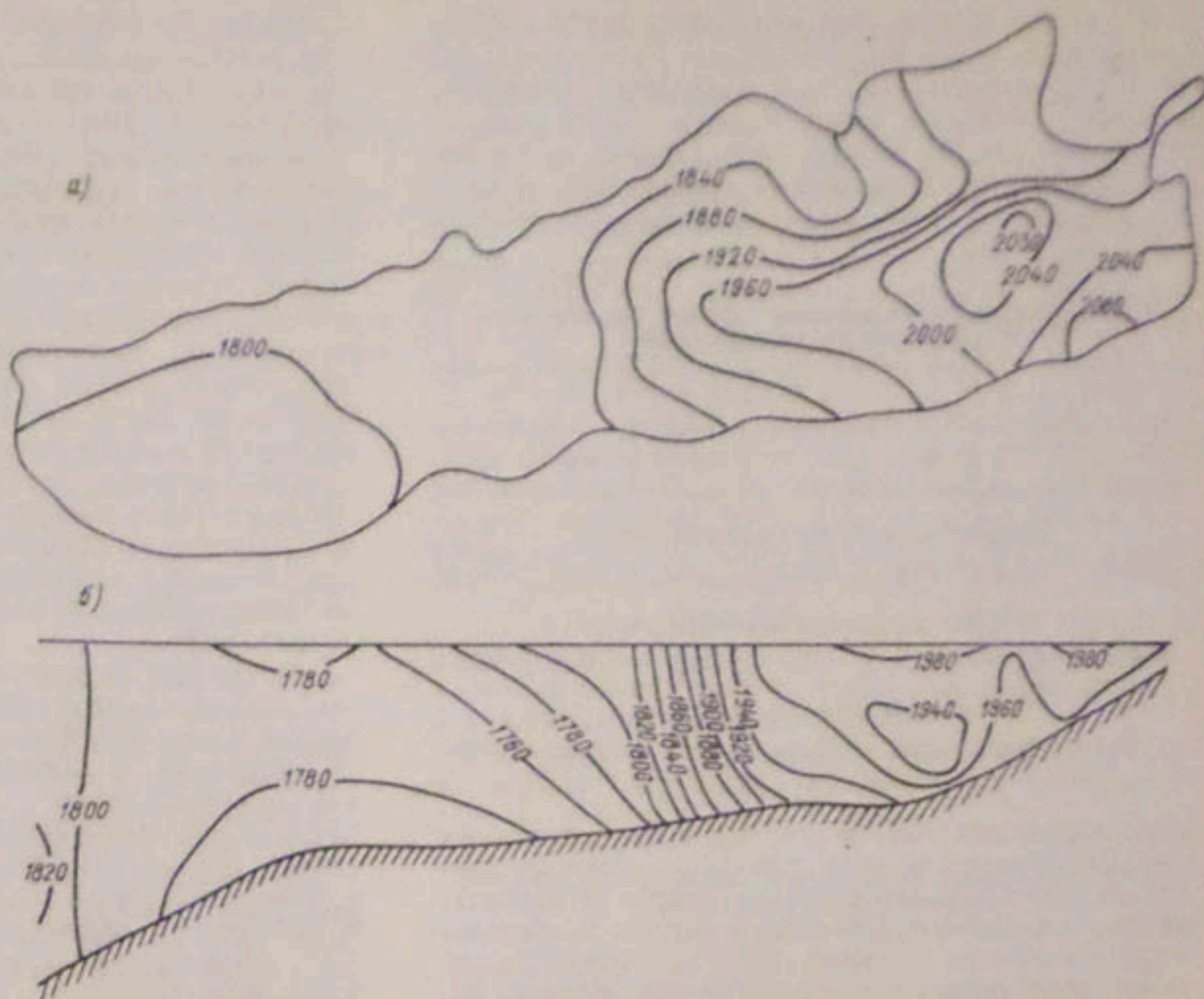
В конце вегетационного периода, когда водохранилище срабатывается ниже ГМО и регулируемая емкость практически отсутствует, электропроводность воды в водоеме достаточно однородна и определяется режимом питающей реки. Ежедневное электрическое сопротивление воды (величина, обратная электропроводности), измеренная на гидрологическом посту Акджар и в приплотинной зоне Кайракумского водохранилища, в это время имеет аналогичный ход с запаздыванием в 2—3 сут (рис. 10.10).

Разнообразие в распределении электропроводности по глубине и акватории водоема требует большого количества пунктов наблюдений для надежного подсчета средних значений и запаса солей в водохранилище.

Результаты рейдовых наблюдений показывают, что, несмотря на достаточно сильное ветровое перемешивание, в водохранилище отмечается небольшое вертикальное расслоение водных масс и, как правило, минерализация воды возрастает ко дну.

Из главных ионов в воде водохранилища преобладают ионы сульфатов, суммы натрия и калия и кальция, средняя многолетняя концентрация которых составляет соответственно 492,8 мг/дм³ (64,5 %), 125,6 мг/дм³ (31,5 %), 112,2 мг/дм³ (35,2 %) при следующем содержании других ионов: Mg^{2+} — 64,6 мг/дм³ (33,3 %), HCO_3^- — 162,3 мг/дм³ (16,7 %) и Cl^- — 105,7 мг/дм³ (18,8 %). Внутригодовая динамика содержания главных ионов изменяется в зависимости от сезонных колебаний минерализации воды в следующих пределах: Ca^{2+} — 82,2—132,7 мг/дм³, Mg^{2+} — 46,7—78,3 мг/дм³, $Na^+ + K^+$ — 95,3—152,0 мг/дм³, HCO_3^- — 138,5—175,1 мг/дм³, SO_4^{2-} — 346,8—600,4 мг/дм³, Cl^- — 76,9—129,4 мг/дм³ (рис. 10.8).

Рис. 10.9. Распределение электропроводности воды на ее поверхности (а) и по глубине (б) Кайраккумского водохранилища, $10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.



Между минерализацией воды и концентрацией отдельных ионов наблюдается достаточно тесная связь (табл. 10.11).

Зависимость минерализации воды водохранилища от концентрации отдельных ионов выражается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \sum n &= 9,11\text{Ca}^{2+} + 21,6, \\ \sum n &= 13,03\text{Mg}^{2+} + 230,0, \\ \sum n &= 5,32\text{Na}^+ + \text{K}^+ + 440,1, \\ \sum n &= 1037\text{HCO}_3^- + 558,6, \\ \sum n &= 1,83\text{SO}_4^{2-} + 162,9, \\ \sum n &= 6,18\text{Cl}^- + 411,7. \end{aligned}$$

Гидрохимический режим воды нижнего бьефа зависит от ее сбросов из водохранилища и гидрохимического режима в приплотинной зоне. В связи с этим средняя месячная минерализация воды нижнего бьефа (гидрологический пост Кзылкишлак) несколько отличается от средней месячной минерализации водной массы водохранилища.

Из главных ионов, так же как и в водохранилище, преобладают ионы сульфатов кальция, магния и суммы натрия и калия, средняя многолетняя концентрация которых составляет соответственно $447,2 \text{ мг/дм}^3$ (63,0 %), $108,2 \text{ мг/дм}^3$ (36,5 %), $59,2 \text{ мг/дм}^3$ (32,9 %) и $112,8 \text{ мг/дм}^3$ (30,5 %) с минимальным содержанием в летний период и увеличением в зимне-весенний (рис. 10.8).

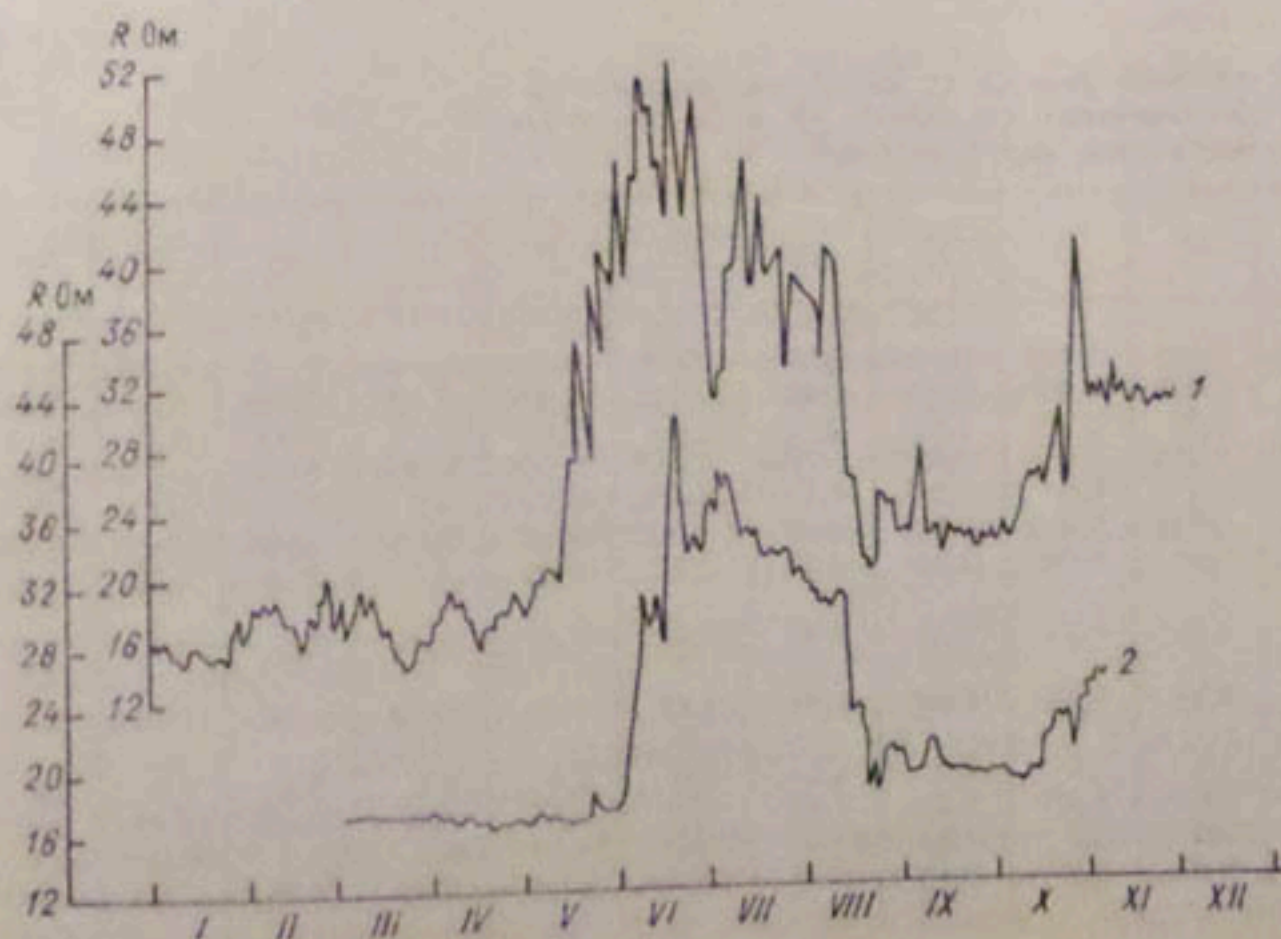


Рис. 10.10. Ежедневное сопротивление воды (R) на постах р. Сырдарья у кишла. Акджар (1) и Кайраккумское водохранилище у г. Кайраккум (2).

В первые годы наполнения водохранилища концентрация растворенного кислорода в нем была на 30—40 % меньше, чем в р. Сырдарье. Особенно большое снижение концентрации растворенного кислорода (до 5,5 мг/дм³) наблюдалось в летний период в связи с повышением температуры воды и его расходом на окисление органических веществ

Таблица 10.11

Статистические характеристики ионного состава воды Кайраккумского водохранилища

Σ	Ион					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Среднее многолетнее значение, мг/дм ³						
1142,1	123,0	70,0	132,0	164,0	535,1	118,0
Среднее квадратическое отклонение						
313,0	32,3	20,8	51,1	22,0	168,9	42,8
Коэффициент корреляции						
1,000	0,940	0,866	0,869	0,729	0,989	0,846

ложа водохранилища. В этот период на отдельных участках водохранилища отмечался дефицит кислорода (10—57 % насыщения) [105]. В дальнейшем по мере повышения объема воды в водохранилище количество растворенного кислорода увеличилось и его средняя многолетняя концентрация составляет 9,67 мг/дм³ (95,4 % насыщения), а средняя месячная изменяется от 7,77 до 12,19 мг/дм³ (87,3—97,0 % насыщения). В летний период содержание растворенного кислорода на 2—5 мг/дм³ меньше, чем в другие периоды (табл. 10.12).

Среднее многолетнее значение pH равно 8,07, и в его внутригодовом ходе не отмечается резких колебаний (7,87—8,27). Содержание растворенного кислорода в нижнем бьефе водохранилища (гидрометрический пост Кзылкишлак) значительно выше, чем в самом водохранилище (10,12—14,58 мг/дм³), что объясняется аккумуляцией основной массы взвесей органического и неорганического происхождения в водохранилище, а также активной аэрацией речной воды за счет увеличения скорости течения

и хорошего перемешивания водных масс. Водородный показатель в воде нижнего бьефа близок к таковому в водохранилище, и его средние месячные многолетние значения изменяются от 8,20 до 8,41.

В первые годы наполнения Кайраккумского водохранилища концентрация биогенных элементов была на 25—40 % выше, чем в последующие годы, что характерно для всех вновь созданных водохранилищ. В целом, концентрация биогенных элементов в Кайраккумском водохранилище невелика и ее среднее многолетнее значение составляет NH₄ — 0,145 мг/дм³ (0,085—0,225 мг/дм³), NO₂ — 0,036 мг/дм³ (0,027—0,049 мг/дм³), NO₃ — 3,12 мг/дм³ (2,19—4,73 мг/дм³). Во внутригодовом ходе концентрации биогенных элементов наблюдаются определенные закономерности. В теплое время года концентрация соединений азота, железа и кремния снижается, а в холодное повышается. В то же время концентрация фосфора имеет обратный режим (табл. 10.12).

Концентрация биогенных элементов водной массы нижнего бьефа идентична их концентрации в водной массе водохранилища, за исключением азота нитратов и кремния, содержание которых уменьшается почти на 30 % и составляет: NH₄ — 0,142 мг/дм³ (0,077—0,330 мг/дм³), NO₂ — 0,045 мг/дм³ (0,030—0,072 мг/дм³), NO₃ — 2,44 мг/дм³ (1,78—3,10 мг/дм³), P_{общ} — 0,061 мг/дм³ (0,020—0,139 мг/дм³), Si — 6,8 мг/дм³ (3,8—8,7 мг/дм³), Fe_{общ} — 0,046 мг/дм³ (0,036—0,067 мг/дм³).

Органическое вещество поступает в водохранилище с водой и взвешенными веществами по р. Сырдарье, с грунтовыми и коллекторными водами, золовыми взвесями. Автохтонное органическое вещество создается в водоеме в основном за счет жизнедеятельности организмов — планктона, нектона и бентоса. Показатели органического вещества имеют следующую среднюю многолетнюю концентрацию: ПО — 3,15 мг/дм³ атомарного кислорода (1,71—4,91 мг/дм³ атомарного кислорода), БО — 5,49 мг/дм³ атомарного кислорода (3,05—8,63 мг/дм³ атомарного кислорода) и БПК₅ — 1,45 мг/дм³ молекулярного кислорода (0,62—2,43 мг/дм³ молекулярного кислорода). Максимальные значения окисляемости наблюдаются в летний период.

Таблица 10.12

Средние многолетние значения биогенных элементов, показателей органического вещества, растворенного кислорода, pH и цветности воды Кайраккумского водохранилища

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
NH ₄ мг/дм ³	0,164	0,173	0,128	0,165	0,126	0,126	0,093	0,085	0,109	0,187	0,162	0,225	0,145
NO ₂ мг/дм ³	0,046	0,041	0,037	0,029	0,033	0,029	0,027	0,032	0,034	0,030	0,049	0,040	0,036
NO ₃ мг/дм ³	4,73	4,32	3,64	3,54	2,58	2,19	2,48	2,66	2,42	2,79	2,93	3,12	3,12
P _{общ} мг/дм ³	0,021	0,034	0,042	0,060	0,058	0,050	0,086	0,114	0,088	0,066	0,038	0,027	0,057
Si мг/дм ³	8,8	7,4	6,5	6,6	5,6	7,8	7,4	8,4	9,0	9,2	9,5	10,1	8,0
Fe мг/дм ³	0,063	0,054	0,045	0,032	0,042	0,025	0,031	0,029	0,027	0,035	0,041	0,046	0,039
ПО, мг/дм ³ атомарного кислорода	1,71	1,92	2,36	2,94	2,93	3,67	4,83	4,91	4,22	3,81	2,73	1,81	3,15
БО, мг/дм ³ атомарного кислорода	3,44	3,62	3,83	4,61	5,14	6,22	8,45	8,63	7,14	6,64	5,11	3,05	5,49
БПК ₅ , мг/дм ³ молекулярного кислорода	0,78	0,62	0,76	1,10	1,78	1,86	1,94	2,43	2,16	1,87	1,35	0,71	1,45
Цветность, ...°	2,0	2,5	3,5	3,5	2,5	2,0	3,5	2,0	2,5	2,5	3,0	3,5	2,8
O ₂ мг/дм ³	11,34	10,72	12,19	9,88	8,88	8,30	7,93	7,77	8,55	8,85	10,45	11,23	9,67
O ₂ %	91,4	87,3	99,5	98,5	93,5	97,5	94,0	91,0	97,5	99,0	97,0	99,0	95,4
pH	7,94	7,87	8,22	8,25	8,27	8,10	8,27	7,95	8,06	8,22	8,06	7,65	8,07

В нижнем бьефе водохранилища значение ПО уменьшается почти на 30% и составляет 2,41 мг/дм³ атомарного кислорода (0,82—3,71 мг/дм³ атомарного кислорода), значение БО уменьшается незначительно — 5,01 мг/дм³ атомарного кислорода (2,17—7,27 мг/дм³ атомарного кислорода), значение БПК₅ фактически не изменяется и равно 1,44 мг/дм³ молекулярного кислорода (0,72—2,31 мг/дм³ молекулярного кислорода).

Цветность воды как в водохранилище, так и в его нижнем бьефе невелика и составляет соответственно 2,8 и 2,0° по платиново-кобальтовой шкале.

Чардаринское водохранилище. Для проточного долинного руслового Чардаринского водохранилища гидрохимический режим вод во многом определяется гидрохимическим режимом р. Сырдарьи, приносящей до 93% водных масс, поступающих в водохранилище. Минерализация реки на гидрометрическом створе Чиназ может изменяться в пределах 400—1800 мг/дм³ с минимальной концентрацией солей в июне—июле на пике половодья и максимальной перед началом половодья.

Гидрохимический режим р. Сырдарьи обуславливается соотношением объемов сброса вод из Кайраккумского водохранилища, стока Чирчик-Ахангаранского бассейна и сброса коллекторно-дренажных вод Голодной степи, сочетание которых может быть самым разнообразным, особенно в маловодные годы, что объясняет слабую зависимость минерализации от расходов воды. В многоводные и средние по водности годы зависимость становится более тесной и может быть использована для характеристики гидрохимического притока в водохранилище. Если в районе впадения р. Сырдарьи гидрохимический режим водохранилища мало отличается от речного, то с продвижением к плотине происходит постепенное его изменение под влиянием внутриводных процессов.

Резких изменений минерализации воды по глубине водохранилища не наблюдается. Общая минерализация придонных слоев воды в среднем на 1—6% выше поверхностных, причем в зоне влияния р. Сырдарьи каких-либо ее изменений по глубине не отмечается. Максимальные градиенты наблюдаются в относительно глубоководных заливах в периоды слабого ветрового перемешивания [43].

Во все сезоны года прослеживается неоднородность состава растворенных веществ по длине и ширине водоема. Распределение минерализации по длине водохранилища зависит от фазы гидрологического режима в весенне-летний период, когда река несет слабоминерализованную воду и в водохранилище наблюдается постепенное повышение концентрации основных ионов от устья реки к плотине. В осенне-зимний период наблюдается обратное распределение. Перемешивание водных масс, поступающих в водохранилище в разное время, приводит к сглаживанию колебаний минерализации в приплотинной зоне и запаздыванию периодов наступления ее максимальных и минимальных значений на 20—30 сут. Распределение минерализации по акватории водоема показывает, что в узких долинных водохранилищах полного перемешивания вод не наблюдается.

Изменение минерализации воды по ширине водохранилища намного меньше чем по длине, и зависит от характеристик слагающих берега

грунтов и степени водообмена отдельных плёсов с основной водной массой. Так, в приплотинной зоне у правого заглибованного берега вода всегда на 3—5% более минерализована, чем у левого, в основном за счет повышенного содержания ионов [43]. В период падения уровня в Арнасайском заливе формируется застойная зона слабого водообмена с основной водной массой, где в результате повышенного испарения, притока грунтовых вод и взаимодействия с грунтами отмечались случаи повышения минерализации до 2—2,5 г/дм³.

Водные массы Чардаринского водохранилища, как и р. Сырдарьи, относятся по классификации О. А. Алекина к сульфатному классу второго типа. Близкие значения концентрации катионов обуславливают изменение группы воды в различные периоды от NaCa к NaMg и CaMg, и все же основной является натриево-кальциевая группа и наиболее часто встречаемый индекс S_{II}^{NaCa} . Средняя концентрация сульфатных ионов составляет 29,6%, а относительная концентрация хлоридов на 1—3% выше гидрокарбонатов.

Статистические характеристики ионного состава водных масс водохранилища, рассчитанные по

Таблица 10.13

Статистические характеристики ионного состава водных масс Чардаринского водохранилища

Σ_{II}	Ион					
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^{+} + K^{+}$	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}
Среднее многолетнее значение, мг/дм ³						
1198	129	82	126	188	514	163
Среднее квадратическое отклонение						
286	19	22	75	50	141	67
Коэффициент корреляции						
1,000	0,547	0,713	0,860	0,245	0,903	0,871

материалам наблюдений за 1966—1976 гг., указывают на не очень высокий коэффициент корреляции между минерализацией и концентрацией отдельных ионов. Наиболее тесна связь минерализации с концентрацией сульфатных ионов, а наименее тесна с гидрокарбонатными (табл. 10.13).

Зависимость минерализации воды от концентрации отдельных ионов выражается следующими уравнениями:

$$\Sigma_{II} = 8,335Ca^{2+} + 125,9,$$

$$\Sigma_{II} = 9,243Mg^{2+} + 439,0,$$

$$\Sigma_{II} = 3,285Na^{+} + K^{+} + 782,9,$$

$$\Sigma_{II} = 1,415HCO_3^{-} + 931,5,$$

$$\Sigma_{II} = 1,209SO_4^{2-} + 576,3,$$

$$\Sigma_{II} = 3,702Cl^{-} + 631,1.$$

Содержание растворенного кислорода в воде водохранилища изменяется в весьма широких пределах (7—16 мг/л, или 80—140%) как по акватории, так и по глубине водохранилища, а также по климатическим сезонам. Внутригодовое распределение растворенного кислорода имеет обратную

Средние многолетние значения биогенных элементов, показателей органического вещества, растворенного кислорода, pH и цветности воды Чардаринского водохранилища

Компонент	I	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
NO ₂ мг/дм ³			0,050	0,001	0,025	0,034	0,030	0,0003	0,026	0,005	0,024
NO ₃ мг/дм ³			0,29	0,05	1,60	0,59	0,30	0,06	0,91	0,20	0,98
P _{общ} мг/дм ³	0,028	0,011	0,008	0,009	0,015	0,080	0,010	0,011	0,012	0,010	0,014
Si мг/дм ³	3,2	3,3	3,4	3,0	3,6	4,4	3,6	3,3	2,6	2,8	8,1
Fe _{общ} мг/дм ³	0,03	0,01	0,03	0,04	0,04	0,09	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
ПО, мг/дм ³ атомарного кислорода	0,7	0,9	1,2	1,2	1,1	1,2	2,2	0,82	1,6	0,8	1,2
БО, мг/дм ³ молекулярного кислорода	1,5	2,0	2,6	2,9	2,7	3,0	3,7	2,4	3,6	2,1	2,8
Цветность, ...	6	3	4	2	2	3	4	2	5	4	6
O ₂ мг/дм ³	15,93	12,85	11,50	8,05	7,63	7,01	7,19	8,83	9,20	10,34	12,20
O ₂ %	—	86	111	86	91	85	86	100	100	91	102
pH	8,30	8,10	8,25	8,25	8,05	8,35	8,30	8,25	8,00	8,30	8,50

зависимость с распределением температуры воды и характеризуется минимальными значениями в летний период (7,07—7,63 мг/дм³) (табл. 10.14). При этом в придонных слоях в штилевые дни наблюдается его дефицит, который быстро разрушается при ветровом перемешивании. В осенне-зимний период концентрация растворенного кислорода возрастает, и в мелководных зонах наблюдается гомооксигенация, а на глубинах — прямая кислородная стратификация.

В поверхностных слоях водохранилища часто наблюдается состояние перенасыщения воды растворенным кислородом, объясняющееся хорошей аэрацией во время частых и сильных ветров и продуцированными процессами в водоеме.

Содержание свободного диоксида углерода (CO₂) в воде водохранилища незначительное (0,18—3,96 мг/дм³) и он обнаруживается в придонных слоях главным образом в весенне-летний период. Малая концентрация CO₂ объясняется, с одной стороны, отсутствием на дне водохранилища больших скоплений разлагающегося органического вещества, а с другой — частым ветровым перемешиванием водных масс. Соответственно с изменением концентрации CO₂ и соотношением с ним гидрокарбонатных и карбонатных ионов изменяется значение pH (7,98 до 8,50), при этом в придонных слоях, где обнаруживается свободный диоксид углерода, значение pH заметно снижается. Следует отметить, что слабощелочная реакция воды и малое содержание в ней CO₂ наблюдается в большинстве водохранилищ Средней Азии, что является характерным для водоемов аридной зоны, отличающих их от других водохранилищ СССР, где содержание CO₂ в воде может достигать 50 мг/дм³ и более, а значение pH изменяться от 7,0 до 9,7.

Содержание и режим биогенных элементов в воде водохранилища определяется рядом факторов и в первую очередь поступлением биогенных элементов с водой р. Сырдарьи, а также в результате переформирования берегов и внутриводных биохимических процессов.

Нитритный азот в воде водохранилища содержится в пределах 0—0,050 мг/дм³, средняя его концентрация равна 0,022 мг/дм³. Закономерностей в распределении нитритного азота не наблюдается, вероятно, из-за динамичности процессов

нитрификации, в которых он участвует. С водой р. Сырдарьи нитритного азота поступает в два раза больше (0,045 мг/дм³), чем его средняя годовая многолетняя концентрация в водохранилище (табл. 10.14).

Нитратный азот является одним из наиболее важных биогенных элементов, необходимых для развития жизни в водоеме. В водохранилище содержание нитратного азота изменяется от 0,06 до 1,60 мг/дм³ при средней годовой многолетней концентрации 0,50 мг/дм³, в то время как в речной воде оно в 2,5 раза больше — 1,27 мг/дм³. В вегетационный период уменьшение концентрации нитратного азота в водохранилище происходит за счет активизации жизнедеятельности фитопланктона.

Содержание P_{общ} в водохранилище колеблется от 0,088 до 0,080 мг/дм³ при среднем многолетнем 0,019 мг/дм³. Максимальная концентрация фосфатов наблюдается в летний период, что, вероятно, связано с повышенной скоростью процессов регенерации органического вещества при высокой температуре воды. Содержание фосфатов в р. Сырдарье несколько меньше (0,008—0,023 мг/дм³) при среднем многолетнем 0,014 мг/дм³. Концентрация Fe_{общ} как в водохранилище, так и в речной воде невелика и колеблется от 0,01 до 0,10 мг/дм³. Содержание растворенного кремния в воде водохранилища изменяется от 2,60 до 8,10 мг/дм³ при среднем многолетнем 3,50 мг/дм³. В речной воде концентрация Si выше, чем в водохранилище, при среднем многолетнем 4,20 мг/дм³. Меньшее содержание Si в водохранилище можно объяснить потреблением его фитопланктоном, так как кремниевые соли (как и азотные, азотистые и фосфорные) являются питательной средой для организмов, обитающих в воде.

Органическое вещество, характеризующееся по значению ПО в воде водохранилища изменяется от 0,070 до 2,20 мг/дм³ молекулярного кислорода. В осенне-зимний период значение ПО несколько ниже, чем в весенне-летний (табл. 10.14). Ее среднее многолетнее значение невелико и равно 1,2 мг/дм³ атомарного кислорода, но немного выше, чем в речной воде — 0,90 мг/дм³ молекулярного кислорода. Бихроматная окисляемость, при которой практически достигается полное окисление органического вещества, обычно в 2—4 раза выше

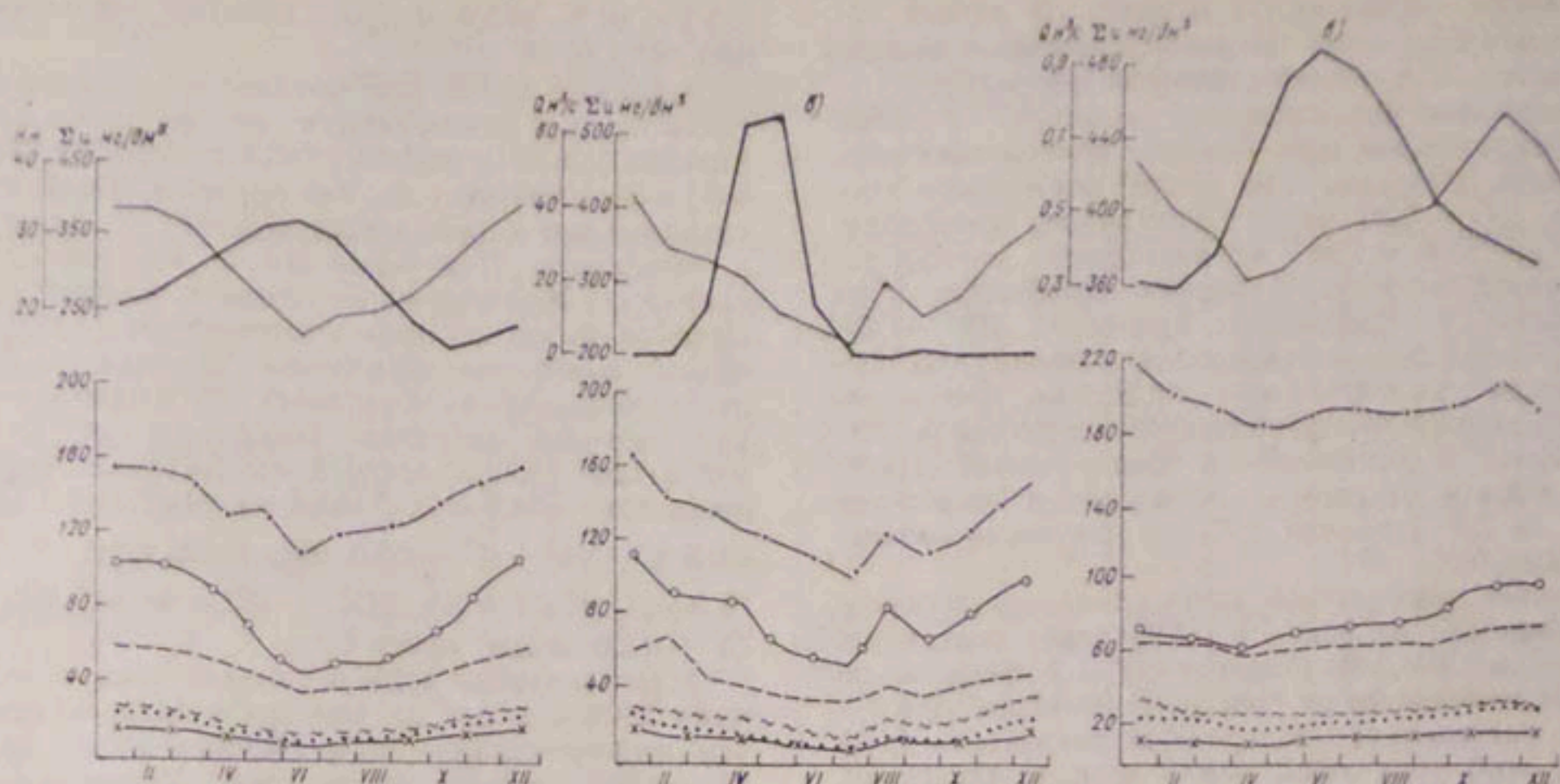


Рис. 10.11. Средневзвешенное содержание ионов и минерализация воды Туябугузского водохранилища (а), его нижнего бьефа (б), р. Бургалик у кишла. Бургалик (в).
Усл. обозначения см. на рис. 10.3.

перманганатной и в воде водохранилища изменяется от 1,50 до 3,70 мг/дм³ атомарного кислорода, а в речной — от 2,30 до 6,60 мг/дм³ атомарного кислорода. В летний период окисляемость достигает максимальных значений, что связано с высокими температурами воды и с активной деятельностью микроорганизмов, разлагающих органические вещества. Изученная динамика биогенных элементов и органического вещества позволяет заключить, что Чардаринское водохранилище исключительно бедно их содержанием.

Туябугузское водохранилище. На формирование гидрохимического режима долинного руслового Туябугузского водохранилища оказывает прямое влияние гидрохимический режим притоков рек Ахангаран и Бургалик, а также сбросы из Ташканала и по коллектору Гайрат. Следует отметить, что приток воды в водохранилище осуществляется по р. Ахангаран в период с марта по июнь, а в остальные месяцы поверхностный приток практически отсутствует (см. главу 4). Сток воды р. Ахангаран поступает в водохранилище грунтовым потоком в мощных галечниковых отложениях поймы реки, что также сказывается на динамике минерализации, ионного состава, газового режима, биогенных элементов и органических веществ водных масс водохранилища.

Гидрохимический режим р. Ахангаран обуславливается водностью года, и минерализация воды реки варьирует от 203 до 380 мг/дм³ при среднем многолетнем значении 239 мг/дм³. Во внутригодовом ходе минерализации отмечается летний минимум (200 мг/дм³) и осенний максимум — 400 мг/дм³ (рис. 10.11).

Из главных ионов преобладающими являются ионы гидрокарбонатов и кальция, средняя многолетняя концентрация которых оценивается в 116,1 мг/дм³ (58,1 %) и 41,2 мг/дм³ (63,0 %), при содержании других ионов: Mg^{2+} — 9,1 мг/дм³ (22,9 %), $Na^{+} + K^{+}$ — 11,5 мг/дм³ (14,1 %), SO_4^{2-} — 48,0 мг/дм³ (30,6 %), Cl^{-} — 13,1 мг/дм³ (11,3 %).

Средняя месячная многолетняя концентрация главных ионов изменяется в пределах: Ca^{2+} — 34,7—61,3 мг/дм³, Mg^{2+} — 7,8—16,7 мг/дм³, $Na^{+} + K^{+}$ — 8,8—26,5 мг/дм³, HCO_3^{-} — 101,5—167,8 мг/дм³, SO_4^{2-} — 38,4—98,4 мг/дм³, Cl^{-} — 9,1—24,3 мг/дм³.

Средняя многолетняя минерализация воды р. Бургалик почти на 160 мг/дм³ выше, чем воды р. Ахангаран, и составляет 402,0 мг/дм³ с минимальными значениями в апреле (363,5 мг/дм³) и максимальными в ноябре (452,5 мг/дм³).

Из главных ионов также преобладают ионы гидрокарбонатов и кальция, средняя многолетняя концентрация которых составляет соответственно 191,4 мг/дм³ (57,2 %) и 63,3 мг/дм³ (57,6 %). Средняя месячная многолетняя концентрация главных ионов колеблется в следующих пределах: Ca^{2+} — 34,7—61,3 мг/дм³, Mg^{2+} — 7,8—16,7 мг/дм³, $Na^{+} + K^{+}$ — 8,8—26,5 мг/дм³, HCO_3^{-} — 101,5—167,8 мг/дм³, SO_4^{2-} — 38,4—98,4 мг/дм³, Cl^{-} — 9,1—24,3 мг/дм³.

Вода р. Ахангаран имеет слабощелочную реакцию при среднем многолетнем водородном показателе 8,23. Количество растворенного кислорода достаточно высокое и его средняя многолетняя концентрация составляет 10,16 мг/дм³ (96,0 % насыщения), а средняя месячная колеблется в пределах 8,36—12,15 мг/дм³ (86,7—99,1 % насыщения).

Из различных форм азота преобладают нитраты, средняя многолетняя концентрация которых составляет 2,36 мг/дм³ (1,52—3,28 мг/дм³). Содержание азота аммония и нитритов значительно меньше и равно соответственно: 0,176 мг/дм³ (0,076—0,272 мг/дм³) и 0,022 мг/дм³ (0,012—0,031 мг/дм³). Средняя многолетняя концентрация других биогенных элементов следующее: фосфор общий — 0,050 мг/дм³ (0,024—0,072 мг/дм³), кремний — 6,4 мг/дм³ (4,7—8,1 мг/дм³), железо общее —

0,038 мг/дм³ (0,024—0,072 мг/дм³). В летний период количество азота нитратов, кремния и железа понижается, а в осенне-зимний возрастает.

Содержание органического вещества в воде р. Ахангаран невысокое. Средняя многолетняя концентрация ПО равна 1,04 мг/дм³ атомарного кислорода, БО — 2,20 мг/дм³ атомарного кислорода, а БПК₅ — 1,18 мг/дм³ молекулярного кислорода. Их средние месячные значения изменяются соответственно в следующих пределах: 0,65—1,28, 1,75—2,71 мг/дм³ атомарного кислорода и 0,97—1,41 мг/дм³ молекулярного кислорода, при повышении содержания органического вещества в летний период и понижении в осенне-зимний. Цветность воды р. Ахангаран невысокая и колеблется от 1,5 до 2,8° (средняя 2,2°) по платиново-кобальтовой шкале.

Среднее многолетнее содержание растворенного кислорода в воде р. Бургалик составляет 9,54 мг/дм³ (94,3 % насыщения) и с февраля по октябрь изменяется от 8,40 до 11,09 мг/дм³ (88,3—98,4 % насыщения). Водородный показатель (рН) в воде этой реки ниже, чем в воде р. Ахангаран, и равен 7,65 (7,60—7,73). В то же время концентрация биогенных элементов несколько выше. Средняя многолетняя концентрация NO₃ составляет 2,85 мг/дм³ (2,05—3,84 мг/дм³), NH₄ — 0,170 мг/дм³ (0,027—0,376 мг/дм³), NO₂ — 0,024 мг/дм³ (0,016—0,044 мг/дм³), P_{общ} — 0,056 мг/дм³ (0,038—0,094 мг/дм³), Si — 7,2 мг/дм³ (4,9—9,4 мг/дм³), Fe_{общ} — 0,053 мг/дм³ (0,018—0,074 мг/дм³).

Средняя многолетняя минерализация воды Туябугузского водохранилища почти на 60 мг/дм³ больше, чем воды р. Ахангаран, на 100 мг/дм³ меньше, чем в р. Бургалик, и составляет 305 мг/дм³. Средняя годовая минерализация воды зависит как от водности года, так и от режима эксплуатации водохранилища и изменялась от 223 мг/дм³ в многоводном году до 428 мг/дм³ в маловодном.

Внутригодовая динамика солей в водной массе водохранилища во многом определяется водообменом (K₂ = 4,5) и внутригодовым распределением стока р. Ахангаран. С возрастанием притока по р. Ахангаран в весенний период минерализация воды уменьшается и в июне достигает минимальных значений (Σи = 227 мг/дм³), а максимум содержания солей приходится на декабрь (Σи = 405 мг/дм³), когда приток в водохранилище минимальный и в его режиме наблюдается фаза осенне-зимней сработки (рис. 10.11).

Из главных ионов в воде водохранилища преобладают ионы гидрокарбонатов и кальция. Их средняя многолетняя концентрация составляет соответственно 134,4 мг/дм³ (52,6 %) и 48,8 мг/дм³ (58,4 %) при концентрации других ионов: Mg²⁺ — 11,2 мг/дм³ (22,0 %), Na⁺ + K⁺ — 20,5 мг/дм³ (19,6 %), SO₄²⁻ — 74,6 мг/дм³ (37,1 %), Cl — 15,3 мг/дм³ (10,3 %).

Динамика главных ионов также определяется приточностью и проточностью водохранилища. Их минимальные значения обнаруживаются в весенне-летний период, максимальные — в осенне-зимний, а среднее многолетнее их содержание изменяется в следующих пределах: Ca²⁺ — 36,7—62,6 мг/дм³, Mg²⁺ — 8,6—17,2 мг/дм³, Na⁺ + K⁺ — 13,3—29,3 мг/дм³, HCO₃⁻ — 112,2—160,2 мг/дм³,

SO₄²⁻ — 46,3—110,6 мг/дм³, Cl⁻ — 9,6—26,2 мг/дм³ (рис. 10.11).

В связи с малой протяженностью водоема и его значительным водообменом резких изменений минерализации и ионном составе воды по акватории водохранилища не наблюдается. Вода из водохранилища сбрасывается в русло р. Ахангаран и забирается Левобережным и Правобережным каналами. Минерализация воды и ионный состав нижнего бьефа по своим показателям идентичны водной массе водохранилища. Средняя многолетняя минерализация составляет 303 мг/дм³, ее средние месячные значения колеблются от 220 до 422 мг/дм³ при следующей концентрации главных ионов: Ca²⁺ — 45,5 мг/дм³ (53,8 %), Mg²⁺ — 10,4 мг/дм³ (20,8 %), Na⁺ + K⁺ — 26,3 мг/дм³ (25,4 %), HCO₃⁻ — 75,0 мг/дм³ (37,8 %), SO₄²⁻ — 132,2 мг/дм³ (52,3 %), Cl⁻ — 14,6 мг/дм³ (0,9 %).

Минерализация воды в каналах зависит от времени пусков воды из водохранилища, в связи с чем минерализация воды Левобережного канала (Σи = 280 мг/дм³) ниже, чем Правобережного (Σи = 343 мг/дм³). Минимальные значения минерализации, как и в водохранилище, приходятся на июнь, а максимальные могут наблюдаться в декабре — феврале.

Из главных ионов в воде обоих каналов преобладают ионы гидрокарбонатов и кальция. В Правобережном канале средняя многолетняя концентрация HCO₃⁻ составляет 141,3 мг/дм³ (48,5 %), а в Левобережном — 122,0 мг/дм³ (51,4 %), Ca²⁺ — соответственно 55,7 мг/дм³ (58,4 %) и 42,5 мг/дм³ (54,5 %).

Содержание растворенного кислорода в воде водохранилища высокое. Его среднее многолетнее значение составляет 10,72 мг/дм³ (97,6 % насыщения), а среднее месячное многолетнее колеблется от 8,43 до 12,67 мг/дм³ (94,3—101,8 % насыщения). В летний период, когда возрастают процессы окисления, количество растворенного кислорода уменьшается, а в осенне-зимний повышается.

Вода водохранилища имеет слабощелочную реакцию (рН = 8,15—8,25).

Содержание растворенного кислорода в нижнем бьефе также высокое и составляет 10,12 мг/дм³ (96,6 % насыщения), а средняя месячная концентрация колеблется от 8,54 до 12,13 мг/дм³ (91,3—99,6 % насыщения), водородный показатель при этом изменяется от 8,10 до 8,23.

Концентрация биогенных элементов и органического вещества зависит главным образом от их количества, вносимого притоками.

Из соединений азота в воде водохранилища преобладают нитраты, средняя многолетняя концентрация которых составляет 2,52 мг/дм³, а средняя месячная колеблется от 1,44 до 3,46 мг/дм³. К концу весны и в летний период концентрация азота нитратов уменьшается, а в осенне-зимний повышается (табл. 10.15). Средняя многолетняя концентрация других биогенных элементов следующая: NH₄⁺ — 0,181 мг/дм³ (0,086—0,303 мг/дм³), NO₂⁻ — 0,030 мг/дм³ (0,044—0,047 мг/дм³), P_{общ} — 0,057 мг/дм³ (0,032—0,073 мг/дм³), Si — 6,5 мг/дм³ (4,6—8,7 мг/дм³), Fe_{общ} — 0,038 мг/дм³ (0,023—0,060 мг/дм³). Динамика этих форм азота выражена нечетко. Количество железа и кремния

Средние многолетние значения биогенных элементов, показателей органического вещества, растворенного кислорода, pH и цветности воды Туябугузского водохранилища

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
NH ₄ мг/дм ³	0,178	0,241	0,303	0,117	0,142	0,217	0,204	0,145	0,143	0,206	0,194	0,086	0,18
NO ₂ мг/дм ³	0,031	0,027	0,047	0,032	0,020	0,036	0,038	0,046	0,030	0,016	0,017	0,014	0,030
NO ₃ мг/дм ³	3,46	2,82	3,05	2,43	2,06	1,44	1,66	1,84	2,28	2,88	2,94	3,37	2,52
P _{общ} мг/дм ³	0,042	0,068	0,044	0,060	0,064	0,052	0,070	0,073	0,067	0,063	0,045	0,032	0,057
Si мг/дм ³	6,6	6,5	5,6	5,4	4,6	5,5	5,3	7,0	7,2	7,7	7,4	8,7	6,5
Fe мг/дм ³	0,060	0,047	0,038	0,041	0,042	0,034	0,032	0,023	0,026	0,037	0,034	0,048	0,038
ПО, мг/дм ³ атомарного кислорода	0,86	0,77	0,87	0,72	1,03	1,35	1,62	1,39	1,64	1,67	0,97	0,83	1,14
БО, мг/дм ³ атомарного кислорода	1,74	1,88	1,96	2,04	2,33	2,55	2,24	2,17	3,05	3,61	2,76	1,98	2,36
БПК ₅ , мг/дм ³ молекулярного кислорода	1,21	1,37	1,17	1,45	1,35	1,67	1,78	1,72	2,27	1,85	1,45	1,04	1,53
Цветность, ... °	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,8	2,8	2,5	2,5	2,0	2,3
O ₂ мг/дм ³	12,34	12,77	12,41	11,54	10,52	10,47	9,64	8,43	9,46	8,96	10,81	11,34	10,72
O ₂ %	97,5	98,2	96,7	98,3	97,8	101,8	95,5	94,3	95,9	97,6	98,7	98,4	97,6
pH	8,21	8,15	8,21	8,15	8,15	8,15	8,25	8,26	8,10	8,05	8,25	8,16	8,17

снижается в весенне-летний период и повышается в осенне-зимний. Динамика значений P_{общ} имеет обратный характер распределения внутри года.

Средние многолетние показатели органического вещества в воде водохранилища имеют следующие значения: ПО — 1,14 мг/дм³ атомарного кислорода, БО — 2,36 мг/дм³ атомарного кислорода, БПК₅ — 1,53 мг/дм³ молекулярного кислорода, а их средние месячные значения изменяются соответственно от 0,72 до 1,67, от 1,74 до 3,61 мг/дм³ атомарного кислорода и от 1,17 до 2,27 мг/дм³ молекулярного кислорода (табл. 10.15). Во внутригодовом распределении органического вещества отмечается повышенное его содержание в летне-осенний период, когда температура воды достаточно высока, и пониженное в зимне-весенний. Цветность воды в водохранилище невысокая и составляет в среднем 2,3° по платиново-кобальтовой шкале, а ее средние месячные значения колеблются от 1,5 до 2,8°.

В воде нижнего бьефа содержание биогенных элементов и органического вещества не имеет резких различий с количеством их в воде водохранилища, и их средняя многолетняя концентрация составляет: NO₃⁻ — 2,35 мг/дм³ (1,48—2,96 мг/дм³), NH₄⁺ — 0,160 мг/дм³ (0,078—0,273 мг/дм³), NO₂⁻ — 0,039 мг/дм³ (0,026—0,073 мг/дм³), P_{общ} — 0,047 мг/дм³ (0,031—0,067 мг/дм³), Si — 6,2 мг/дм³ (4,4—8,4 мг/дм³), Fe_{общ} — 0,040 мг/дм³ (0,026—0,056 мг/дм³).

Среднее многолетнее содержание ПО составляет 1,08 мг/дм³ атомарного кислорода (0,75—1,44 мг/дм³ атомарного кислорода), БО — 2,18 мг/дм³ атомарного кислорода (1,81—2,68 мг/дм³ атомарного кислорода), БПК₅ — 1,44 мг/дм³ молекулярного кислорода (1,02—2,05 мг/дм³ молекулярного кислорода). Цветность воды низкая — 1,8° (1,5—2,5°) по платиново-кобальтовой шкале. Вода слабощелочная, pH = 8,18 (8,10—8,23). Кислородный режим воды нижнего бьефа связан с величиной сработки воды из водохранилища и ее насыщением растворенным кислородом. Средняя многолетняя концентрация кислорода в нижнем бьефе равна 10,12 мг/дм³ (96,6 %

насыщения), а средняя месячная колеблется от 8,54 до 12,13 мг/дм³ (91,3—99,6 % насыщения).

Чарвакское водохранилище. На формирование гидрохимического режима высокогорного сложного долинного, руслового Чарвакского водохранилища первостепенное влияние оказывает срок основных рек Чаткал и Пскем, а также комплекс динамических процессов, происходящих в водоеме и морфологические особенности строения чаши.

В гидрохимическом режиме рек, впадающих в Чарвакское водохранилище, наблюдается много общих черт как в многолетнем, так и во внутригодовом ходе общей минерализации, в формировании ионного состава, создании биогенных и органических веществ. Средняя многолетняя минерализация рек Чаткал, Пскем и Коксу имеет близкие значения и составляет соответственно 186, 191, 190 мг/дм³, при этом в зависимости от водности лет средняя годовая сумма солей может колебаться от 240 мг/дм³ в маловодные годы до 150 мг/дм³ в многоводные [98].

Во внутригодовом ходе минерализации ее максимальные значения отмечаются в воде рек Пскем и Коксу в декабре (240—250 мг/дм³) и в р. Чаткал в феврале (260 мг/дм³) при минимальных значениях 150—160 мг/дм³, приходящихся на июнь (рис. 10.12). Средняя многолетняя минерализация воды малых рек (саев) равна 310 мг/дм³ при максимальных значениях 380 мг/дм³, которые приходятся на ноябрь, и минимальных 260 мг/дм³, которые приходятся на апрель [109].

Из главных ионов преобладающими являются ионы гидрокарбоната и кальция, среднее многолетнее содержание которых в воде р. Чаткал составляет 118,9 мг/дм³ (89,6 %), 32,5 мг/дм³ (66,1 %), р. Пскем — 125,8 мг/дм³ (82 %), 32,2 мг/дм³ (64,4 %), р. Коксу — 130,4 мг/дм³ (86,6 %), 33,1 мг/дм³ (67,1 %), саев — 225,6 мг/дм³ (92,3 %), 47,4 мг/дм³ (59,1 %) [109].

Минимальные концентрации ионов приходятся на период половодья — июнь, а максимальные — на период межени — декабрь — февраль. Их средние месячные значения колеблются в следующих пределах: в воде р. Чаткал — Ca²⁺ — 27,9—48,8 мг/дм³, Mg²⁺ — 5,4—9,5 мг/дм³, Na⁺ + K⁺ — 3,8—7,5 мг/дм³,

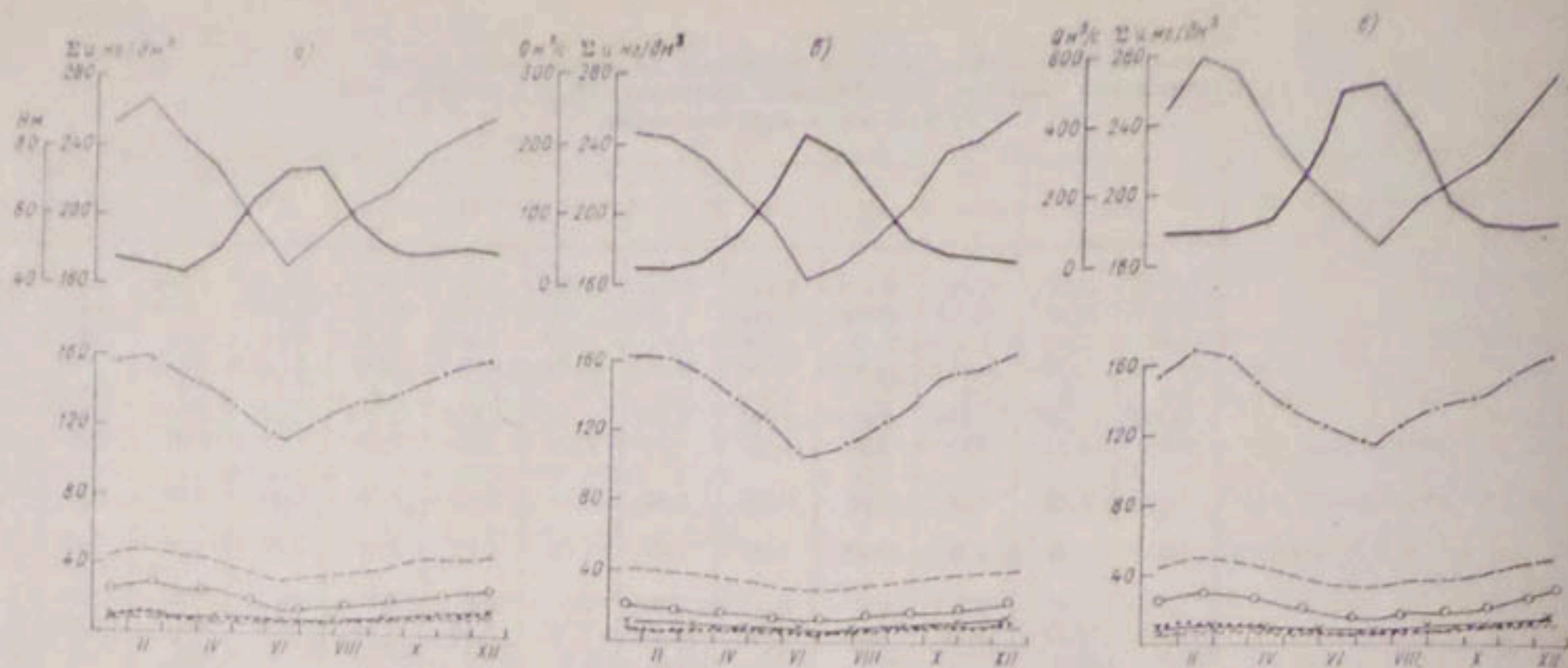


Рис. 10.12. Средневзвешенное содержание ионов и минерализация воды Чарвакского водохранилища (а), р. Пскем у кишла. Муллала (б) и р. Чирчик у г. Газалкент (в).
Усл. обозначения см. на рис. 10.3.

HCO_3^- — 101,4—149,3 мг/дм³, SO_4^{2-} — 10,3—33,5 мг/дм³, Cl^- — 3,8—12,8 мг/дм³, р. Пскем — Ca^{2+} — 37,3—41,4 мг/дм³, Mg^{2+} — 9,3—13,2 мг/дм³, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ — 6,3—8,3 мг/дм³, HCO_3^- — 152,1—164,2 мг/дм³, SO_4^{2-} — 16,2—21,0 мг/дм³, Cl^- — 5,8—9,2 мг/дм³, Коксу — Ca^{2+} — 28,4—39,6 мг/дм³, Mg^{2+} — 5,8—11,6 мг/дм³, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ — 3,0—6,0 мг/дм³, HCO_3^- — 109,8—164,8 мг/дм³, SO_4^{2-} — 7,8—14,2 мг/дм³, Cl^- — 2,8—5,9 мг/дм³.

Во всех притоках водохранилища вода слабощелочная, значение pH изменяется от 7,28 до 8,48.

Содержание растворенного кислорода достаточно высоко во все сезоны года с колебаниями от 6,20 до 12,40 мг/дм³, что составляет 58—109 % насыщения. Цветность воды низкая и по платиново-кобальтовой шкале изменяется от 1,0 до 2,0°.

Среднее многолетнее содержание органического вещества в притоках невысокое. Перманганатная окисляемость составляет от 0,78 до 2,20 мг/дм³ атомарного кислорода, бихроматная окисляемость — от 1,62 до 4,34 мг/дм³ атомарного кислорода, БПК₅ — от 1,41 до 2,49 мг/дм³ молекулярного кислорода. При этом концентрация $\text{Fe}_{\text{общ}}$ изменяется от 0,10 до 0,62 мг/дм³, Si — от 2,11 до 4,53 мг/дм³, $\text{P}_{\text{общ}}$ — от 0,12 до 0,083 мг/дм³, NH_4 — от 0,03 до 0,24 мг/дм³, NO_2 — от 0,004 до 0,040 мг/дм³ и NO_3 — от 0,027 до 1,58 мг/дм³.

Гидрохимический режим водохранилища во многом определяется притоком воды. Вследствие высокой проточности водоема концентрация главных ионов и минерализация воды водохранилища обратно пропорциональна суммарному расходу воды притоков.

В период прохождения снегово-ледникового половодья (июнь — июль) концентрация главных ионов и минерализация воды уменьшаются, достигая среднего месячного значения 170 мг/дм³. С августа на спаде половодья, когда возрастает доля подземного питания в стоке рек, наблюдается повышение концентрации главных ионов и минера-

лизации, которая в январе — феврале достигает 260—270 мг/дм³.

Средняя многолетняя минерализация водной массы водохранилища составляет 223 мг/дм³, что на 15 % выше минерализации поступающей в него речной водной массы. Это связано с выщелачиванием растворимых солей из почвогрунтов ложа водохранилища в условиях интенсивной переработки берегов при значительных амплитудах колебания уровня воды. В зависимости от водности лет средняя годовая минерализация воды водохранилища колебалась от 200 мг/дм³ в 1979 г. до 270 мг/дм³ в 1982 г., а концентрация главных ионов составляла: Ca^{2+} — 63—67 %, Mg^{2+} — 24—27 %, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ — 8—13 %, HCO_3^- — 75—84 %, SO_4^{2-} — 11—15 %, Cl^- — 6—11 %.

Различия в минерализации воды и содержании главных ионов по акватории водохранилища небольшие и не превышают в среднем 20 %. В придонных слоях количество солей обычно выше на 10—15 %, чем в поверхностных.

Средняя многолетняя концентрация главных ионов в воде водохранилища составляет: Ca^{2+} — 40,4 мг/дм³ (68,5 %), Mg^{2+} — 8,6 мг/дм³ (24,1 %), $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ — 5,5 мг/дм³ (7,4 %), HCO_3^- — 138,2 мг/дм³ (76,6 %), SO_4^{2-} — 22,6 мг/дм³ (16,0 %), Cl^- — 7,8 мг/дм³ (7,4 %).

Зависимость минерализации воды от концентрации отдельных ионов выражается следующими уравнениями:

$$\Sigma \text{и} = 6,65 \text{ Ca}^{2+} - 30,57,$$

$$\Sigma \text{и} = 12,70 \text{ Mg}^{2+} + 90,00,$$

$$\Sigma \text{и} = 17,83 \text{ Na}^+ + \text{K}^+ + 96,88,$$

$$\Sigma \text{и} = 1,43 \text{ HCO}_3^- + 7,16,$$

$$\Sigma \text{и} = 5,79 \text{ SO}_4^{2-} + 110,00,$$

$$\Sigma \text{и} = 20,53 \text{ Cl}^- + 96,78,$$

Средние многолетние значения биогенных элементов, показателей органического вещества, растворенного кислорода, pH и цветности воды Чарвакского водохранилища

Компонент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
NH ₄ мг/дм ³	0,080	0,060	0,110	0,090	0,080	0,070	0,24	0,09	0,03	0,14	0,12	—	0,10
NO ₂ мг/дм ³	0,015	0,052	0,026	0,016	0,017	0,020	0,016	0,017	0,010	0,034	0,016	0,007	0,020
NO ₃ мг/дм ³	1,53	1,49	1,42	1,24	1,08	0,80	0,74	1,02	1,04	1,17	1,48	1,64	1,22
P _{общ} мг/дм ³	0,056	0,065	0,020	0,040	0,030	0,130	0,100	0,065	0,053	0,040	0,030	0,045	0,056
Si мг/дм ³	4,2	3,6	5,3	3,4	5,5	5,4	9,5	6,4	5,8	5,5	6,8	5,7	5,5
Fe мг/дм ³	0,14	0,23	0,12	0,06	0,08	0,07	0,05	0,07	0,10	0,09	0,09	0,12	0,10
ПО, мг/дм ³ атомарного кислорода	1,04	1,28	2,05	2,3	3,72	5,01	5,26	4,61	3,02	2,84	2,02	1,25	2,86
БО, мг/дм ³ атомарного кислорода	2,09	2,51	3,86	4,91	6,44	8,27	8,73	8,32	7,26	6,17	4,11	2,36	5,42
ПК ₂ , мг/дм ³ молекулярного кислорода	0,72	0,87	0,81	3,70	1,04	3,05	3,20	3,81	2,93	1,14	0,88	2,24	2,11
Цветность, ... °	2,0	2,0	1,5	1,7	1,7	2,0	1,5	2,0	1,5	1,5	1,2	2,0	1,7
O ₂ мг/дм ³	8,72	8,82	8,22	9,05	7,08	8,07	8,06	8,08	7,24	7,15	7,23	9,07	8,06
O ₂ %	84,1	88,3	88,6	88,2	74,2	81,6	81,4	81,7	77,5	71,4	73,7	81,2	81,0
pH	8,05	8,05	7,95	8,05	7,85	7,95	7,95	7,85	8,0	8,10	8,05	8,05	8,0

Динамика минерализации и содержания растворенных солей в нижнем бьефе Чарвакского водохранилища идентична их распределению в водной массе водохранилища. Средняя многолетняя минерализация воды нижнего бьефа составляет 225 мг/дм³ при концентрации главных ионов: Ca²⁺ — 40,8 мг/дм³ (68,2 %), Mg²⁺ — 139,0 мг/дм³ (76,3 %), Na⁺ + K⁺ — 8,8 мг/дм³ (24,1 %), HCO₃⁻ — 5,8 мг/дм³ (7,7 %), SO₄²⁻ — 22,8 мг/дм³ (16,1 %), Cl — 8,0 мг/дм³ (7,6 %).

Минимальные значения минерализации и главных ионов в воде нижнего бьефа наблюдаются, так же как и в водохранилище, в период паводка, а максимальные — в период межени.

Режим растворенного кислорода в воде водохранилища определяется в основном автохтонными процессами и связан с проточностью водохранилища, ветровым перемешиванием, процессами фотосинтеза в теплое время года, взаимодействием воды с ложем, разложением органического вещества.

В первые три года эксплуатации водохранилища количество растворенного кислорода уменьшилось в 1,5—2 раза в придонном слое и на 20—30 % в поверхностном за счет процессов разложения растительного и почвенного покрова затопленной территории и эрозии берегов. В дальнейшем эти процессы стабилизировались. Следует отметить, что кислородный режим в Чарвакском водохранилище тесно связан с термическим, и понижение температуры воды в осенне-зимний период способствует увеличению растворимости кислорода поверхностных слоев воды от 8,45 до 13,60 мг/дм³, а придонных — от 7,80 до 11,90 мг/дм³. В летний период концентрация кислорода в воде несколько уменьшается с колебанием по всей толще от 7,70 до 10,90 мг/дм³. Это указывает на то, что процессы фотосинтеза в этом водоеме протекают очень слабо. Содержание кислорода по всей акватории водохранилища в одни и те же периоды не имеет резких отличий, и насыщение воды кислородом во все периоды года достаточно высокое.

Средняя месячная многолетняя концентрация растворенного кислорода в воде Чарвакского во-

дохранилища в различные периоды изменяется от 7,08 до 9,07 мг/дм³ (71,4—88,6 % насыщения), а средняя годовая за те же годы составляет 8,06 мг/дм³ (81,0 % насыщения).

Вода водохранилища имеет слабощелочную реакцию (pH = 7,85...8,10) (табл. 10.16).

Содержание растворенного кислорода в воде нижнего бьефа водохранилища высокое (8,05—12,60 мг/дм³), и его динамика связана с количеством и качеством сбрасываемой воды из водохранилища.

Водородный показатель воды нижнего бьефа также имеет близкие значения (7,80—8,40).

На формирование режима биогенных элементов и органического вещества в водохранилище огромное влияние оказывают внутриводоемные процессы. Азот аммония, являясь конечным продуктом распада белковых соединений, подвергается дальнейшему процессу минерализации с образованием нитритного и нитратного азота, а также частично непосредственно потребляется фитопланктоном в процессе фотосинтеза. Внутригодовая средняя многолетняя концентрация NH₄⁺ в воде водохранилища колеблется от 0,03 до 0,24 мг/дм³ и в среднем составляет 0,10 мг/дм³. В летний период содержание азота нитритов не велико (0,010—0,052 мг/дм³). Его максимум наблюдается в зимний период (табл. 10.16). Средняя многолетняя концентрация NO₂⁻ равна 0,020 мг/дм³.

Нитратный азот является одним из наиболее важных биогенных элементов, необходимых для развития жизни в водоеме. Средняя годовая многолетняя концентрация NO₃⁻ в воде водохранилища составляет 1,22 мг/дм³, а внутригодовая колеблется от 0,74 до 1,64 мг/дм³. В летний период (июнь — август) количество нитратов обычно снижается, а начиная с осени и до весны наблюдается его накопление, что главным образом обусловлено минерализацией органического вещества и ослаблением биологических процессов.

Фосфаты в воде водохранилища содержатся в небольшом количестве при среднем многолетнем значении 1,22 мг/дм³ (0,020—0,130 мг/дм³). Эта

концентрация увеличивается в летний период, что можно объяснить повышенной скоростью процессов регенерации органического вещества при более высокой температуре воды в это время. Начиная с осени и до весны концентрация $P_{\text{общ}}$ уменьшается в связи с торможением вышеуказанных процессов.

Концентрация $Fe_{\text{общ}}$, необходимого для питания фитопланктонных организмов, составляет $0,10 \text{ мг/дм}^3$ ($0,05-0,23 \text{ мг/дм}^3$). Его минимальные содержания обнаруживаются в летний период, а максимальные — в осенне-зимний.

Кремнекислые соли также являются питательными для организмов, обитающих в воде, хотя их роль менее значительна. Концентрация этих солей в водохранилище колеблется от $2,4$ до $9,5 \text{ мг/дм}^3$, а в среднем составляет $5,5 \text{ мг/дм}^3$. Сезонные изменения в содержании кремния выражены слабо (табл. 10.16).

Концентрация биогенных элементов в воде нижнего бьефа связана с расходами воды из водохранилища и полностью зависит от внутриводоемных процессов.

Органическое вещество, являясь продуктом жизнедеятельности растительных и животных организмов, определяет не только развитие органического мира, но и физико-химические свойства воды и донных отложений, а также служит источником питательных веществ, обуславливающих биологическую продуктивность водоемов. Вода Чарвакского водохранилища содержит большое количество органического вещества. Средняя месячная многолетняя концентрация ПО и БО изменяется соответственно от $1,04$ до $5,26$ и от $2,09$ до $8,73 \text{ мг/дм}^3$ атомарного кислорода, а БПК₅ — от $0,72$ до $3,81 \text{ мг/дм}^3$ молекулярного кислорода. Средняя многолетняя концентрация органического вещества составила соответственно $2,86$, $5,42 \text{ мг/дм}^3$ атомарного кислорода и $2,11 \text{ мг/дм}^3$ молекулярного кислорода.

Следует отметить, что в первые годы наполнения водохранилища наблюдалось повышение концентрации органического вещества в 2—4 раза, а в последующие годы произошла их стабилизация. Максимальные значения органического вещества наблюдаются в летний период. При этом в придонных слоях его на 30—65 % больше, чем в поверхностных. К осени содержание органического вещества уменьшается и в зимний период оно становится минимальным.

Содержание органического вещества в определенной степени связано с цветностью воды. Она в водохранилище невысокая и колеблется от $1,5$ до $2,0^\circ$ по платиново-кобальтовой шкале.

В нижнем бьефе Чарвакского водохранилища концентрация органического вещества близка к таковой в водохранилище и так же, как и концентрация биогенных элементов, зависит от сброски воды из водохранилища и от внутриводоемных процессов, протекающих в нем.

Следует отметить, что создание Чарвакского водохранилища у истоков р. Чирчик привело к определенным изменениям в содержании растворенных в воде веществ. В результате регулирования стока и растворенных веществ средняя многолетняя минерализация воды в нижнем бьефе в сравнении с минерализацией притоков возросла на 16 % (табл. 10.17).

Из главных ионов наблюдается наибольший рост концентрации ионов SO_4^{2-} (56,2 %), Cl (42,9 %) и Ca^{2+} (24,0 %), меньший — Mg^{2+} (6,0 %) и HCO_3^- (9,4 %).

Гораздо больший рост концентраций обнаруживается у большинства биогенных элементов — общего азота, фосфатов и кремния ($42,9-48,4 \%$) — и органического вещества: ПО — на 211 %, БО — на 203 % и БПК₅ — на 30 %. Концентрация $Fe_{\text{общ}}$ и O_2 в воде водохранилища падает соответственно на 28 и 4 %, а в нижнем бьефе обогащается (табл. 10.18).

Оценка качества воды водохранилищ. Требования к составу и свойствам воды водоемов для хозяйственно-питьевого водопользования регламентируются нормативами, согласно которым минерализация вод для этих целей не должна превышать 1000 мг/дм^3 , Cl^- — 350 мг/дм^3 , SO_4^{2-} — 500 мг/дм^3 , NH_4^+ — $2,0 \text{ мг/дм}^3$, NO_3^- — $10,0 \text{ мг/дм}^3$, Fe — $0,0 \text{ мг/дм}^3$, БПК₅ — $3,0 \text{ мг/дм}^3$ молекулярного кислорода, растворенный кислород не должен превышать $4,0 \text{ мг/дм}^3$, а летом — $6,0 \text{ мг/дм}^3$, водородный показатель (рН) должен быть в пределах $6,5-8,5$ [106, 108].

Вода водохранилищ Средней Азии почти по всем показателям удовлетворяет этим требованиям. Лишь в Тюямуяновском, Кайраккумском и Куюмазарском водохранилищах в отдельные периоды наблюдается незначительное превышение допустимых норм по содержанию в воде сульфатов.

Вода водохранилищ Средней Азии широко используется для промышленных нужд как непосредственно в различных видах производства в качестве сырья, так и для всего энергетического хозяйства.

В зависимости от специфики того или иного производства, нормативная жесткость воды колеблется от 2 до 7 ммоль/дм^3 .

Таблица 10.17

Изменение ионного состава и минерализации воды притоков р. Чирчик в результате зарегулирования Чарвакским водохранилищем

Район исследования	Σ и	Ион					
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
Приток в водохранилище, мг/дм^3	194,0	32,9	8,3	5,5	127,1	14,6	5,6
Водохранилище, мг/дм^3	223,1	40,4	8,6	5,5	138,2	22,6	7,8
% изменения содержания солей	+15,0	22,8	3,6	0	8,7	+54,8	+39,3
Нижний бьеф водохранилища, мг/дм^3	225,2	40,8	8,8	5,8	139,0	22,8	8,0
изменение содержания солей, %	+16,1	24,0	6,0	5,5	9,4	+56,2	+42,9

Изменение значений биогенных элементов, органического вещества и растворенного кислорода в воде притоков р. Чирчик в результате зарегулирования Чарвакским водохранилищем

Район исследования	Ион							
	ΣN	$P_{\text{общ}}$	Si	$Fe_{\text{общ}}$	ПО	БО	БПК ₅	O ₂
Приток в водохранилище, мг/дм ³	0,93	0,042	3,90	0,14	0,90	1,77	1,56	8,40
Водоохранилище, мг/дм ³	1,34	0,056	5,50	0,10	2,86	5,42	2,11	8,06
изменение содержания, %	44,1	33,3	41,0	-28,6	217,8	206,2	35,3	-4,1
Нижний бьеф водохранилища, мг/дм ³	1,38	0,060	5,62	0,12	2,80	5,36	2,03	8,34
изменение содержания, %	48,4	42,9	44,1	-14,3	211,1	202,8	30,1	-0,7

Средняя месячная общая жесткость воды водохранилищ Средней Азии превышает начальную установочную норму — 2 ммоль/дм³.

К водохранилищам, имеющим жесткость воды от 2 до 5 ммоль/дм³ относятся Тюябугузское, Чарвакское, Каттакурганское.

Общая жесткость воды 5—7 ммоль/дм³ наблюдается в Каттакурганском водохранилище (февраль, сентябрь, октябрь), Южно-Сурханском, Чимкурганском и Тюямуюнском водохранилищах. В остальное время года в этих водохранилищах, а также в других исследуемых водоемах общая жесткость воды превышает 7 ммоль/дм³ и при ее использовании в технических целях требуется водоподготовка.

Вода может проявлять агрессивные действия на различные строительные материалы и, в частности, на бетон. Согласно строительным нормам (СН—249—63) различают пять видов агрессивного действия на бетон: углекислотный, выщелачивающий, сульфатный и магнезиальный. Исходя из вышеуказанных строительных норм воды водохранилищ Средней Азии не являются опасными в отношении всех видов агрессивности [106, 108].

О допустимом содержании солей в поливных водах единого мнения не существует. Различные почвы и культуры по-разному реагируют на минерализацию воды. При слабой дренированности территории и низкой фильтрующей способности грунтов безвредной для растений считается оросительная вода с минерализацией 1,0—1,5 г/дм³. Для легких или хорошо дренируемых почв допускается минерализация до 3,0 г/дм³.

Однако практика орошения показала, что оценка качества воды только по минерализации не может дать объективной картины пригодности ее для целей орошения, так как при этом ничего нельзя сказать о возможности осолонцевания почв. Поэтому, кроме общей оценки по количественным показателям минерализации, в условиях интенсификации земледелия необходима дифференцированная оценка пригодности воды по уровню содержания в ней слагаемых солевого состава.

Оценка оросительных свойств вод водохранилищ Средней Азии проводилась по пяти методам (табл. 10.19). В результате было установлено, что воды большинства водохранилищ Средней Азии по всем показателям пригодны для орошения.

И. Н. Антипов-Каратаев и Г. М. Кадер в качестве критерия пригодности воды для орошения

рекомендует использовать показатель ионного обмена

$$K_1 = (Ca^{2+} + Mg^{2+}) / (Na^+ + 0,238 \Sigma n),$$

где Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ — эквивалентное содержание катионов в воде, Σn — минерализация, г/дм³. При $K_1 \leq 1,0$ вода непригодна для орошения, при $K_1 > 1,0$ вода пригодна для орошения. Согласно этой оценке, лишь воды Тюямуюнского водохранилища с января по апрель 1983 г. имели $K_1 < 1,0$ и считаются опасными для орошения. Показатель K_1 изменяется от 1,2 до 10,8.

А. В. Можайко и Т. К. Воротник предлагают о качестве оросительных вод судить по показателю K_2 , представляющему процентное отношение ионов $Na^+ + K^+$ в сумме всех катионов:

$$K_2 = (Na^+ + K^+) \cdot 100 / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+).$$

При $K_2 > 75\%$ — вода весьма опасна для орошения, при $K_2 = 66...75\%$ — вода опасна для орошения, при $K_2 < 66\%$ — вода неопасна для развития процессов осолонцевания почв. Воды всех водохранилищ имеют $K_2 < 66\%$ (4,6—55,0 %) и поэтому не способствуют развитию процессов осолонцевания в орошаемой почве.

М. Ф. Буданов при определении качества оросительной воды предлагает ориентироваться на минерализацию, жесткость, отношение количества натрия к кальцию или натрия к кальцию в воде с магнием:

$$K_3 = Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+}).$$

При $K_3 \leq 0,7$ — осолонцевания не будет, при $K_3 > 0,7$ — осолонцевание будет.

По методу М. Ф. Буданова, использование вод Тюямуюнского водохранилища с января по июнь ($K_3 = 0,9...1,2$) и с октября по декабрь ($K_3 = 0,9...1,1$), а также воды Куюмазарского водохранилища с февраля по июнь ($K_3 = 0,8...1,1$) может привести к осолонцеванию почв.

Х. Стеблер предложил «щелочную характеристику оросительных вод», определяемую ирригационным коэффициентом K_4 . Этот коэффициент определяется различными соотношениями в зависимости от эквивалентного содержания ионов Na^+ , Cl^- и SO_4^{2-} в воде:

$$K_4 = 288 / (Na^+ + 4Cl^-).$$

При $K_4 > 18$ — качество воды хорошее, при $K_4 = 18...6$ — удовлетворительное, при $K_4 = 5,9...1,2$ —

Ирригационная оценка качества вод водохранилищ Средней Азии

Водохранилище	Метод				Департамент сельского хозяйства США
	И. И. Антипова- Кротова K_1	А. М. Можайко и Т. К. Воронина K_2	М. Ф. Бударова K_3	Х. Стеблера K_4	
Чарвакское	$\frac{8,3-10,8}{10,1}$	$\frac{4,6-9,1}{7,5}$	$\frac{0,07-0,09}{0,08}$	$\frac{175-443}{262}$	$\frac{0,17-0,24}{0,20}$
Ортокойское	$\frac{3,4-7,5}{5,1}$	$\frac{10,6-18,7}{14,9}$	$\frac{0,1-0,3}{0,2}$	$\frac{112-271}{137}$	$\frac{0,3-0,7}{0,5}$
Тюябугузское	$\frac{3,6-4,6}{3,8}$	$\frac{16,6-20,7}{20}$	$\frac{0,2-0,3}{0,2}$	$\frac{71-179}{113}$	$\frac{0,5-0,8}{0,6}$
Каттакурганское	$\frac{3,0-3,8}{3,4}$	$\frac{20-24}{22}$	$\frac{0,2-0,3}{0,3}$	$\frac{46-98}{75}$	$\frac{0,7-1,0}{0,8}$
Джизакское	$\frac{1,2-1,7}{1,40}$	$\frac{36-46}{41}$	$\frac{0,5-0,7}{0,7}$	$\frac{38-87}{56}$	$\frac{1,5-2,6}{2,0}$
Южно-Сурханское	$\frac{2,1-3,3}{2,6}$	$\frac{22-32}{27}$	$\frac{0,3-0,5}{0,4}$	$\frac{31-86}{52}$	$\frac{0,8-1,8}{1,2}$
Чимкурганское	$\frac{2,1-4,0}{3,4}$	$\frac{19-31}{22}$	$\frac{0,2-0,4}{0,3}$	$\frac{23-57}{43}$	$\frac{0,9-1,3}{1,0}$
Пачкамарское	$\frac{2,5-4,8}{3,1}$	$\frac{21-27}{23}$	$\frac{0,3-0,4}{0,3}$	$\frac{24-29}{0,3}$	$\frac{1,2-1,7}{1,4}$
Учкызылское	$\frac{2,0-2,2}{2,1}$	$\frac{30-33}{31}$	$\frac{0,4-0,5}{0,5}$	$\frac{19-22}{20}$	$\frac{1,9-2,1}{2,0}$
Тюймунское	$\frac{0,8-1,6}{1,2}$	$\frac{37-55}{44}$	$\frac{0,6-1,2}{0,8}$	$\frac{6-16}{9}$	$\frac{1,3-5,7}{3,4}$
Куюмазарское	$\frac{1,2-1,6}{1,3}$	$\frac{38-45}{42}$	$\frac{0,6-1,1}{0,7}$	$\frac{7-13}{11}$	$\frac{2,9-3,7}{3,2}$
Чардаринское	$\frac{2,1-2,8}{2,5}$	$\frac{25-32}{28}$	$\frac{0,3-0,5}{0,4}$	$\frac{11-18}{13}$	$\frac{1,4-2,5}{2,0}$
Кайраккумское	$\frac{2,0-2,3}{2,1}$	$\frac{29-34}{31}$	$\frac{0,4-0,5}{0,4}$	$\frac{14-23}{17}$	$\frac{1,6-2,5}{2,2}$

Примечание. В числителе — внутригодовые показатели, в знаменателе — средние многолетние.

неудовлетворительное, а при $K_4 < 1,2$ — плохое. По Х. С. Стеблеру, оросительная вода большинства водохранилищ относится к хорошему качеству ($K_4 = 19...44,8$). Воды Тюймунского, Куюмазарского и Чардаринского водохранилищ являются водами переменного качества. Они хорошего качества с июня по сентябрь, в декабре, а в остальные периоды года удовлетворительного.

Для того чтобы оценить степень, до которой натрий будет адсорбироваться почвой из воды при равновесном состоянии, лаборатория по исследованию засоления почв США предложила использовать формулу натриево-адсорбционного отношения (SAR), ммоль/дм³.

$$SAR = Na^+ / \sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}.$$

Поливная вода с коэффициентом более 8 считается опасной и ведущей к образованию натриевых солей. Воды всех водохранилищ Средней Азии по этому методу не считаются опасными и не могут

привести к образованию натриевых солей в орошаемой почве ($SAR = 0,17...5,7$).

Следует отметить, что заметное увеличение солевого состава и ухудшение оросительных свойств воды отдельных водохранилищ Средней Азии началось в 1974—1975 гг. за счет сбросов в питающие их реки высокоминерализованных коллекторно-дренажных вод, характеризующихся высокими концентрациями сульфатов, хлоридов, ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ .

Для улучшения оросительных качеств природных вод необходимо ограничить сброс коллекторно-дренажных вод в реки и водохранилища и установить норму сбросов растворенных солей в водотоки до 1,0 г/дм³.

Проведение мероприятий в этом направлении будет способствовать сохранению хороших качеств поверхностных вод Средней Азии в условиях интенсификации сельского хозяйства и, в частности, орошаемого земледелия.

ГЛАВА 11. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ВОДОХРАНИЛИЩ И ВОПРОСЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА

Водные ресурсы водохранилищ Средней Азии оценены достаточно полно, так как имеются материалы о ежегодном изменении возобновляемых водных запасов практически всех эксплуатируемых водохранилищ. Современные методы расчета безвозвратных потерь воды на испарение с водной поверхности и транспирацию, а также учет систематического уменьшения емкостей водохранилищ в результате заиления позволяют проанализировать

нилиц, составляющая 28 км³, позволяет осуществлять многолетнее регулирование стока с 95 %-ным использованием водных ресурсов бассейна.

В последнее двадцатилетие ведется интенсивное строительство водохранилищ в бассейне р. Амударьи, сток которой зарегулирован лишь на 30 %. В отличие от бассейна р. Сырдарьи здесь еще не зарегулированы такие главные водные артерии, как реки Пяндж и частично Вахш.

Таблица 11.1

Динамика количества, площадей (*f*) и объемов воды (*V*) водохранилищ
по бассейнам рек Средней Азии

Год	р. Амударья			р. Сырдарья			Реки Чу и Талас			Туркмения			Средняя Азия		
	количество	<i>f</i> км ²	<i>V</i> км ³	количество	<i>f</i> км ²	<i>V</i> км ³	количество	<i>f</i> км ²	<i>V</i> км ³	количество	<i>f</i> км ²	<i>V</i> км ³	количество	<i>f</i> км ²	<i>V</i> км ³
1940										5	70	0,07	5	70	0,07
1960	4	97	0,8	2	525	4,3	1	25	0,7	7	364	0,9	14	1016	6,5
1980	13	1292	21,9	18	1828	33,7	6	138	1,7	14	484	2,1	42	2742	59,4
1987	17	1463	23,3	22	1854	34,5	6	138	1,7	15	494	2,1	60	3949	61,6

динамику изменения их водных ресурсов как по территории Средней Азии в целом, так и по бассейнам рек и административно-хозяйственным районам.

Анализ табл. 11.1 показывает, что с 1940 по 1975 г. наиболее интенсивный прирост регулируе-

Таблица 11.2

Сокращение объемов чаш водохранилищ Средней Азии
в результате заиления, млн м³

Объем	Год				
	1950	1960	1970	1980	1985
Бассейн р. Амударья					
Суммарный водохранилищ	25	888	2 881	21 911	23 326
Годовой заиления	0,1	8,7	21,5	173,7	177,0
Суммарный заиления	0,5	26,0	201,6	949,7	1 834,2
Бассейн р. Сырдарья					
Суммарный водохранилищ	253	4 333	13 020	33 724	34 524
Годовой заиления	22,0	42,1	62,7	52,5	52,5
Суммарный заиления	132,0	324,7	811,4	1 277,7	1 330,2

мых емкостей отмечался в бассейне р. Сырдарьи, сток которой в настоящее время практически полностью зарегулирован. Полезная емкость водохра-

Однако с ростом регулирующих емкостей растут и их потери из-за заиления ложа водохранилищ. По результатам расчетов объема заиления (табл. 11.2), в настоящее время в бассейне р. Амударьи ежегодно объем водохранилищ сокращается на 177 млн м³, а в бассейне р. Сырдарьи — на 53 млн м³ (табл. 11.2).

Как показывает история орошения, строительство водохранилищ начиналось со средних и нижних течений рек, в связи с чем водохранилища практически полностью аккумулировали твердый сток бассейнов рек. Фархадское водохранилище было заилено в течение 8 лет. В построенном выше по течению Кайраккумском водохранилище в течение 20 лет было аккумулировано 700 млн м³ стока наносов. Введение в эксплуатацию Токтогульского на р. Нарын и Андижанского на р. Карадарье водохранилищ существенно снизило объемы заиления.

Строительство плотин по течению р. Сырдарьи привело к неоправданной потере полезной регулирующей емкости более чем на 600 млн м³.

В бассейне р. Амударьи, несмотря на имеющийся опыт, строительство Тюямуянского гидроузла привело к годовой потере емкости водохранилища в 100 млн м³, в то время как строительство предгорных и горных водохранилищ в бассейнах рек Пянджа и Вахша позволило бы существенно сократить объемы заиления.

Среднеазиатские водохранилища вносят весьма весомый вклад в общий круговорот водных

Динамика роста и распределения площадей (f) водной поверхности и объемов (V) воды водохранилищ по территориям среднеазиатских республик

Год или высота	Узбекская ССР			Таджикская ССР			Киргизская ССР			Туркменская ССР			Казахская ССР ¹			Итого		
	число	f км ²	V км ³	число	f км ²	V км ³	число	f км ²	V км ³	число	f км ²	V км ³	число	f км ²	V км ³	число	f км ²	V км ³
Динамика роста																		
1955	2	66,1	625,0				1	5,6	100	6	103,2	134				9	174,9	859,0
1965	10	230,0	2 498,3	4	522,9	3 587,1	2	25,7	432,5	11	444,7	1 867,5	3	69,8	435,8	30	1 293,1	8 821,2
1975	14	353,1	5 371,3	6	623,8	14 142,1	5	45,1	782	12	477,7	2 085,5	5	854,7	5 648,8	42	2 354,4	28 029,7
1987	22	1 510,9	17 456,3	6	623,8	14 142,1	11	387,4	21 641,2	15	494,3	2 119,1	6	932,4	6 269,0	60	3 948,8	61 627,7
Распределение по высоте																		
До 500 м	11	1 281,8	11 724,5	2	517,5	3 531,6				15	494,3	2 119,1	2	846,5	5 570,0	30	3 140,1	22 945,2
Свыше 500 м	11	229,1	573,8	4	106,3	10 610,5	11	387,4	21 641,2				4	85,9	699,0	30	808,7	38 682,5
Итого:	22	1 510,9	17 456,3	6	623,8	14 142,1	11	387,4	21 641,2	15	494,3	2 119,1	6	932,4	6 269,0	60	3 948,8	61 627,7

¹ Бассейны рек Сырдарья и Чу.

ресурсов Средней Азии. Общие водные запасы воды в водохранилищах при НПУ оцениваются в 61,6 км³. В бассейне р. Амударья они составляют 23,3 км³, в бассейне р. Сырдарья — 34,5 км³, в бассейне рек Чу и Талас — 1,7 км³, а в бассейнах рек Теджен, Мургаб и зоне Каракумского канала — 2,1 км³ (см. табл. 11.1).

Распределение количества водохранилищ, площадей их водного зеркала и объемов по территории среднеазиатских республик приведено в табл. 11.3.

С пуском в эксплуатацию Токтогульского гидроузла и наполнения его водохранилища, которое продолжалось с 1974 по 1987 г., 35 % водных запасов, накапливаемых в водохранилищах Средней Азии, сосредоточены на территории Киргизии (21,4 км³), 28 % приходится на территорию Узбекистана (17,4 км³), 23 % — на территорию Таджикистана (14,1 км³), 3 % — на территорию Туркме-

нии (2,1 км³) и 10 % на территорию южных областей Казахстана в бассейнах рек Сырдарья, Чу и Таласа (6,3 км³).

В приходных статьях водного баланса 23 наиболее изученных водохранилищ, в чашах которых аккумулируется 56 км³ воды, главенствующим компонентом является поверхностный приток, который для среднего по водности года оценивается в 90 км³, с учетом повторного влагооборота для водохранилищ, эксплуатируемых в каскаде (Токтогульское — Кайраккумское — Чардаринское) (табл. 11.4).

Поверхностный приток составляет 95 % суммы приходных статей водного баланса, и точность его учета в основном определяет точность расчета водных балансов.

Осадки не оказывают сколько-нибудь существенного влияния на влагооборот водохранилищ, и их значения укладываются в точность оценки глав-

Таблица 11.4

Водный баланс водохранилищ Средней Азии, млн м³

Водохранилище	Период, годы	Приток	Осадки	Сумма	Отток	Испарение	Сумма	Изменение запасов воды	Невязка	
									абсолютная	%
Тюямуюнское	1980—1985	38 600	60	38 660	34 220	700	34 920	3 200	480	1
Нурекское	1980—1985	20 500	60	20 560	20 200	95	20 295	350	—8,5	0
Южно-Сурханское	1965—1985	2 395	11	2 406	2 371	53	2 424	2	—20	1
Учкызылское	1973—1985	113	1	114	106	3	109	3	2	2
Чимкуртанское	1964—1985	729	8	737	750	25	775	—8	—30	4
Пачкамарское	1968—1985	135	2	137	137	4	141	—7	3	2
Каттакуртанское	1968—1985	951	18	969	846	42	888	37	44	5
Куюмазарское	1966—1985	382	2	384	356	17	373	10	1	0
Кайраккумское	1959—1985	15 542	60	15 602	15 257	445	15 702	—27	—73	1
Чардаринское	1968—1985	15 272	160	15 432	14 904	544	15 348	—8	92	1
Токтогульское	1977—1985	10 900	52	10 952	10 400	169	10 569	521	—138	1
Андижанское	1980—1985	2 700	10	2 710	2 710	20	2 730	—150	130	5
Уртатокайское	1966—1985	253	1	252	249	2	251	—2	3	1
Туябугузское	1967—1985	865	4	861	862	11	873	—15	3	0
Чарвакское	1979—1985	5 914	17	5 897	5 874	30	5 844	—67	120	2
Ахангаранское	1976—1985	590	2	592	604	3	607	—6	—9	2
Джизакское	1972—1985	61	3	64	60	5	65	—1	0	0
Ортотокойское	1967—1985	843	2	845	861		861	—12	—4	0
Кировское	1978—1985	773	4	777	806	6	812	—22	—13	2
Тедженское II	1965—1982	623	3	626	547	31	578	+25	+23	4
Сары-Языкское	1960—1985	1 650	8	1 658	1 550	55	1 605	+40	+13	1
Хауз-Ханское	1972—1985	2 650	31	2 681	2 380	268	2 648	+22	+11	0
Копетдагское	1979—1985	446	7	453	404	46	450	+10	—7	1

ного компонента водного баланса — поверхностного притока.

По данным наблюдений специализированной испарительной сети, испарение с поверхности водоемов на территории Средней Азии оценивается слоем 700—1800 мм [46].

Потери влаги на испарение с поверхности водохранилищ также не являются существенным компонентом водного баланса и оцениваются для среднего по водности года в $4,0 \text{ км}^3$, что составляет 5—7 % объема регулирования, т. е. в процессе регулирования безвозвратно теряется более 3 % объема годового стока рек Средней Азии.

Среднеазиатские водохранилища характеризуются очень высокой целенаправленностью в эксплуатации водных ресурсов с целью обеспечения орошаемого земледелия и осуществляют в основном сезонное регулирование стока. Показатель условного водообмена $K_2 > 2$ большинства русловых водохранилищ указывает на существенный водообмен водных масс. Для наливных водохранилищ в силу специфики их наполнения и эксплуатации показатель условного водообмена близок к единице ($K_2 \approx 1$). В этой связи влияние водохранилищ на сток среднеазиатских рек проявляется лишь во внутригодовом его перераспределении. Исключением являются Токтогульское и Пачкамаркское водохранилища, осуществляющие многолетнее регулирование стока.

Определить характер перерегулирования стока воды различными типами водохранилищ, оценить их влияние на изменение стока и эффективность использования их чаш можно, проанализировав режим эксплуатации ряда долинных русловых (Чимкурганского, Кайраккумского, Чарвакского) и котловинных наливных (Учкуйского, Каттакурганского, Куюмазарского и Джизакского) водохранилищ.

Объем чаши Кайраккумского водохранилища позволяет в средний по водности год осуществлять перерегулирование лишь 20 % годового объема стока р. Сырдарьи ($K_2 = 4,6$). Изъятие стока на наполнение водохранилища осуществляется в осенне-весенний период. При этом внутригодовое распределение притока повторяет внутригодовое распределение водозабора воды из водохранилища (рис. 11.1). Основной объем половодья проходит водохранилище транзитом, и лишь в период вегетационной сработки (июль — август) отток воды превышает ее приток за счет расходования водных запасов.

С пуском в эксплуатацию Токтогульского водохранилища эффективность эксплуатации чаши Кайраккумского водохранилища снизилась еще более резко, так как в многоводные годы основной объем половодья может быть аккумулирован в Токтогульском водохранилище, а в маловодные его водные запасы расходуются на народнохозяйственные нужды в покрытии водного дефицита.

Как показал анализ водных балансов водохранилища, с 1939 по 1985 г. объем перерегулирования в средний по водности год оценивается в 1400 млн м^3 , что составляет 63 % полезной емкости Кайраккумского водохранилища.

Эффективность использования водохранилища возрастает в экстремальные по водности годы. В многоводные годы водохранилище осуществляет

срезку пика половодья, а в маловодные его емкость срабатывается даже ниже отметки УМО.

В 1969 г. водоносность р. Сырдарьи была более чем в два раза выше нормы, при этом такое превышение наблюдалось практически весь год. Наряду с этим процессом особенно ярко проявилось аномальное распределение стока внутри года, развившееся в исключительно больших объемах стока в марте — апреле (284 и 232 % нормы), вызванных таянием снега в равнинных и предгорных зонах бассейна р. Сырдарьи [9]. Это означает, что

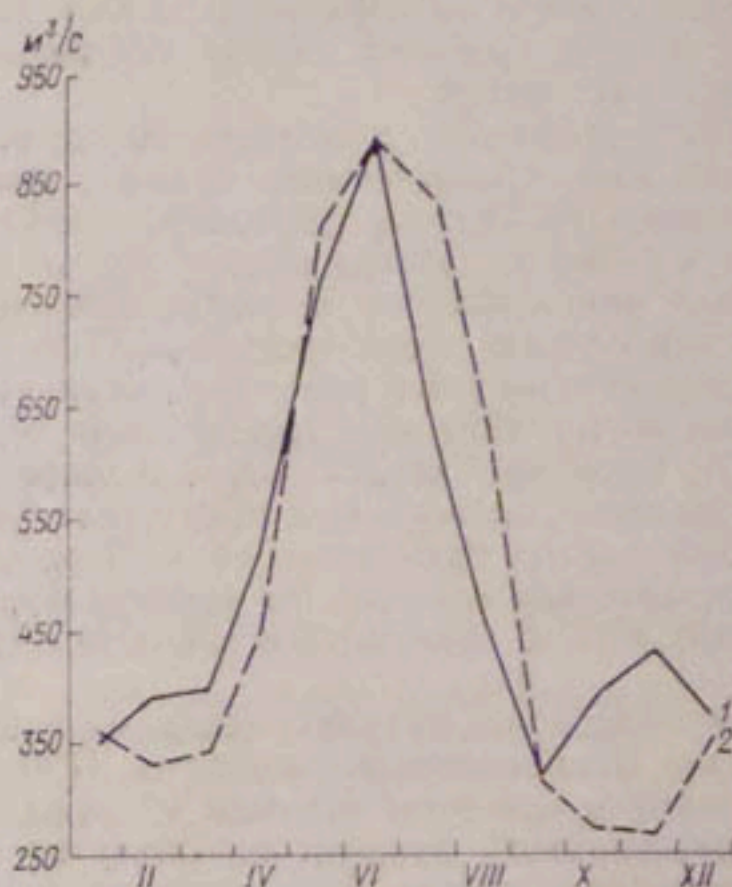


Рис. 11.1. Внутригодичное перераспределение стока Кайраккумского водохранилища.
1 — приток, 2 — отток.

к Кайраккумскому водохранилищу в марте — апреле притекло 4680 млн м^3 воды, что составило 120 % полного объема водохранилища.

Перерегулирование стока р. Сырдарьи в 1969 г. осуществлялось Кайраккумским и расположенным в 250 км ниже по течению р. Сырдарьи Чардаринским водохранилищами, куда равнинный паводок поступил в конце марта — начале апреля. Средние месячные расходы воды марта — апреля на гидрологическом посту Акджар (приток в Кайраккумское водохранилище) были на уровне максимальных средних месячных расходов воды нормального года, наблюдаемых обычно в июне, а средний месячный приток в Чардаринское водохранилище превышал их.

Оценивая объемы притока воды в водохранилища за вегетационный период, нужно отметить, что они превышали на 175—145 % годовые объемы притока в средние по водности годы.

Таким образом, ни Кайраккумское, ни Чардаринское водохранилища произвести сколько-нибудь существенное сезонное регулирование стока в 1969 г. не могли. Возникла другая не менее сложная задача — пропуск пика паводка с тем, чтобы в исключительно многоводном 1969 г. сохранить гидротехнические сооружения на р. Сырдарье и предотвратить от затопления расположенные ниже плотин народнохозяйственные объекты и сельскохозяйственные угодья как в весенний период в условиях ледостава в нижнем течении р. Сырдарьи, так и при прохождении пика половодья.

Планируемый режим работы Кайраккумского водохранилища с наибольшей за все годы его существования предпаводковой сработкой был определен именно на основании прогноза необычайно высокой водности и с учетом упоминавшегося выше положения о том, что произвести сезонное регулирование стока в 1969 г. невозможно. Поэтому планируемый режим эксплуатации обеспечил возможность срезки пика половодья в мае — июне.

Большие расходы воды на спаде половодья не позволили сработать водохранилище к концу года, в связи с чем в декабре наблюдалась дополнительная зимняя сработка вместо обычного осенне-зимнего наполнения.

Наиболее сложным в режиме водохранилища был конец мая — начало июня. К концу мая в водохранилище оставалась резервная емкость в 800 млн м³. Объем притока воды в первую декаду июня был максимальным и достиг 2700 млн м³, т. е. за одну декаду июня поступило 17 % среднего годового объема стока реки. Максимальный расход воды достиг 4200 м³/с при среднем декадном 3120 м³/с. Если бы Кайраккумское водохранилище было наполнено полностью и пропустило бы максимальный расход транзитом, то к Чардаринскому водохранилищу подошел бы максимальный расход в 600 м³/с и дополнительный объем стока в 2,7 км³.

Таким образом, Кайраккумское водохранилище, срезав максимальный расход на 1720 м³/с и аккумулировав при этом 624 млн м³ воды, позволило предотвратить разрушение объектов народного хозяйства в районе Чардаринского гидроузла и в нижнем течении р. Сырдарьи от катастрофического половодья.

Весьма эффективно эксплуатировалось водохранилище в маловодные годы, когда аккумулированный осенне-зимний сток составлял более 50 % стока р. Сырдарьи за вегетационный период.

В маловодном 1974 г. в водохранилище в осенне-зимний период было аккумулировано 2030 млн м³ воды, что позволило дать дополнительно на орошение 55 % стока р. Сырдарьи за вегетационный период. Маловодье повторилось и в 1975 г. При этом с сентября по апрель в водохранилище было накоплено 3320 млн м³ воды, что составило 40 % объема годового стока р. Сырдарьи в 1975 г. и позволило существенно повысить гарантированный объем поливной воды в вегетационный период.

Приведенные примеры наглядно иллюстрируют эффективность эксплуатации водохранилища в экстремальные по водности годы, однако в нормальные годы его роль резко снижается.

Более эффективно эксплуатируется Чимкуртанское водохранилище ($K=2$). Основной объем половодья р. Кашкадарьи приходится на период март — май и не совпадает с периодом вегетационных поливов (рис. 11.2).

Летняя вегетационная сработка водохранилища осуществляется в июле — августе, когда в бассейне р. Кашкадарьи наблюдается глубокая межень. Для среднего года объем перерегулирования оценивается в 320 млн м³, что составляет 77 % полезного объема водохранилища и 86 % объема стока р. Кашкадарьи в вегетационный период.

В многоводные годы объем регулирования составляет 425—435 млн м³, или 96—99 % полного объема водохранилища. При этом оно наполнено

уже в марте и до июля в его режиме наблюдается неустойчивое высокое стояние уровня воды. Сработка непродолжительна и незначительна. При этом за июль — август из водохранилища забирается лишь 60 % полезного объема. В многоводном 1969 г. сработка водохранилища составила 8,8 м при средней многолетней 19,6 м.

В маловодные годы объем регулирования неустойчив. В связи с малым объемом стока по

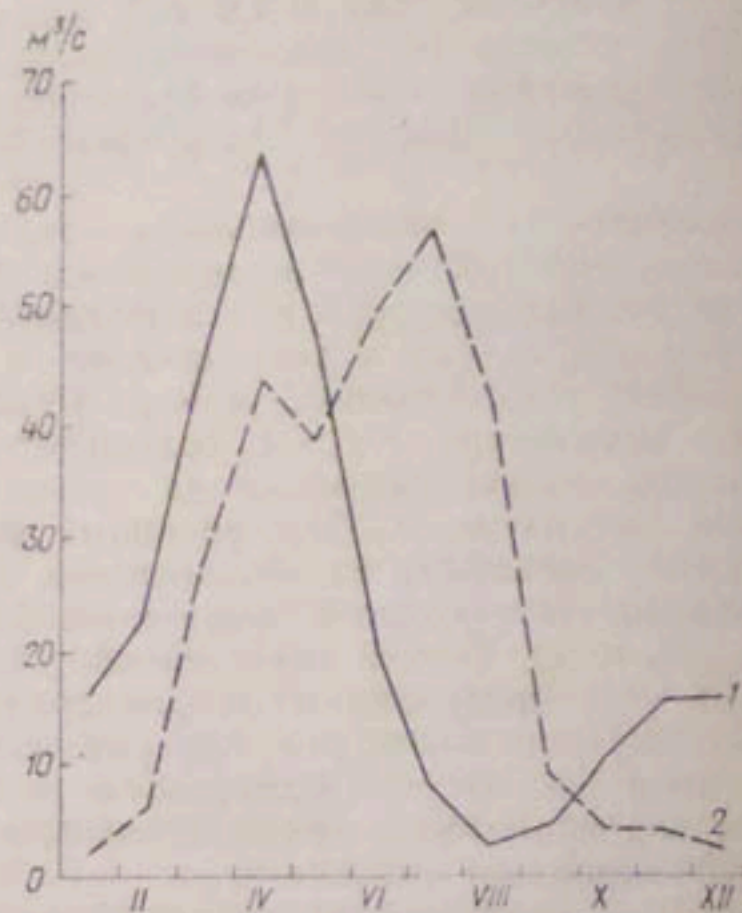


Рис. 11.2. Внутригодовое перераспределение стока. Чимкуртанское водохранилище.
1 — приток, 2 — отток.

р. Кашкадарье водохранилище наполняется в осенне-зимний период лишь на 38—40 % полного объема.

Весенний сток реки не аккумулируется в водохранилище, а использование его скудных водных запасов начинается практически с апреля, т. е. с момента окончания половодья. Сработка водохранилища растягивается вплоть до сентября.

Внутригодовое перераспределение стока р. Чирчик осуществляется Чарвакским водохранилищем комплексного назначения. В зимний период существенное влияние на режим эксплуатации водохранилища оказывает энергетика, в связи с чем сток рек Чаткал, Пскем, Коксу проходит водохранилище транзитом, с декабря по март наблюдается забор воды из водохранилища. Основное наполнение водохранилища осуществляется в весенне-летний период (апрель — июнь), когда на реках проходит основная фаза половодья (рис. 11.3).

Полный объем водохранилища составляет 27 % среднего многолетнего стока р. Чирчик в створе плотины, а без учета мертвого объема объем аккумуляции для среднего по водности года оценивается в 900 млн м³, или в 15 % годового притока. Следовательно значительная часть стока трансформируется водохранилищем в его нижний бьеф. Основное перерегулирование стока осуществляется между маем — июнем и июлем — августом.

В многоводные и средние по водности годы водохранилище наполняется до НПУ и эксплуатируется в нормальном режиме с учетом нужд оро-

шаемого земледелия, энергетики и промышленности.

В маловодные годы из-за нехватки воды объем наполнения водохранилища значительно ниже НПУ и основной объем стока проходит водохранилище транзитом, как это наблюдалось в 1982 г.

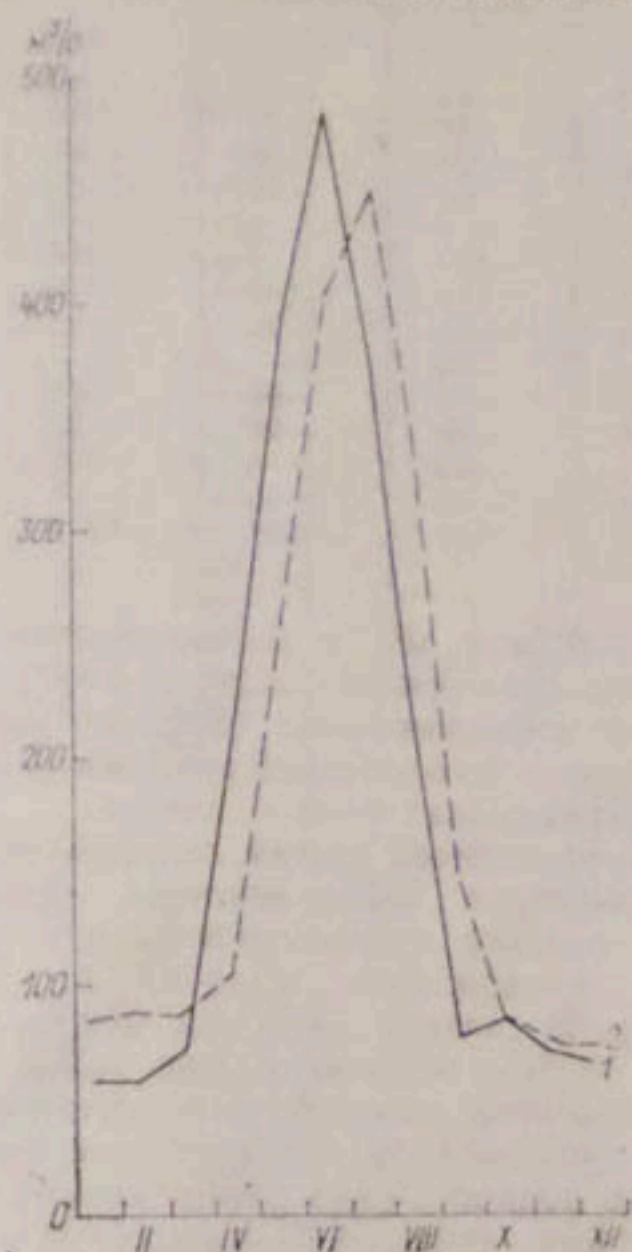


Рис. 11.3. Внутригодичное перераспределение стока. Чарвакское водохранилище.
1 — приток, 2 — отток.

Наполнение водохранилища в 1982 г. отмечалось лишь в мае. При этом наибольший объем воды, накопленный в водохранилище, составил 950 млн m^3 , или 48 % полного объема, и приходился на 2/1, так как практически с июня 1981 г. и по сентябрь 1982 г. осуществлялась его сработка.

Общее падение уровня воды водохранилища составило 70 м, и оно было сработано ниже отметки УМО. Объем опорожнения составил 85 % общего объема водохранилища. В условиях полной глубокой сработки наполнение водохранилища в 1983 г. также составило менее 50 % его полного объема.

Наливные водохранилища имеют принципиально отличный от русловых водохранилищ режим перерегулирования стока, так как забор воды из рек осуществляется в периоды, когда потребность в водных ресурсах минимальная, т. е. аккумулируются лишь излишки стока. Основное наполнение водохранилищ наблюдается в осенне-зимний период, а в вегетационный период приток воды в водохранилище сокращается практически до нуля (рис. 11.4, 11.5), в то время как в русловых наблюдается транзит стока и его наложение на срабатываемые объемы.

Режим эксплуатации наливного Каттакурганского водохранилища характеризуется интенсив-

ным осенним наполнением (сентябрь — декабрь) и еще более интенсивным опорожнением (июнь — август). Водохранилище практически ежегодно не

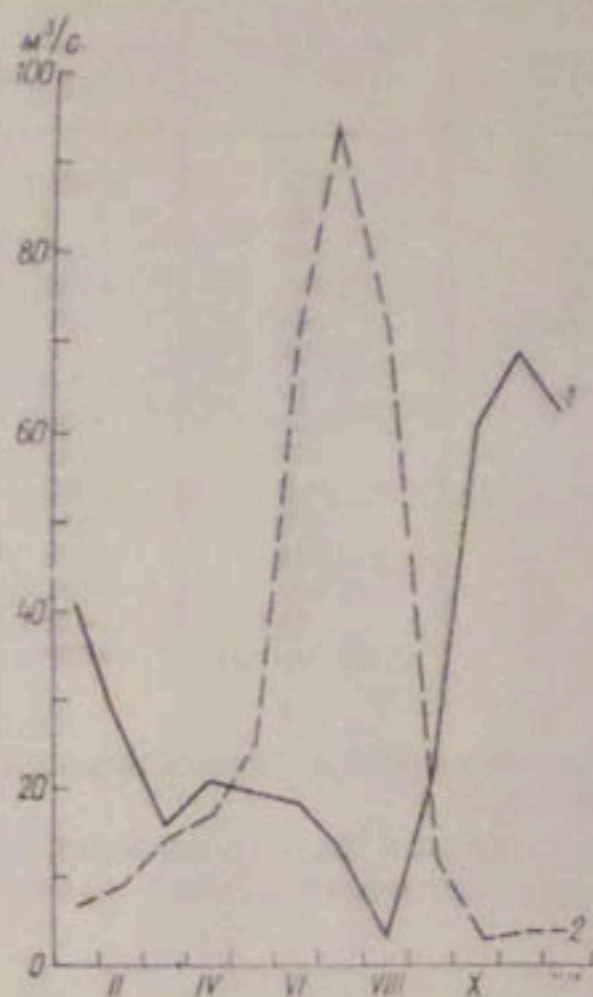


Рис. 11.4. Внутригодичное перераспределение стока. Каттакурганское водохранилище.
1 — приток, 2 — отток.

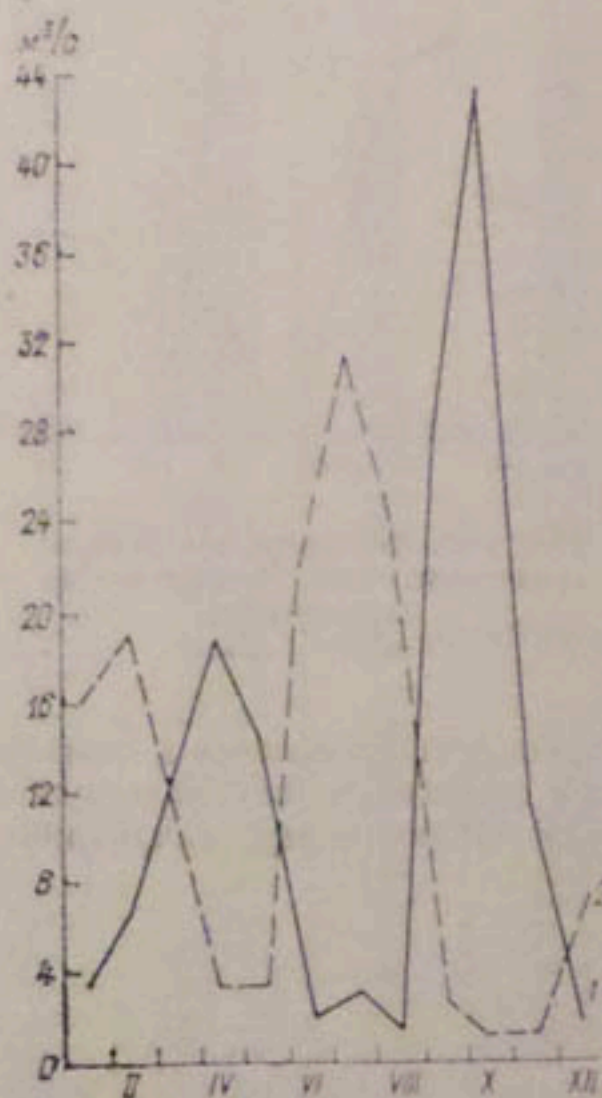


Рис. 11.5. Внутригодичное перераспределение стока. Куюмазарское водохранилище.
1 — приток, 2 — отток.

наполняется до НПУ, и средний объем его наполнения составляет 760 млн m^3 , или 90 % полной емкости. Объем перерегулирования стока для среднего по водности года составляет 580 млн m^3 , или 70 % полезной емкости. В этой связи не

Дефицит наполнения водохранилищ, млн м³

Водохранилище	Полезный объем, млн м ³	Год							Средний
		1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	
Южно-Сурханское	641	-21	-3	-161	-1	-1	-6	-260	-65
Учкызылское	160	0	-3	-9	0	-12	-12	-56	-13
Чимкуртанское	440	-6	0	-135	-10	-90	-81	-100	-61
Пачкамарское	243	-139	-103	-153	-163	-158	-148	-208	-153
Каттакурганское	845	-30	0	-40	-42	0	-20	-140	-39
Куюмазарские	306	0	0	0	-6	6	0	-6	-1
Кайраккумское	3 510	0	-14	-14	-114	-934	0	-464	-220
Андижанское	1 750	-50	150	-300	-450	-10	-500	-1 025	-312
Уртатокайское	160	-64	-60	-115	-78	-65	-75	-94	-79
Каркидонское	218	-16	-28	-78	-138	-80	-	-	-68
Ахангаранское	399	-144	-120	-120	-95	-70	-60	-58	-95
Тяубугузское	204	-22	-19	-50	-25	-20	-25	-37	-28
Чарвакское	1 991	-101	-2	-1 026	-1 911	-506	-4	-806	-622
Джизакское	73,5	-14	-16	-53	-32	-40	-16	-58	-32
Сумма	10 940	-607	-218	-2 254	-3 065	-1 979	-947	-3 312	-1 808

понятно для чего производилось наращивание плотины в 1966—1967 г.

На Куюмазарском водохранилище, для которого характерна частичная зимняя сработка, основ-

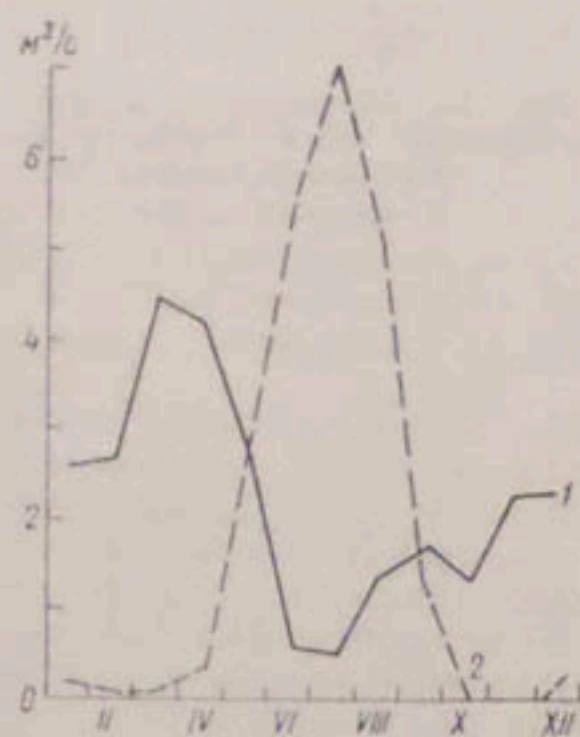


Рис. 11.6. Внутригодовое перераспределение стока. Джизакское водохранилище.
1 — приход, 2 — расход.

ное наполнение осуществляется в сентябре — ноябре. При этом водохранилище наполняется практически до НПУ. Объем перерегулирования стока со-

ставляет 250 млн м³, а использование полезной емкости водохранилища близко к 100 %. В весенний период водохранилище вторично наполняется до НПУ, после чего следует глубокая летняя сработка, охватывающая июнь — август.

Несколько отличен режим эксплуатации наливного Джизакского водохранилища, основное наполнение которого осуществляется в весенний период при прохождении паводка на р. Санзар (рис. 11.6). В связи с глубокой меженью в осенне-зимний период водохранилище наполнено лишь на 25 % полезной емкости, а в весенний из реки изымается еще до 40 %. Следует отметить, что для среднего по водности года объем аккумуляции вод составляет лишь 54 % полезного объема водохранилища.

Подводя итог выше сказанному, следует отметить, что для лет средней водности показатель эффективности эксплуатации среднеазиатских водохранилищ, или отношение объема аккумуляции стока к полезному объему водохранилища ($K_{эф} = W_{аккумуляция} / W_{полезная}$), весьма невелик и составляет для: Кайраккумского — 70 %, Учкуртанского — 76 %, Чарвакского — 57 %, Уртатокайского — 57 %, Каттакурганского — 70 %, Куюмазарского — 100 %, Учкызылского — 75 %, Джизакского — 54 % (табл. 11.5).

Для среднего по водности года только в рассматриваемых водохранилищах не доиспользуется общий полезный объем в 1,75 км³, или такое водохранилище, как Андижанское.

Опорные координаты кривых зависимостей площади водной поверхности и объема водохранилища от уровня воды в нем

Отметка, м	Площадь, км ²	Объем, млн м ³	Отметка, м	Площадь, км ²	Объем, млн м ³	Отметка, м	Площадь, км ²	Объем, млн м ³	Отметка, м	Площадь, км ²	Объем, млн м ³
вдхр Туямунское, 1986 г.			1 205	0,612	0,942	480	23,00	168,693	338	166,3	743,1
112	0,00	0,00	1 206	0,791	1,644	482	27,988	219,681	340	236,5	1 145,3
113	0,00	175	1 207	0,979	2,53	484	32,656	280,271	342	308,5	1 690,4
114	3,08	206	1 208	1,14	3,59	486	37,506	350,091	344	378,4	2 367,7
115	18,5	242	1 209	1,21	4,76	488	44,256	431,428	346	509,4	3 245,6
116	32,2	290	1 210	1,33	6,03	488,2	45,087	440,362	346,56	510,2	3 505,1
117	46,0	327	1 211	1,42	7,41	вдхр Пачкамарское, 1976 г.			вдхр Чардаринское, 1977 г.		
118	60,0	383	1 212	1,56	8,90	615	0	0	230	0	0
119	74,0	457	1 213	1,69	10,52	620	0,12	0	232	0,9	0,6
120	87,0	543	1 214	1,85	12,23	625	0,191	0,778	234	3,475	4,975
121	114,0	662	1 215	2,02	14,23	630	0,683	2,964	236	9,325	17,775
122	140,0	780	1 216	2,16	16,32	635	1,175	7,609	238	39,750	66,850
123	217,0	921	1 217	2,28	18,54	640	2,263	16,206	240	87,925	194,525
124	247,0	1 096	1 218	2,42	20,89	645	2,743	28,721	242	200,475	482,925
125	275,0	1 323	1 219	2,55	23,37	650	3,84	45,185	244	286,800	970,000
126	294,0	1 546	1 220	2,67	25,98	655	4,876	66,985	246	397,400	1 654,400
127	315,0	1 808	1 221,05	2,74	28,86	660	6,570	95,601	248	519,150	2 570,95
128	335,0	2 092	вдхр Сельбурское (проект)			665	7,974	131,961	250	661,530	3 751,63
129	353,0	2 411	566	0,24	0,23	670	9,942	176,751	252	783,420	5 196,58
130	373,0	2 772	567	0,41	0,55	675	11,781	231,058	вдхр Токтогульское (проект)		
вдхр Нурекское (проект)			568	0,65	1,076	680	13,851	295,140	720	0	0
857	69,610	5 963,20	569	0,86	1,818	вдхр Каттакурганское, 1983 г.			730	2	0,6
860	71,304	6 170,00	570	1,03	2,748	484,74	0	0	740	10	1,2
862	72,433	6 320,00	571	1,17	3,832	487	1,063	1,600	750	29	2,4
864	73,562	6 470,00	572	1,32	5,063	489	3,694	5,831	760	56	3,0
866	74,692	6 620,00	573	1,46	6,44	491	9,394	18,990	770	106	7,9
868	75,821	6 770,00	574	1,61	7,959	493	14,483	42,674	780	259	23,8
870	76,950	6 920,00	575	1,76	9,630	495	20,576	77,770	790	559	36,8
872	78,079	7 080,00	576	1,92	11,455	497	26,254	124,384	800	1 065	65,7
874	79,208	7 240,00	577	2,03	13,419	499	33,057	183,659	810	1 865	99,2
876	80,338	7 460,00	578	2,15	15,503	501	39,869	256,741	820	3 000	124,5
878	81,467	7 560,00	579	2,26	17,595	503	45,538	341,564	830	4 348	145,2
880	82,596	7 720,00	580	2,37	19,889	505	54,536	441,937	840	5 917	168,8
882	83,725	7 888,00	581	2,47	22,287	507	61,465	557,421	850	7 715	190,9
884	84,855	8 056,00	вдхр Южно-Сурханское, 1971 г.			509	71,290	689,672	860	9 706	207,4
886	85,984	8 224,00	388	0	0	511	84,531	845,000	870	11 862	223,8
888	87,114	8 392,00	390	0	0	вдхр Куюмзарское, 1981 г.			880	14 188	241,6
890	88,243	8 560,00	392	0	0	206	1,873	0,618	890	16 716	254,2
892	89,372	8 741,30	394	1	25	208	2,910	5,424	900	19 456	284,3
894	90,501	8 921,90	396	4	32	210	3,778	12,005	вдхр Андижанское (проект)		
896	91,631	9 102,50	398	8	75	212	5,260	21,075	820	0,5	0,5
898	92,760	9 283,10	400	12	125	214	6,502	32,883	830	3,0	10
900	93,889	9 463,70	402	18	175	216	7,430	46,800	840	6,5	60
902	94,785	9 670,90	404	25	250	218	9,424	62,683	850	10,5	160
904	95,681	9 878,10	406	31	325	220	9,212	80,335	860	15,0	290
906	96,578	1 085,30	408	40	400	222	9,978	99,376	870	20,5	470
908	97,474	10 292,50	410	50	500	224	10,818	120,046	880	28,0	710
910	98,370	10 500,00	412	62	625	226	11,890	142,756	890	34,3	1 050
вдхр Головной ГЭС (проект)			413	65	650	228	12,915	167,613	900	49,5	1 500
480,00	0,981	6,23	414	72	725	230	13,600	194,238	905	55,2	1 750
480,50	1,424	7,32	вдхр Учкызылское, 1973 г.			232	14,282	222,112	вдхр Уртатокайское, 1980 г.		
481,00	2,000	8,40	285	0	0	234	14,992	251,407	1 074	0,021	0
481,50	2,405	9,72	290	0,3	5	236	15,552	281,892	1 076	0,042	0,053
482,00	3,292	11,05	295	0,8	15	237,5	16,257	305,761	1 078	0,120	0,187
482,50	4,494	12,58	300	2,3	0,51	238	16,492	313,873	1 080	0,364	0,682
483,00	5,064	14,16	305	2,3	45	вдхр Кайраккумское, 1983 г.			1 082	0,537	1,580
483,50	5,379	15,82	310	3,4	65	320	0	0	1 084	0,724	2,849
484,00	5,697	17,57	315	4,7	95	326	2,4	9,5	1 086	0,853	4,425
484,50	6,140	19,46	320	7,2	145	328	6,3	16,4	1 088	0,983	6,263
485,00	6,583	21,62	324	10	200	330	21,1	43,3	1 090	1,101	8,318
вдхр Муминабадское (проект)			вдхр Чимкурганское, 1980 г.			332	38,2	97,1			
1 199	0,18	0,014	468	3,862	1,210	334	88,7	224,3			
1 200	0,25	0,036	470	7,881	13,097	336	134,0	449,4			
1 201	0,33	0,065	472	10,906	31,947						
1 202	0,42	0,103	474	13,462	56,180						
1 203	0,72	0,160	476	16,75	86,482						
1 204	0,441	0,416	478	19,40	126,293						

Отметка, м	Площадь, км²	Объем, млн м³	Отметка, м	Площадь, км²	Объем, млн м³
1 092	1,388	10,818	вдхр Чарвакское, 1985 г.		
1 094	1,600	13,795			
1 096	1,874	17,260	790	2,15	20,3
1 098	2,193	21,336	800	4,78	55,2
1 100	2,448	25,980	810	7,16	113,6
1 102	2,679	31,006	820	11,01	204,3
1 104	2,967	36,743	830	16,09	334,9
1 106	3,237	42,933	840	18,99	505,0
1 108	3,586	49,759	850	23,18	716,0
1 110	3,908	57,258	860	27,18	967,7
1 112	4,186	65,344	870	31,34	1 259,0
1 114	4,507	73,977	880	37,00	1 602,7
1 116	5,179	83,720	890	40,29	1 991,1
1 118	5,489	94,358			
1 120	5,967	105,818			
1 122	6,405	118,196			
1 124	6,793	131,398	вдхр Джизакское, 1971 г.		
1 126	7,146	145,325	352	0	0
1 128	7,564	159,997	353	0,13	0,20

вдхр Каттасайское (проект)

1 125	0,085	0,270
1 130	0,177	0,925
1 135	0,318	2,164
1 140	0,491	4,190
1 145	0,691	7,146
1 150	0,945	11,239
1 155	1,249	16,723
1 160	1,604	23,855
1 165	2,001	30,000
1 170	2,483	44,077
1 175	3,014	57,819
1 180	3,730	74,679

вдхр Ахангаранское, 1984 г.

989,6	0	0
990	0,029	0,008
1 000	0,668	3,890
1 010	1,149	13,095
1 020	1,720	27,466
1 030	2,154	46,920
1 040	2,701	71,028
1 050	3,771	103,234
1 060	4,500	144,580
1 070	5,515	194,648
1 080	6,400	254,136
1 090	7,200	322,136
1 100	8,100	398,636

вдхр Туябугузское, 1984 г.

363,09	0	0
364	0,085	0,051
366	0,590	0,682
368	1,340	2,666
370	1,745	5,678
372	2,575	10,002
374	3,355	15,880
376	4,425	23,689
378	5,285	33,436
380	5,895	44,543
382	6,925	57,344
384	8,040	72,235
386	9,565	89,771
388	11,460	110,721
390	13,805	136,329
392	16,505	166,639
394	20,660	203,804

вдхр Бугуньское (проект)

245	0,40	0,600
246	0,80	1,200
247	2,00	2,600
248	3,60	6,200
249	5,10	12,500
250	11,00	19,000
251	15,30	32,000
252	20,40	50,800
253	25,30	72,800
254	30,20	100,400
255	35,20	135,500
256	40,40	173,500
257	45,60	215,300
258	51,70	263,800
259	59,60	319,500
260	64,80	382,000
261	69,60	446,500

вдхр Бадамское (проект)

635	0,06	0
640	0,175	0,5
645	0,45	2,5
650	0,93	6,3
655	1,58	11,5
660	2,26	22,0
665	3,75	35,5
670	4,42	56,0
675	5,58	80,5
680	6,75	111,5

Отметка, м	Площадь, км²	Объем, млн м³	Отметка, м	Площадь, км²	Объем, млн м³
			вдхр Ташуткульское (проект)		
			318,00	57,50	342,00
			320,00	61,40	468,00
			321,30	78,50	660,00
497	0	0	вдхр Иолотанское, 1979 г.		
498	0,2	2,0			
500	5,0	5,0	279,07	0	0
502	8,5	20,0	283,00	1,180	4,090
504	12,2	44,0	284,00	4,560	8,835
506	16,7	69,0	285,00	7,400	14,905
508	23,0	108,0	286,00	12,330	22,160
510	28,8	152,0	286,22	13,150	24,000
512	36,2	234,0			
514	48,4	312,0			
516	56,8	416,0			
518	70,4	544,0	вдхр Хауз-Ханское, 1962 г.		
520	84,6	696,0	202,00	0,01	0,01

вдхр Ортотокойское (проект)

1 730	3,7	17,0
1 735	6,5	41,0
1 740	10,0	84,0
1 745	14,5	144,0
1 750	18,0	225,0
1 755	20,5	320,0
1 760	23,0	440,0
1 762	24,0	470,0

вдхр Кировское (проект)

825	0	0
830	0,38	0,937
835	0,93	4,197
840	1,39	9,994
845	2,67	20,164
850	3,91	36,634
855	5,68	60,614
860	8,44	95,904
865	11,46	145,664
870	14,01	210,854
875	18,25	293,004
880	22,01	393,644
885	25,54	512,524
890	29,55	650,254
895	33,36	807,534
900	36,94	983,274

вдхр Тедженское II, 1982 г.

212,5	0,006	0,003
213	0,50	0,25
214	3,01	2,00
215	7,51	7,26
216	10,60	16,0
217	13,50	27,8
218	17,60	43,3
219	25,10	64,6
220	33,40	93,9
221	42,00	132,0

вдхр Сары-Языское, 1983 г.

302,00	0,40	1,70
304,00	2,00	3,40
306,00	5,00	10,00
308,00	13,20	29,40
310,00	16,20	59,00
312,00	20,80	95,70
314,00	35,00	148,00
316,00	50,00	234,00

вдхр Копетдагское, 1973

130,00	1,75	0
132,00	6,40	11,40
134,00	11,00	22,90
136,00	16,10	48,30
138,00	21,60	87,60
140,00	27,00	127,00
142,00	31,00	189,60
144,00	35,00	252,30
146,00	38,50	325,90
148,00	42,30	410,40
150,00	45,80	495,00
152,00	49,00	596,70

вдхр Куртаинское, 1964

179,00	0,034	
180,00	0,191	0,113
181,00	0,396	0,408
182,00	0,644	0,936
183,00	0,957	1,747
184,00	1,304	2,877
185,00	1,743	4,401
186,00	2,372	6,458
187,00	3,015	9,152
188,00	3,954	12,637
189,00	4,928	17,078
190,00	6,111	22,597
191,00	8,185	29,745
192,00	8,867	38,771
193,00	11,332	49,370
194,00	12,949	61,511
195,00	14,657	75,314

вдхр Хор-Хор, 1981

296,00	0,00	0,00
297,00	0,10	0,61
298,00	0,33	2,39
299,00	0,81	5,23
300,00	1,47	8,43
301,00	1,87	13,11
302,00	3,44	18,00

Средние месячные уровни воды, см

Уровень	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средние за год
---------	---	----	-----	----	---	----	-----	------	----	---	----	-----	----------------

вдхр Туямуюнское — плотина. Отметка нуля поста 111,3 м БС. 1982—1985 гг.

Средний	1 595	1 546	1 299	1 154	1 119	1 147	1 016	1 967	1 185	1 507	1 633	1 671	1 320
Наибольший	1 892	1 775	1 709	1 651	1 737	1 743	1 664	1 495	1 836	1 901	1 902	1 893	
Наименьший	192	187	224	340	307	421	372	380	232	126	210	229	

вдхр Нурекское — пост Приплотинный. Отметка нуля поста 800,00 м БС. 1983—1985 гг.

Средний	8 455	7 594	6 658	6 457	6 806	7 679	8 722	10 241	10 856	10 747	10 383	9 870	8 705
---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	-------	-------

вдхр Головной ГЭС — плотина. Отметка нуля поста 484,000 м БС. 1965—1985 гг.

Средний	69	60	63	53	56	47	16	29	66	66	66	65	55
Наибольший	95	92	81	78	83	99	90	93	91	88	82	91	
Наименьший	46	36	41	6	6	1	4	9	0	33	38	26	

вдхр Южно-Сурханское — плотина. Отметка нуля поста 390,00 м БС. 1965—1985 гг.

Средний	1 300	1 625	1 760	1 749	2 047	2 215	1 958	1 263	790	762	835	1 036	1 364
Наибольший	2 044	2 101	2 206	2 305	2 417	2 473	2 406	2 100	1 438	1 378	1 527	1 649	
Наименьший	830	539	758	691	970	1 551	1 516	700	420	412	520	414	

вдхр Чимкурганское — плотина. Отметка нуля поста 460,00 м БС. 1963—1985 гг.

Средний	1 762	1 985	2 197	2 362	2 512	2 427	2 017	1 193	688	847	1 218	1 518	1 727
Наибольший	2 331	2 579	2 613	2 712	2 789	2 729	2 663	2 307	1 919	2 096	2 169	2 177	
Наименьший	1 466	1 692	1 695	1 501	1 940	1 855	1 322	667	360	527	914	1 211	

вдхр Пачкамарское — плотина. Отметка нуля поста 619,18 м БС. 1968—1985 гг.

Средний	2 355	2 602	2 565	3 465	3 819	3 707	3 184	2 069	1 513	1 821	1 856	2 199	2 595
Наибольший	4 872	4 982	5 122	5 122	5 196	5 400	5 157	4 830	4 387	4 210	4 725	4 788	
Наименьший	1 346	1 552	1 754	2 046	2 160	2 150	2 150	1 754	1 157	1 082	1 082	853	979

вдхр Каттакурганское — пгт Каттакурганское водохранилище. Отметка нуля поста 488,47 м БС. 1968—1985 гг.

Средний	1 916	2 009	2 040	2 027	2 030	1 891	1 435	857	568	1 004	1 442	1 745	1 587
Наибольший	2 331	2 579	2 613	2 712	2 772	2 729	2 663	2 307	1 919	2 095	2 169	2 177	
Наименьший	1 466	1 692	1 695	1 501	1 940	1 761	1 296	387	294	297	914	1 211	

вдхр Куюмазарское — пгт Куюмазар. Отметка нуля поста 218,00 м БС. 1966—1985 гг.

Средний	1 691	1 465	1 348	1 485	1 745	1 687	1 230	628	611	1 387	1 860	1 880	1 418
Наибольший	1 926	1 931	1 921	1 935	1 957	1 926	1 950	1 674	1 443	1 769	1 941	1 940	
Наименьший	911	386	371	817	1 153	1 236	809	249	161	802	1 643	1 641	

вдхр Кайраккумское — г. Кайраккум. Отметка нуля поста 336,00 м БС. 1959—1985 гг.

Средний	786	810	857	892	897	850	729	499	421	516	689	779	726
Наибольший	1 035	1 056	1 053	1 055	1 055	1 056	1 057	1 045	1 033	1 021	1 034	1 037	
Наименьший	88	386	608	709	644	502	78	-322	-278	-104	140	208	

вдхр Чардаринское — г. Чардара. Отметка нуля поста 232,00 м БС. 1968—1985 гг.

Средний	1 644	1 751	1 869	1 916	1 816	1 709	1 547	1 247	1 227	1 330	1 454	1 549	1 584
Наибольший	1 951	1 940	1 998	2 027	2 001	1 981	1 950	1 872	1 814	1 788	1 855	1 893	
Наименьший	1 321	1 428	1 545	1 621	1 320	1 214	1 089	811	828	961	1 109	1 220	

вдхр Токтогульское — г. Токтогул. Отметка нуля поста 760,00 м БС. 1980—1985 гг.

Средний	9 530	9 318	9 301	9 296	8 101	9 409	9 563	9 020	8 972	9 086	9 172	9 224	9 269
Наибольший	11 156	11 076	10 970	10 904	11 171	11 355	11 589	11 346	11 208	11 179	11 205	11 229	
Наименьший	7 845	7 601	7 570	7 741	7 662	7 531	7 576	7 342	7 455	7 728	7 925	8 074	

вдхр Андижанское — плотина. Отметка нуля поста 870,00 м БС. 1980—1985 гг.

Средний	1 100	1 200	1 300	1 600	2 000	3 000	2 700	2 100	800	700	500	900	1 500
---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-----	-----	-----	-----	-------

Уровень	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Среднее за год
---------	---	----	-----	----	---	----	-----	------	----	---	----	-----	-------------------

вдхр Базар-Курганское — верхний бьеф. Отметка нуля поста 700,00 м БС. 1975—1985 гг.

Средний				1 522	1 939	2 011	1 644	1 033					
Наибольший							1 958						
Наименьший							1 554						

вдхр Папанское — верхний бьеф. Отметка нуля поста 1200,00 м БС. 1981—1985 гг.

Средний	3 004	3 368	3 715	3 591	3 110	2 825	2 592	2 238	1 685	1 818	2 338	2 829	1 228
---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

вдхр Найманское — верхний бьеф. Отметка нуля поста 1100,00 м БС. 1969—1985 гг.

Средний	8 953	9 139	9 305	9 387	9 197	8 923	8 794	8 640	8 067	8 150	8 528	8 805	1 188
Наибольший	9 968	9 545	9 674	9 528	9 581	9 552	9 344			9 023			
Наименьший	8 538	8 715	8 910	9 098	8 934	8 002	7 970	7 906		8 098			

вдхр Уртатокайское — с. Ала-Бука. Отметка нуля поста 1073,45 м БС. 1966—1985 гг.

Средний	2 632	2 961	3 218	3 584	4 234	4 878	4 456	2 519	1 155	964	1 505	2 048	2 846
Наибольший	3 372	3 643	3 796	4 189	5 030	5 306	5 320	4 891	3 333	1 750	2 153	2 909	
Наименьший	1 657	2 107	2 382	2 729	2 817	3 148	2 434	706				1 110	

вдхр Токтогульское — верхний бьеф. Отметка нуля поста 1100,00 м БС. 1975—1986 гг.

Средний	4 054	4 196	4 286	4 214	3 979	3 548	3 390	3 391	3 359	3 472	3 676	3 864	1 138
Наибольший	4 379	4 536	4 608	4 630	4 187	3 869	3 605	3 568	3 591	3 664	3 971	4 181	
Наименьший	3 880	4 020	4 117	4 003	3 621	3 257	3 174	3 170	3 166	3 282	3 504	3 657	

вдхр Туябугузское — пгт Туябугуз. Отметка нуля поста 360,00 м БС. 1964—1985 гг.

Средний	2 282	2 467	2 710	3 049	3 275	3 321	3 107	2 402	1 884	1 782	1 952	2 164	2 533
Наибольший	3 157	3 237	3 237	3 274	3 308	3 400	3 397	3 376	3 188	2 834	2 262	3 025	
Наименьший	1 166	1 171	1 426	2 145	2 775	3 047	2 734	1 615	1 028	739	814	1 142	

вдхр Чарвакское — кишл. Юсулхона. Отметка нуля поста 800,00 м БС. 1979—1985 гг.

Средний	4 985	4 740	4 454	5 075	6 576	7 363	7 380	5 864	5 055	4 927	5 016	4 990	5 535
Наибольший	7 157	6 823	6 452	7 193	8 331	8 758	8 765	7 464	6 832	6 644	6 637	6 545	
Наименьший	2 291	2 298	2 330	2 857	3 960	5 050	3 650	1 921	1 560	1 887	2 318	2 332	

вдхр Бугуньское — саз. Бугунь. Отметка нуля поста 244,00 м БС. 1964—1984 гг.

Средний	1 154	1 311	1 443	1 501	1 480	1 306	1 126	715	566	702	826	1 000	1 099
Наибольший	1 372	1 522	1 577	1 589	1 584	1 573	1 379	1 225	1 050	953	1 036	1 215	
Наименьший	934	251	247	255	245	220	209	199	193	191	192	222	

вдхр Бадамское — с. Михайловка. Отметка нуля поста 630,00 м БС. 1977—1985 гг.

Средний	2 990	3 194	3 330	3 442	3 486	3 386	3 079	2 613	2 236	2 130	2 271	2 616	2 342
Наибольший	3 952	4 108	4 138	4 138	4 134	4 143	3 996	3 630	3 307	3 269	3 101	3 690	
Наименьший	165	166	149	139	139	139	139	139	139	142	147	171	

Уровень	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Среднее за год
---------	---	----	-----	----	---	----	-----	------	----	---	----	-----	-------------------

вдхр Ортотокойское — верхний бьеф. Отметка нуля поста 1700,00 м БС. 1960—1985 гг.

Средний	5 089	5 347	5 575	5 729	5 709	5 209	4 356	3 653	3 450	3 901	4 411	4 794	4 769
Наибольший	5 683	5 917	6 084	6 111	6 045	6 029	6 564	4 882	4 520	4 811	5 153	5 447	
Наименьший	4 589	4 849	5 211	5 243	5 271	3 968	3 036	2 732	2 730	2 992	3 830	4 273	

вдхр Ташуткульское — с. Ташуткуль. Отметка нуля поста 499,44 м БС. 1973—1984 гг.

Средний	1 411	1 404	1 421	1 523	1 518	1 405	1 206	921	744	817	1 178	1 496	1 243
Наибольший	1 846	1 734	1 717	1 828	1 824	1 703	1 521	1 233	1 058	1 256	1 618	1 833	
Наименьший	375	461	610	651	714	664	554	643	594	638	826	953	

вдхр Кировское — верхний бьеф. Отметка нуля поста 830,00 м БС. 1978—1985 гг.

Средний	4 187	4 448	4 720	4 711	4 419	3 310	3 331	2 395	1 382	1 497	2 774	3 489	2 829
Наибольший	5 562	5 216	5 426	5 362	5 008	4 559	4 720	4 333	3 674	3 471	4 056	4 582	
Наименьший	3 520	4 035	4 368	4 253	3 683	3 148	1 949	1 136	312	586	2 102	2 182	

вдхр Сары-Языское. Отметка нуля поста 303,40 м БС. 1960—1983 гг.

Средний	896	920	803	867	1 018	1 025	880	389	194	379	616	785	731
Наибольший	1 090	1 044	1 035	1 066	1 181	1 152	1 052	617	399	789	1 001	1 026	
Наименьший	508	675	373	564	941	927	665	186	93	86	154	195	

вдхр Тедженское II — пгт Тедженстрой II. Отметка нуля поста 209,00 м БС. 1962—1985 гг.

Средний	617	700	788	921	1 059	1 079	999	682	438	470	526	584	739
Наибольший	1 099	1 116	1 114	1 181	1 196	1 192	1 140	936	587	632	725	949	
Наименьший	152	268	208	241	524	349	287	прех.	прех.	прех.	прех.	прех.	

вдхр Хауз-Ханское. Отметка нуля поста 200,00 м БС. 1972—1985 гг.

Средний	1 218	1 209	1 136	1 125	1 210	1 211	1 040	705	665	921	1 086	1 182	1 059
Наибольший	1 246	1 244	1 201	1 215	1 245	1 240	1 133	850	818	1 017	1 176	1 238	
Наименьший	1 126	1 125	1 064	1 031	1 116	1 133	980	622	533	826	1 032	1 143	

вдхр Хор-Хор — пос. Хор-Хор. 1963—1985 гг.

Средний		602	680	747	755	749	652	512					660
Наибольший	828	793	870	891	900	900	821	674	491	354	399	652	
Наименьший	прех	прех	прех	прех	прех	прех	прех	прех	прех	прех	прех	прех	

вдхр Куртлинское — пос. Куртли. 1964—1985 гг.

Средний	556	578	600	602	604	582	530	453	453	431	468	495	521
Наибольший	679	643	640	642	638	647	641	636	639	634	633	628	
Наименьший	310	329	502	526	511	493	369	217	157	154	171	278	

вдхр Копетдагское — пос. Копетдаг. Отметка нуля поста 131,67 м БС. 1972—1985 гг.

Средний	941	1 078	1 127	1 110	1 101	1 084	983	763	510	473	632	818	885
Наибольший	1 237	1 780	1 362	1 346	1 303	1 195	993	829	620	606	761	999	
Наименьший	781	891	970	970	875	798	650	437	253	374	544	782	

Характерные уровни воды, см

Характеристика	Высший уровень за год		Низший уровень за год		Годовая амплитуда колебания уровня	
	уровень	дата	уровень	дата	см	год

вдхр Чимкурганское — плотина. Отметка нуля поста 460,00 м БС. 1963—1985 гг.

Уровень	средний	2564		599		1964	
	высший	2805	01.06.81	1859	13.09.69	2412	1972
	низший	2003	30.05.67	310	04.05.10.72	880	1969
Дата	средняя		18.05		22.09		
	ранняя		05.04.77		01.01.71		
	поздняя		21.06.69		15.10.85		

вдхр Каттакурганское — пгт Каттакурганское водохранилище. Отметка нуля поста 488,47 м БС. 1968—1985 гг.

Уровень	средний	2146		476		1704	
	высший	2253	04.05—0.4.06.81	1216	18—20.09.79	2122	1970
	низший	1746	19—24.03.75	28	28.08.75	1004	1979
Дата	средняя		29.04		12.09		
	ранняя		17.01.70		28.08.75		
	поздняя		09.06.69		07.10.69		

вдхр Куюмазарское — пгт Куюмазар. Отметка нуля поста 218,00 м БС. 1966—1985 гг.

Уровень	средний	1948		401		1536	
	высший	1988	02.05.84	1257	14.09.69	1835	1967
	низший	1869	29.05.70	120	20.09.67	722	1969
Дата	средняя		22.10		07.09		
	ранняя		10.11.71		28.08.68		
	поздняя		11.07.69		26.09.72		

вдхр Кайраккумское — г. Кайраккум. Отметка нуля поста 336,00 м БС. 1959—1985 гг.

Уровень	средний	1017		323		694	
	высший	1083	27.06.66	898	02.10.66	1410	1974
	низший	816	15.05.61	—400	17.20.08.77	205	1970
Дата	средняя		18.05		10.09		
	ранняя		16.01.83		17.08.07		
	поздняя		14.11.69		28.04.69		

вдхр Уртатокайское — с. Ала-Бука. Отметка нуля поста 1073,43 м БС. 1966—1985 гг.

Уровень	средний	4518				3860	
	высший	5455	08.07.68			5500	1979
	низший	3240	17.06.75			2690	1975
Дата	средняя		22.06				
	ранняя		06.06.74				
	поздняя		08.07.68.69				

вдхр Туябугузское — пгт Туябугуз. Отметка нуля поста 360,00 м БС. 1965—1985 гг.

Уровень	средний	3363		1417		1946	
	высший	3401	10.06.75	2582	02.10.79	2872	1980
	низший	3090	27.06.65	513	24.10—03.11.80	818	1979
Дата	средняя		25.05		01.10		
	ранняя		17.04.82		03.09.75		
	поздняя		17.04.82		05.01.75		

вдхр Чарвакское — киш. Юсупхона. Отметка нуля поста 800,00 м БС. 1978—1985 гг.

Уровень	средний	8084		3557		4527	
	высший	9050	08.07—11.07.85	5834	11.12.01.81	6136	1978
	низший	5918	03.07.83	1560	23.08—02.10.82	3207	1981
Дата	средняя		16.06		27.05		
	ранняя		02.01.82		01.01.84		
	поздняя		12.07.78.79		12.12.83		

вдхр Токтогульское — верхний бьеф. 1975—1985 гг.

Уровень	средний	1143,19		1132,54		1108	
	высший	1146,19	17.03.78	1134,05	19.09.76	1439	1978
	низший	1141,40	29.30.03.78	1131,57	01.09.85	983	1985
Дата	средняя		21.03		24.08		
	ранняя		01.03.80		09.07.81		
	поздняя		01.04.83		01.10.84		

Характеристика	Высший уровень за год		Низший уровень за год		Годовая амплитуда колебания уровня	
	уровень	дата	уровень	дата	см	год

вдхр Найманское — верхний бьеф. 1975—1985 гг.

Уровень	средний	1195,36		1178,64		1769
	высший	1197,02	02.03.04.83	1184,05	13.14.10.83	
	низший	1193,15	21.22.04.80	1176,60	24.10.80	
Дата	средняя		03.05		28.09	
	ранняя		28.04.83		08.09.78	
	поздняя		08.07.77		24.10.80	

вдхр Ортококойское — верхний бьеф. Отметка нуля поста 1700,00 м БС. 1959—1985 гг.

Уровень	средний	5869		3268		2832
	высший	6134	14. 15.04.82	4376	19.08.66	1971
	низший	5406	12.07.60	2486	08.10.11, 12.09.72	1960
Дата	средняя		10.05		05.09	
	ранняя		28.03.71		21.07.84	
	поздняя		12.07.60		14.10.61	

вдхр Кировское — верхний бьеф. Отметка нуля поста 830,00 м БС. 1976—1985 гг.

Уровень	средний	4782		1011		4349
	высший	5490	30.03.80	3391	09.10.80	1980
	низший	4261	27.03.77	208	17.09.84	1979
Дата	средняя		03.04		27.09	
	ранняя		15.03.82		15.09.77	
	поздняя		18.04.85		13.10.78	

вдхр Кировское — с. Кировское. Отметка нуля поста 830,00 м БС. 1980—1985 гг.

Уровень	средний	4745		727		4419
Дата	средняя		28.03		22.09	

вдхр Тедженское II — пгт Тедженстрой-2. Отметка нуля поста 209,00 м БС. 1981—1985 гг.

Уровень	средний	1103		377		751
	высший	1219	24.04.76	576	28. 29.09.72	1046
	низший	568	12.05.66	136	07.10—31.12.61	132
Дата	средняя		22.05 (95 %)		24.10 (94 %)	1966—67
	ранняя		27.02.71		24.08.70	1984—85
	поздняя		19.06. 68, 83		04.04.66	

вдхр Сары-Языское — пгт Сары-Язы. Отметка нуля поста 303,40 м БС. 1960—1983 гг.

Уровень	средний	1032		141		942
	высший	1110	1973 (39)	306	29.08—09.09.69	992
	низший	997	14. 15.05.59	18	20—22.08.77	816
Дата	средняя		23.05 (95 %)		05.09	1976—77
	ранняя		01.01.81		12.08.81, 83	1969—70
	поздняя		11.07.80		29.10.60	

вдхр Хауз-Ханское — пгт Хауз-Хан. Отметка нуля поста 200,00 м БС. 1972—1985 гг.

Уровень	средний	1242		539		748
	высший	1261	09—10.06.82	726	27. 28.08.75	830
	низший	1164	30. 31.12.72	428	30.08.84	631
Дата	средняя		16.04 (92 %)		31.08. (92 %)	1984—85
	ранняя		30.12.72, 73		22.08.71, 72	1971—72
	поздняя		10.06.82		07.09.79	

вдхр Хор-Хор — пос. Хор-Хор. 1963—1985 гг.

Уровень	средний	804 (95 %)		прсх. (95 %)		804 (95 %)
	высший	900	1979 (62)	399	13.10—30.11.69	900 (44 %)
	низший	прсх.	01.01—31.12.71	прсх.	1970—72 (632)	0
Дата	средняя		12. 13.03. 66		08.09 (90 %)	
	ранняя		02.05 (95 %)		18.06.70, 12.03.72	
	поздняя		19.02.70		05.11.67, 05.06.68	
			30.06.65			

Характеристика	Высший уровень за год		Низший уровень за год		Годовая амплитуда колебания уровня	
	уровень	дата	уровень	дата	см	год

вдхр Куртлинское — пос. Куртли. 1964—1985 гг.

Уровень	средний	635		367		293	
	высший	651	30.06—02.07.82	561	26.01—03.02.82	488	1963—64
			13.06.83				
Дата	низший	595	19—23.03.65	153	25.09.21—27.10.64	90	1982
	средняя		12.04		22.09 (82 %)		
	ранняя		13.01.71		17.08.83		
	поздняя		17.09.81		12.03.78		

вдхр Копетдагское — пос. Копетдаг. Отметка нуля поста 131,67 м БС. 1978—1985 гг.

Уровень	средний	1182		381		841	
	высший	1368	23.02—06.03.85	599	14—17.10.78	1037	1985
	низший	999	03.04.78	221	12—15.09.79	541	1979
Дата	средняя		12.08.83		12.09		
	ранняя		12.02.83		12.09		
	поздняя		18.05.81		17.10.78		

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 г. — М., 1986. — 93 с.
2. Абитаева М. Ф. Температура и влажность воздуха над водной поверхностью Кайраккумского водохранилища. — Труды САНИГМИ, 1978, вып. 59(40), с. 98—105.
3. Абитаева М. Ф. Метеорологический режим района Каттакурганского водохранилища. — Труды САНИИ, 1982, вып. 87(168), с. 41—48.
4. Авакян А. Б. Проблемы создания, комплексного использования и исследования водохранилищ. — Водные ресурсы, 1982, № 6, с. 74—92.
5. Авакян А. Б. Водохранилища и окружающая среда. — М.: Мысль, 1982. — 48 с.
6. Авакян А. Б., Яковлева В. Б. Проблемы рекреационного использования водохранилищ. — Водные ресурсы, 1973, с. 41—54.
7. Авакян А. Б., Салтанкин В. П., Шарпов В. А. Водохранилища. — М.: Мысль, 1987. — 325 с.
8. Аксарин Н. Н. Некоторые особенности гидрометеорологического режима в 1969 г. на территории Средней Азии. — Сб. работ ТГМО, 1971, вып. 4, с. 3—8.
9. Аксарин Н. Н., Рейзвих В. Н. О режиме работы водохранилищ в бассейне р. Сырдарьи в 1969 г. — Сб. работ ТГМО, 1971, вып. 4, с. 9—28.
10. Алёкин О. А. Основы гидрохимии. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — 444 с.
11. Алёкин О. А., Семенов А. Д., Скопни-цев Б. А. Руководство по химическому анализу вод суши. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — 270 с.
12. Алтуни С. Т. Заиление водохранилищ и размыв русла в нижнем бьефе плотин. — В кн.: Русловые процессы. М., Изд-во АН СССР, 1958, с. 249—286.
13. Алтуни С. Т. Строительство водозаборных узлов и водохранилищных плотин на Сырдарье и исследование русловых процессов. — Труды ТИИМСХ, 1960, вып. 10, с. 3—15.
14. Амиргалиев Н. А., Лопарева Т. Я. К вопросу формирования химического состава воды Чардаринского водохранилища на р. Сырдарье. — Материалы XXII гидрохимического совещания, 1968, вып. 1, с. 87—88.
15. Бабаев М. В. Некоторые результаты изучения режима подземных вод левобережья Кайраккумского водохранилища. Изв. АН ТаджССР, 1963, сер. 4, с. 60—70.
16. Балашова Е. Н. Климатическое описание республик Средней Азии. — Л.: Гидрометеиздат, 1960. — 244 с.
17. Баранов В. А., Быстров И. А. Солевые балансы как метод определения величины и направленности внутри-водоемных процессов. — Водные ресурсы, 1972, № 3, с. 190—207.
18. Баранов В. А., Быстров И. А. Метод расчета средней минерализации воды в водохранилищах. — Труды ВНИИ водоснабж., канализ., гидротехн. сооруж. и инжидрогеол., 1973, вып. 41, с. 18—26.
19. Бахтияров В. А. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. — Л.: Гидрометеиздат, 1961. — 432 с.
20. Безрукова Т. И. Гидрохимический режим Каттакурганского водохранилища. — Изв. АН УзССР, 1956, № 8, с. 29—40.
21. Белесков Б. И., Кожевникова М. С., Дзюбалтовская М. Л. — К вопросу о формуле САНИИРИ для определения расчетной высоты воды на водохранилищах Средней Азии. — Труды САНИИРИ, 1972, вып. 130, с. 167—180.
22. Богословский Б. Б. Озероведение. — М.: Изд-во МГУ, 1960. — 335 с.
23. Богословский Б. Б. Внешний водообмен и некоторые особенности водных масс пресных озер. — Труды Всесоюзного симпозиума по основным проблемам пресноводных озер. Вильнюс, 1970, т. 1, с. 237—258.
24. Богословский Б. Б. Водный баланс и термика озер и водохранилищ. — Л.: Изд. ЛПИ, 1979. — 71 с.
25. Богословский Б. Б., Кириллова В. А. Водные массы озер с различным водообменом. — В кн.: Вопросы современной лимнологии. — Л.: Наука, 1973, с. 102—113.
26. Бойко И. С. Полевые исследования вдоль береговых ветровых течений у приглубого берега на Кайраккумском водохранилище. — Труды ГГИ, 1962, вып. 98, с. 247—262.
27. Браславский А. П. Расчет ветровых волн. — Труды ГГИ, 1952, вып. 35(88), с. 23—31.
28. Браславский А. П. Расчет минерализации воды в водохранилищах. — Гидрохимические материалы, 1961, т. 32, с. 72—97.
29. Васильев Ю. С. Влияние плотин и водохранилищ на окружающую среду. — М., Наука, 1982. — 142 с.
30. Вендров С. Л. О масштабах преобразования природы крупными водохранилищами. — Изв. ВГО, 1959, т. 91, вып. 4, с. 341—348.
31. Вендров С. Л., Дьяконов К. Н. Водохранилища и окружающая природная среда. — М., Наука, 1976. — 133 с.
32. Верещагин Г. Ю. Методы морфометрической характеристики озер. — Труды Олонецкой науч. экспедиц., 1930, ч. II, вып. 1. — 114 с.
33. Видинеева Е. М. Элементы гидрохимического режима Каттакурганского водохранилища. — Тр. САНИГМИ, 1975, вып. 2(83), с. 30—37.
34. Видинеева Е. М. Солевой баланс Куюмазарского водохранилища. — Тр. САНИГМИ, 1975, вып. 2(83), с. 38—43.
35. Видинеева Е. М., Селиванова А. К. Влияние Кайраккумского водохранилища на гидрохимический режим р. Сырдарьи. — Сб. работ ТГМО, 1971, вып. 4, с. 185—195.
36. Викулина З. А. Водный баланс озер и водохранилищ земного шара. — Труды ГГИ, 1975, вып. 203, с. 248—262.
37. Викулина З. А. Водный баланс озер и водохранилищ Советского Союза. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 173 с.
38. Воронков П. П. Расчет минерализации воды искусственных водоемов. — Метеорология и гидрология, 1960, № 1, с. 37—40.
39. Воскресенский К. П., Соколов А. А., Шикломанов И. А. Ресурсы поверхностных вод СССР и их изменение под влиянием хозяйственной деятельности. — Водные ресурсы, 1973, № 2, с. 33—57.
40. Гвахария В. К. Испарение с водной поверхности водоемов Кавказа. — Тбилиси: Мецниереба, 1973. — 186 с.
41. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Волгоградское водохранилище. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 83 с.
42. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 290 с.
43. Горелкин Н. Е., Никитин А. М., Николаенко В. А. Гидрохимическая характеристика Чардаринского водохранилища. — Труды САНИГМИ, 1978, вып. 59(140), с. 74—79.
44. Горелкин Н. Е., Никитин А. М., Нурбаев Д. Д. Использование наблюдений за электропроводностью воды для подсчета нонного стока р. Сырдарьи. — Труды САНИГМИ, 1978, вып. 59(140), с. 74—79.
45. Горелкин Н. Е., Казаков А. М., Нурбаев Д. Д. Проникновение солнечной радиации в водные массы Чарвакского водохранилища. — Труды САНИГМИ, 1979, вып. 66(147), с. 47—52.

46. Горелкин Н. Е., Никитин А. М. Испарение с водоемов Средней Азии. — Труды САННИ, 1983, вып. 102(103), с. 3—32.
47. Гороховский В. А., Казиков А. М., Нурбаев Д. Д. Термический режим и тепловой баланс Чарвакского водохранилища. — Труды САРНИГМИ, 1979, вып. 66(147), с. 53—58.
48. Гроиская Т. П., Знаменский В. А., Москвина Н. Н. Некоторые закономерности зонального распределения составляющих водного баланса озер и водохранилищ земного шара. — Труды ГГИ, 1981, № 274, с. 3—9.
49. Железняков Г. В., Давилевич Б. Б. Точность гидрологических измерений и расчетов. — Л.: Гидрометеоиздат, 1966. — 270 с.
50. Зайков Б. Д. Очерки по озероведению. — Л.: Гидрометеоиздат, 1955. — 272 с.
51. Знаменский В. А. Гидрологические процессы и их роль в формировании качества воды. — Л.: Гидрометеоиздат, 1981. — 272 с.
52. Иванов П. В. Классификация озер мира по величине и средней глубине. — Бюллетень ЛГУ, 1949, № 21, с. 29—37.
53. Иванов Ю. Н. Изучение заиления Кайраккумского водохранилища. — Труды ГГИ, 1960, вып. 90, с. 123—149.
54. Иванов Ю. Н. Исследование грунтов Кайраккумского водохранилища. — Труды ГГИ, 1962, вып. 98, с. 182—202.
55. Иванов Ю. Н. Очерк развития гидрологических исследований в Узбекистане. — Труды САРНИГМИ, 1976, вып. 39(120), с. 3—14.
56. Иконников Л. Б. Формирование берегов водохранилища. — М.: Наука, 1972. — 96 с.
57. Инженерно-географические проблемы проектирования и эксплуатации крупных равнинных водохранилищ. — М.: Наука, 1972. — 238 с.
58. Ирригация Узбекистана, Т. III. — Ташкент: Фан, 1981. — 357 с.
59. Ирригация Узбекистана, Т. IV. — Ташкент: Фан, 1981. — 448 с.
60. Капкаев А. Х. Участие продуктов обрушения берегов в седиментационном балансе Кайраккумского водохранилища. — Труды САРНИГМИ, 1975, вып. 2(83), с. 58—64.
61. Капкаев А. Х. Термический режим и теплозапасы Кайраккумского водохранилища. — Сб. работ ТГМО, 1971, вып. 4, с. 173—184.
62. Карасев И. Ф. Точность гидрометрических данных и усовершенствование методов определения стока рек с неустойчивым руслом. — Труды ГГИ, 1971, вып. 185, с. 3—39.
63. Карасев И. Ф., Савельева А. В. Оценка элементов руслового баланса в среднем течении р. Амударьи. — Труды ГГИ, 1971, вып. 185, с. 87—114.
64. Караушев А. В. Сгонно-нагонные явления на водохранилищах и озерах. — Л.: Гидрометеоиздат, 1960. — 216 с.
65. Караушев А. В. Теория и методы расчета речных наносов. — Л.: Гидрометеоиздат, 1977. — 271 с.
66. Кашкаров Д. Н. Результаты экспедиции Главного Среднеазиатского музея в районе оз. Сарычелек. — Изв. Среднеазиатского комитета по делам музеев, 1927, ч. 1. — 126 с.
67. Келлер Г. Воды и водный баланс суши. — М.: Прогресс, 1965. — 435 с.
68. Кирста Б. Т. Минерализация воды, химический сток рек Туркменистана и методы их расчета. — Ашхабад: Ылым, 1975. — 171 с.
69. Кирилова Т. В. Радиационный режим озер и водохранилищ. — Л.: Гидрометеоиздат, 1970. — 253 с.
70. Кондратьев Н. Е. Расчеты береговых переформирований на водохранилищах. — Л.: Гидрометеоиздат, 1960. — 64 с.
71. Кривенков М. И., Тарасов М. Н. Прогнозирование минерализации и содержания главных ионов в воде водохранилищ. — Л.: Гидрометеоиздат, 1976. — 111 с.
72. Кулеш Н. П. Расчет заиления водохранилищ на реках, несущих большое количество взвешенных наносов. — В кн.: Заиление водохранилищ и борьба с ним. — М.: Колос, 1970, с. 53—62.
73. Лапшенков В. С. Некоторые результаты обработки данных по заилению и занесению подпорох бьефов гидроузлов, построенных на реках Узбекистана. — Вопросы гидротехники, 1961, вып. 2.
74. Лапшенков В. С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов. — Л.: Гидрометеоиздат, 1979. — 238 с.
75. Левченко В. М., Кадыров В., Сагадакова В. М. Гидрохимические исследования на Ортокаяском водохранилище. — Гидрохимические материалы, 1964, т. 38, с. 46—52.
76. Либерт А. А. Учет стока по каналам с устойчивым или малодеформирующимся руслом в условиях переменного подпора. — Труды САРНИГМИ, 1980, вып. 77(158), с. 38—48.
77. Либерт А. А. К вопросу о повышении точности расчетов водных балансов водохранилищ. — Труды САРНИГМИ, 1982, вып. 87(188), с. 3—16.
78. Либерт А. А. Влияние смыва отложений на распределение наносов по глубине водохранилищ Средней Азии. — Труды САРНИГМИ, 1985, вып. 102(183), с. 44—51.
79. Либерт А. А. Влияние осаждения наносов на форму чаш водохранилищ. — Труды САРНИГМИ, 1985, вып. 102(183), с. 51—58.
80. Лещинский Г. Т., Сапаров Г. О. Расчет влияния водной растительности на испарение с водоемов Туркмении. — Проблемы освоения пустынь, 1969, № 3, с. 37—42.
81. Лопарева Т. Я., Амиргалиев Н. А. Ионно-солевой состав и некоторые технические свойства воды Чардаринского водохранилища. — Труды КазНИИРХ, 1973, вып. 8, с. 37—42.
82. Матарзин В. М., Богословский Б. Б., Мацкевич И. К. Гидрологические процессы в водохранилищах. — Пермь: Изд. ПГУ, 1977. — 88 с.
83. Матарзин Ю. М., Богословский Б. Б., Мацкевич И. К. Специфика водохранилищ и их формирование. — Пермь: Изд. ПГУ, 1977. — 86 с.
84. Матарзин Ю. М., Богословский Б. Б., Мацкевич И. К. Формирование водохранилищ и их влияние на окружающую среду. — Пермь: Изд. ПГУ, 1981. — 67 с.
85. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. — Л.: Гидрометеоиздат, 1984. — 248 с.
86. Милькис Б. Е., Зайцев А. С. Сравнительная оценка гидрометеорологического метода расчета испарения с водной поверхности в условиях Средней Азии. — Труды САННИРИ, 1966, вып. 111, с. 13—37.
87. Молдаванов А. И. Динамика морфологической структуры водохранилищ и их заиление. — В кн.: Заиление водохранилищ и борьба с ним. — М.: Колос, 1970, с. 275—291.
88. Муравейский С. Д. Очерки по теории и методам морфометрии озер. — В кн.: Реки и озера. М., Географиз, 1960, с. 91—125.
89. Наблюдения на гидрометеорологической сети СССР. Определение понятий гидрометеорологических элементов и оценка точности наблюдений. — Л.: Гидрометеоиздат, 1970. — 90 с.
90. Надеждина Е. Д. Об уточнении методики расчета метеорологических характеристик над водоемом по данным береговых метеостанций. — Труды ГГО, 1970, вып. 271, с. 70—78.
91. Нежиховский Р. А. Гидрологические расчеты и прогнозы при эксплуатации водохранилищ. — Л.: Гидрометеоиздат, 1976. — 191 с.
92. Никитин А. М. Морфометрия и морфология озер Средней Азии. — Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 50(131), с. 4—21.
93. Никитин А. М. Водный баланс озер Средней Азии. — Труды САРНИГМИ, 1978, вып. 59(140), с. 3—13.
94. Никитин А. М. Минерализация и ионный состав озер Средней Азии. — Труды САРНИГМИ, 1978, вып. 59(140), с. 14—31.
95. Никитин А. М. Динамика водных ресурсов равнинных озер Средней Азии. — В кн.: Проблемы исследования крупных озер. — Л.: Наука, 1985, с. 299—303.
96. Никитин А. М. Водные ресурсы и водный баланс озер и водохранилищ Средней Азии. — М.: Гидрометеоиздат, 1986. — 95 с.
97. Никитин А. М. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Озера Средней Азии. — Л.: Гидрометеоиздат, 1987. — 106 с.
98. Никитин А. М., Николаенко В. А. Водно-солевой баланс Чарвакского водохранилища. — Труды САРНИГМИ, 1975, вып. 2(83), с. 44—57.
99. Никитин А. М., Лукина Н. К. Определение составляющих водного баланса Ташкентского водохранилища. — Сб. науч. трудов ТашГУ, 1976, № 523, с. 40—51.

100. Никитин А. М., Кудышкин В. А. Некоторые вопросы учета стока воды на Сырдарьинских гидроэлектростанциях. — Гидротехническое строительство, 1977, № 6, с. 42—45.
101. Никитин А. М., Горелкин Н. Е. К вопросу гидрометеорологического обоснования эксплуатации и охраны водных ресурсов озер и водохранилищ Средней Азии. — Труды САННИГМИ, 1979, вып. 66(147), с. 3—9.
102. Никитин А. М., Николаенко В. А. Химический состав и оценка качества вод водохранилищ Узбекистана. — В кн.: Тезисы докладов XXXVII Всесоюзного гидрохимического совещания, 1979, с. 65.
103. Никитин А. М., Фроликова Е. Я. Зависимость высоты ветровой волны от скорости ветра по натурным наблюдениям на среднеазиатских водохранилищах. — Труды САННИИРИ, 1959, вып. 99, с. 3—13.
104. Николаенко В. А. Гидрохимический режим Уч-Кумулякского водохранилища. — В кн.: Биологические основы рыбного хозяйства республик Средней Азии и Казахстана. — Алма-Ата, Наука, 1970, с. 300—302.
105. Николаенко В. А. Сравнительная характеристика химического состава некоторых водохранилищ Узбекистана. — Труды САННИГМИ, 1975, вып. 2(83), с. 3—16.
106. Николаенко В. А. Ирригационная оценка вод водохранилищ Узбекистана. — Труды САННИИРИ, 1975, вып. 146, с. 29—33.
107. Николаенко В. А. Формирование химического состава воды рек и водохранилищ бассейна Сурхандарьи. — Труды САННИГМИ, 1977, вып. 50(131), с. 55—59.
108. Николаенко В. А. Классификация вод водохранилищ Средней Азии по химическому составу и их оценка для ирригации. — Водные ресурсы, М., 1988, № 2, с. 115—121.
109. Николаенко В. А., Никитин А. М. Карбонатно-кальциевое равновесие вод Чарвакского водохранилища и питающих его рек. — Труды САННИГМИ, 1979, вып. 61(142), с. 61—69.
110. Николаенко В. А., Даниелова Л. Н., Никитин А. М. Антропогенное влияние на изменение химического состава вод бассейна Кашкадарьи. — Труды САННИГМИ, 1979, вып. 66(147), с. 10—16.
111. Нурбаев Д. Д. Солевой баланс Кайраккумского водохранилища. — Труды САННИГМИ, 1979, вып. 66(147), с. 41—46.
112. Орловский Н. С. К расчету испарения с водной поверхности в условиях Туркмении. — В кн.: Водохозяйственные исследования в Туркменистане. Ашхабад, Ылым, 1977, с. 163—168.
113. Оценка грунтовой составляющей притока в водном балансе Ташкентского водохранилища/Н. Е. Горелкин, А. М. Никитин, Л. С. Котова, Д. Д. Нурбаев. — Труды САННИИ, 1985, вып. 102(183), с. 25—31.
114. Павленко В. Л., Тарасов М. Н., Павленко И. М. Оценка точности результатов гидрохимических наблюдений. — Гидрохимические материалы, 1977, т. 65, с. 79—88.
115. Подлинский Ю. И., Широков В. М. Особенности гидрологического режима крупных водохранилищ Сибири. — В кн.: Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда, 1975, том 5, 36—52.
116. Прохоренко С. И. Особенности распределения температуры воды в Нурекском водохранилище. — Труды САННИГМИ, 1978, вып. 59(140), с. 42—47.
117. Рейзвих В. Н. К вопросу о режиме работы водохранилищ Узбекистана. — Сб. работ ТГМО, 1967, вып. 2, с. 121—142.
118. Рейзвих В. Н. К морфометрии водохранилищ Средней Азии. — Научные труды ТашГУ, 1967, вып. 330, с. 143—162.
119. Рейзвих В. Н., Попова А. Б. Испарение с водной поверхности в условиях Средней Азии. — Труды САННИГМИ, 1972, вып. 62(77), с. 57—64.
120. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 14. Средняя Азия. Вып. 1. Бассейн р. Сырдарья. — Л.: Гидрометеонадат, 1969. — 437 с.
121. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 14. Средняя Азия. Вып. 2. Бассейны рек Чу, Талас, Тарим. — Л.: Гидрометеонадат, 1973. — 308 с.
122. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 14. Средняя Азия. Вып. 3. Бассейн р. Амударья. — Л.: Гидрометеонадат, 1971. — 470 с.
123. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 14. Средняя Азия. Вып. 4. Туркмения. — Л.: Гидрометеонадат, 1979. — 83 с.
124. Россинский К. И. Термический режим водохранилищ. — М.: Наука, 1975. — 165 с.
125. Рубинова Ф. Э. Изменение стока р. Сырдарья под влиянием водохозяйственного строительства в ее бассейне. — М.: Гидрометеонадат, 1979. — 136 с.
126. Рубинова Ф. Э. Особенности антропогенного воздействия на сток рек Сырдарья и Амударья. — Труды САННИИ, 1982, вып. 89(170), с. 3—9.
127. Рубинова Ф. Э. Влияние водных мелиораций на сток и гидрохимический режим рек бассейна Аральского моря. — Труды САННИИ, 1987, вып. 124(206).
128. Руководство по обработке и подготовке к печати материалов наблюдений на озерах и водохранилищах. — Л.: Гидрометеонадат, 1972, с. 252.
129. Соколов А. А., Чамкина Т. Г. Методы расчета водных балансов. — Л.: Гидрометеонадат, 1976. — 120 с.
130. Средняя Азия. Природные условия и естественные ресурсы СССР. — М.: Наука, 1968. — 483 с.
131. Судольский А. С. Изучение формирования берегов Кайраккумского водохранилища. — Труды ГГИ, 1960, вып. 90, с. 150—177.
132. Судольский А. С. Вдольбереговые перемещения наносов на формирующихся отмелях водохранилища. — Труды ГГИ, 1962, вып. 98, с. 222—246.
133. Судольский А. С. Ветровое волнение на Кайраккумском водохранилище. — Труды ГГИ, 1963, вып. 106, с. 146—173.
134. Судольский А. С. Вдольбереговые течения на отмелях водохранилища. — Труды ГГИ, 1963, вып. 106, с. 174—181.
135. Темников С. Н. Результаты использования радиационного термометра для производства термических съемок водоемов Средней Азии. — Труды САННИГМИ, 1978, вып. 59(140), с. 106—110.
136. Темников С. Н., Никитин А. М. О точности измерения температуры поверхности водоемов Средней Азии радиационным термометром. — Труды САННИГМИ, 1979, вып. 66(147), с. 69—74.
137. Толстов С. П. Древний Хорезм. Опыт историко-археологического исследования. — Л.: Изд. АН СССР, 1948, с. 143—150.
138. Указания к производству расчетов речного стока в условиях Средней Азии. — Ташкент. Изд-во АН УзССР, 1959. — 89 с.
139. Указания по расчету затопления водохранилищ при строительном проектировании. — Л.: Гидрометеонадат, 1978. — 23 с.
140. Указания по расчету испарения с водной поверхности водоемов. — Л.: Гидрометеонадат, 1969. — 84 с.
141. Указания по расчету стока наносов. — Л.: Гидрометеонадат, 1974. — 30 с.
142. Указания по расчету затопления водохранилищ при строительстве и проектировании. — Л.: Гидрометеонадат, 1968. — 56 с.
143. Фроликова Е. Я. Исследование и расчет ветровых волн в мелководной прибрежной зоне. — Вопросы гидротехники, 1963, вып. 12, с. 61—67.
144. Фроликова Е. Я., Кожевникова М. С. Состояние креплений напорных откосов земляных плотин водохранилищ Средней Азии. — Вопросы гидротехники, 1963, вып. 12, с. 68—78.
145. Хасанов Х. Х. Среднеазиатские географы и путешественники. — Ташкент: Фан, 1964. — 198 с.
146. Хван М. В. К вопросу о расчетах изменения теплозапасов воды. — Сб. работ ТГМО, 1971, вып. 4, с. 22—28.
147. Чембарисов Э. И. Гидрохимия орошаемых территорий (на примере Аральского моря). — Ташкент: Фан, 1988. — 103 с.
148. Шапиро Х. Ш. Заленение русловых водохранилищ и борьба с ним. — М.: Колос, 1970, с. 155—179.
149. Шаранов В. А. Охрана окружающей среды при создании и эксплуатации водохранилищ. — В сб.: Вопросы охраны окружающей среды в практике гидротехнического проектирования. — М.: Наука, 1979, с. 14—25.
150. Широков В. М. Водохранилища Белоруссии и мероприятия по их охране. — В кн.: Водные ресурсы Белоруссии и их охрана. Минск, 1982, с. 112—129.
151. Шнейер И. А. Осаждение наносов и грунтов. — Труды ТашГУ, 1964, вып. 237, с. 3—50.
152. Шнейер И. А. Профиль кривых водной поверхности в верхних и нижних бьефах гидроузлов. — Труды ТашГУ, 1967, вып. 330, с. 3—39.

153. Шульд В. Л. К истории гидрологических исследований в Средней Азии. — Труды ТашГУ, 1964, вып. 269, с. 3—32.

154. Шульд В. Л. Реки Средней Азии. — Л.: Гидрометеоиздат, 1965. — 685 с.

155. Шумков И. Г. Переформирование берегов Кайрак-кумского водохранилища в условиях колебаний уровня воды. — Труды ГГИ, 1963, вып. 106, с. 182—196.

156. Щеглова О. П. Питание рек Средней Азии. — Труды ТашГУ, 1960, Новая серия, вып. 167. — 243 с.

157. Щеглова О. П. Формирование стока взвешенных наносов и смыв с горной части Средней Азии. —

Л.: Гидрометеоиздат, 1972. — 228 с. (Труды САНИГМИ, вып. 60(75)).

158. Эдельштейн К. К. Морфологическая классификация водохранилищ. — Вести. МГУ, 1977, Сер. геогр., № 5, с. 96—104.

159. Эдельштейн К. К. Структура водного баланса озер и водохранилищ. — Вести. МГУ, 1978, Сер. геогр., № 6, с. 3—12.

160. Эдельштейн К. К. Влияние водохранилищ на трансформацию речного стока. — В сб.: Актуальные проблемы управления водными ресурсами и использование водохранилищ. Московский филиал ГО СССР. М., 1979, с. 58—60.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3	Глава 8. Течения	102
Глава 1. Общие сведения о водохранилищах и изучении режима	5	Глава 9. Заленение водохранилищ	109
Глава 2. Морфология и морфометрия водохранилищ	11	Глава 10. Гидрохимический режим и качество вод водохранилищ	118
Глава 3. Уровенный режим	20	Глава 11. Водные ресурсы водохранилищ и вопросы регулирования стока	147
Глава 4. Водный баланс	33	Приложения	153
Глава 5. Термический режим	63	Список литературы	161
Глава 6. Ледовый режим	80		
Глава 7. Ветровое волнение	90		

Справочное издание

Гидрологический режим озер и водохранилищ СССР

Никитин Александр Михайлович

ВОДОХРАНИЛИЩА СРЕДНЕЙ АЗИИ

Редактор И. С. Якорь. Художник И. Г. Архипов. Художественный редактор Е. Н. Чукаева. Технический редактор Н. В. Морозова. Корректор И. В. Михайлова.

И/К. Сдано в набор 06.02.91. Подписано в печать 04.09.91. Формат 60×90¹/₈. Бумага книжная. Литературная гарнитура. Печать высокая. Печ. л. 21,0. Кр.-отт. 21,0. Уч.-изд. л. 24,99. Тираж 400 экз. Индекс ГЛ-23. Заказ № 777. Цена 2 руб. Гидрометеонадат. 199226. Ленинград, ул. Беринга, 38.

Набрано в Ленинградской типографии № 2 головного предприятия ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой Государственного комитета СССР по печати. 198052, г. Ленинград, Измайловский, пр., 29.

Отпечатано в Ленинградской типографии № 8 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой Государственного комитета СССР по печати. 190000, Ленинград, Прачечный переулок, 6.