

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

АКАДЕМИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ



**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

Часть 2

На примере водохранилища Нурекской ГЭС на реке Вахш

монография

WWW.AMCHS.RU

ХИМКИ 2021

Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий

Академия гражданской защиты

Кафедра механики и инженерной графики

**С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев, К.П. Латышенко,
Ш.К. Обиджони, Н.Б. Курбонов**

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Часть 2

На примере водохранилища Нурекской ГЭС на реке Вахш

Монография

Химки – 2021

УДК 504.75
ББК 20.1

Авторы:

Гарелина С.А. – кандидат технических наук, доцент кафедры механики и инженерной графики АГЗ МЧС России;

Давлатшоев С.К. – кандидат технических наук, зав. лабораторией Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ;

Латышенко К.П. – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры механики и инженерной графики АГЗ МЧС России;

Обиджони Ш.К. – кандидат технических наук, проректор по науке, инновации и международным отношениям Института энергетики Таджикистана;

Курбонов Н.Б. – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ.

Рецензенты:

Валуев Н.П. – профессор, д.т.н., профессор кафедры химии и материаловедения АГЗ МЧС России;

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ.

Гарелина С.А., Давлатшоев С.К., Латышенко К.П., Обиджони Ш.К., Курбонов Н.Б. Повышение безопасности гидротехнических сооружений. Часть 2. На примере водохранилища Нурекской ГЭС на реке Вахш. – Химки: АГЗ МЧС России, 2021. – 192 с.

В монографии в соответствии с нормативно-технической документацией описана безопасность гидротехнических сооружений и водохранилищ, Нурекский гидроузел на реке Вахш. Рассмотрены результаты исследования изменения климата в зоне формирования водных ресурсов бассейна Аральского моря, ледников и бассейна реки Вахш, процесс заиливание Нурекского водохранилища и управление его рисками.

Монография может быть полезна бакалаврам и магистрантам, а также аспирантам, адъюнктам, преподавателям и научным сотрудникам Академии гражданской защиты МЧС России.

© Академия гражданской защиты МЧС России, 2021

Содержание

Условные сокращения	5
Введение	6
Глава 1. Безопасность гидротехнических сооружений	8
1.1. Безопасность гидротехнических сооружений	8
1.2. Водохранилища	38
1.3. Использование водохранилищ	46
1.4. Нурекский гидроузел на реке Вахш	54
Выводы по первой главе	61
Глава 2. Проблемы изменения климата в зоне формирования водных ресурсов бассейна Аральского моря	62
2.1. Динамика изменения метеорологических условий бассейна реки Вахш	65
2.2. Оледенение и состояние ледников верховья бассейна реки Вахш в условиях изменяющегося климата	68
2.3. Анализ влияние климатических изменений годового стока на водно-энергетические ресурсы бассейна реки Вахш	77
2.4. Оценка воздействия каскадных водохранилищ бассейна реки Вахш на изменение климата окружающие среды	91
2.5. Особенности теплового режима и влагообеспеченности Вахшского агроклиматического района в условиях изменения климата	104
Выводы по второй главе	113
Глава 3. Заиление Нурекского водохранилища	115
3.1. Поступления осадочного материала из верховьев р. Вахш и абразивный процесс берегов водохранилища	119
3.2. Динамика интенсивности заиления водохранилища наносами ...	124
Выводы по третьей главе	129
Глава 4. Оценка состава воды и её влияние на процесс заиления Нурекского водохранилища.	130

4.1. Распределение взвешенных веществ в воде	
Нурекского водохранилища.	130
4.2. Гранулометрический состав донных отложений	134
4.3. Состав и объёмная плотность отлагаемых наносов	135
4.3.1. Распределение частиц по размерам	137
4.3.2. Разработка и калибровка модели	148
4.4. Управление рисками ЧС Нурекского водохранилища	151
Выводы по четвёртой главе	158
Глава 5. Влияние процесса заиливания	
на характеристики водохранилища	161
5.1. Пути уменьшения процесса заиления	161
5.2. Методы расчёта заиления и занесения в водохранилище	162
5.3. Результаты промеров водохранилища	167
5.3.1. Исследуемые поперечные профили	171
5.3.2. Аккумулированные объёмы	176
Выводы по пятой главе	181
Выводы	184
Библиографический список	186

Условные сокращения

АСУ	– автоматическая система управления
ГТС	– гидротехническое сооружение
ГЭС	– гидроэлектростанция
ЕП	– естественного электрического поля
КИА	– контрольно-измерительная аппаратура
МВИ	– методика выполнения измерений
НД	– нормативная документация
НПУ	– нормальный подпорный уровень
НТД	– нормативно-техническая документация
ОС	– окружающая среда
ПД	– проектная документация
СИ	– средство измерений
СКО	– среднее квадратическое отклонение
СНиП	– строительные нормы и правила
ТЗ	– техническое задание
ТС	– техническое состояние
ТУ	– технические условия
УВ	– уровень воды
УГВ	– уровень грунтовых вод
УВБ	– уровень верхнего бьефа
УЗК	– ультразвуковой каротаж
УНБ	– уровень нижнего бьефа
УЭП	– удельная электрическая проводимость
ФЗ	– федеральный закон
ЧС	– чрезвычайная ситуация
ЭП	– электропрофилирование

ВВЕДЕНИЕ

Выработка электроэнергии в мире непрерывно растёт в 2000 – 2018 гг. примерно на 2 % в год. Правда, в 2019 году из-за замедления темпов экономического роста оно выросло только на 0,6 % и превысило 26000 ТВт·ч.

При этом на уголь приходится 38 % выработки электроэнергии, на газ – 23 %, на ГЭС – 19 %, на атомные станции – 10 %, на солнечную энергию и ветер – 7 % и на масло – 3 %. Таким образом, на возобновляемые и «зелёные» технологии приходится около трети всей выработанной электроэнергии. Очевидно, что эта доля в дальнейшем будет только расти.

Ведущей технологией производства «зелёной» электроэнергии являются гидроэлектростанции, которые используют энергию воды [3, 4, 29, 34, 48].

Для создания возможно большего перепада уровня воды строят плотины, перегораживающие реки. Если говорить о России, то, по крайней мере, в Европейской её части, практически все равнинные реки уже вырабатывают электроэнергию. Поэтому ГЭС приходится строить в удалённой и горной местности, в сложных гидрогеологических условиях. При этом все «удобные» места уже используют и зачастую приходится строить ГТС на водорастворимых основаниях (гипс, каменная соль, гипс CaSO_4 и т.п.), в результате чего происходит выщелачивание солей и образование пустот, что повышает риск возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС).

Но надо отметить, что гидростанциями дело не ограничивается.

В Российской Федерации насчитывают 29964 ГТС, из них:

- ГТС жидких промышленных отходов (хвостохранилища);
- ГТС топливно-энергетического комплекса;
- ГТС водохозяйственного комплекса.

Количество аварий на ГТС в РФ превышает среднемировое значение примерно в 2,5 раза.

Поэтому исследование поведения большого водохранилища Нурекской ГЭС является актуальной задачей.

Настоящая монография является итогом многолетних исследований авторов в области изменения климата Аральского моря вообще и Таджикистана, в частности, заиления Нурекского водохранилища и его влияния на характеристики ГЭС.

Монография состоит из пяти глав.

Первая глава посвящена краткому изложению НТД с описанием безопасности ГТС и водохранилищ, описан Нурекский гидроузел на реке Вахш.

Вторая глава излагает результаты исследований авторов по изменению климата в зоне формирования водных ресурсов бассейна Аральского моря вообще и бассейна реки Вахш, в частности, оледенению и состоянию ледников верховья реки Вахш, её водно-энергетических ресурсов.

В третьей главе рассмотрено такое крайне негативное явление, как заиление Нурекского водохранилища.

В четвёртой главе приведена оценка состава воды и её влияние на процесс заиления Нурекского водохранилища и управление рисками ЧС на Нурекском водохранилище.

Пятая глава описывает влияние процесса заиления на характеристики Нурекского водохранилища.

Сформулированы выводы по работе.

Приведён библиографический список.

ГЛАВА 1. БЕЗОПАСНОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

1.1. Безопасность гидротехнических сооружений

В ГОСТ Р 55260.1.1–2013 «Гидроэлектростанции. Часть 1-1. Сооружения ГЭС гидротехнические. Требования безопасности» и СП 58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения» использованы следующие термины и определения [22, 47].

Аварийная ситуация – опасное состояние ГТС или его основания, при развитии которого в условиях несвоевременного или неэффективного выполнения противоаварийных мероприятий возможна авария ГТС и возникает опасность развития ЧС.

Авария ГТС – частичное или полное разрушение ГТС, отказ гидромеханического оборудования, в результате которых сооружение становится неработоспособным и возникает ЧС (рис. 1.1).

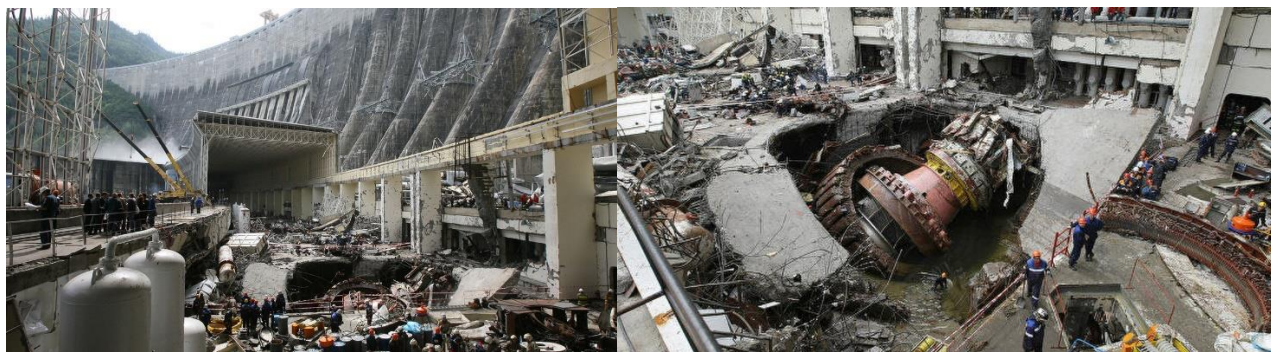


Рис. 1.1. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС 07.08.2009

Автоматизированная система диагностического контроля – система автоматического опроса дистанционной КИА, установленной на сооружениях, одновременно сравнивающая полученные результаты с критериями оценки ТС и безопасности сооружений.

Безопасность ГТС – свойство ГТС, позволяющее обеспечивать защиту жизни, здоровья и законных интересов людей, ОС и хозяйственных объектов (СП 58.13330.2019).

Безопасность ГТС – свойство ГТС сохранять свою работоспособность и обеспечивать защиту жизни, здоровья и законных интересов людей, юридических лиц, а также сохранность ОС (ГОСТ Р 55260.1.1–2013).

Гидродинамическая авария – авария водоподпорного ГТС, при которой происходят полное или частичное разрушение напорного фронта и неуправляемый излив воды из водохранилища (верхнего бьефа), расход которой превышает максимальное значение водопропускной способности гидроузла, установленное проектом, создающие угрозу возникновения техногенной ЧС, обусловленной затоплением территорий, разрушающим гидродинамическим воздействием на здания, сооружения и иные объекты социальной инфраструктуры и ОС в зонах затопления в нижнем бьефе, а также снижением уровня грунтовых вод берегов водохранилища, потерей устойчивости берегов и полным или частичным прекращением водопользования в верхнем бьефе.

Гидротехнические сооружения – сооружения, подвергающиеся воздействию водной среды, предназначенные для использования и охраны водных ресурсов, предотвращения вредного воздействия вод, в том числе загрязнённых жидкими отходами. ГТС включают в себя (рис. 1.2):

- плотины, здания гидроэлектростанций (ГЭС), гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) и приливных электростанций (ПЭС);
- водосбросные, водоспускные и водовыпускные сооружения, туннели, каналы, насосные станции, судоходные шлюзы, судоподъёмники, доки;
- сооружения, предназначенные для защиты от наводнений;
- сооружения, предназначенные для защиты от разрушений берегов морей и озёр, берегов и дна рек и водохранилищ;
- устройства защиты от размывов на каналах;
- струенаправляющие и оградительные сооружения;
- сооружения (дамбы), ограждающие золо- и шлакоотвалы и хранилища жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных организаций;
- набережные, пирсы, причальные сооружения портов;



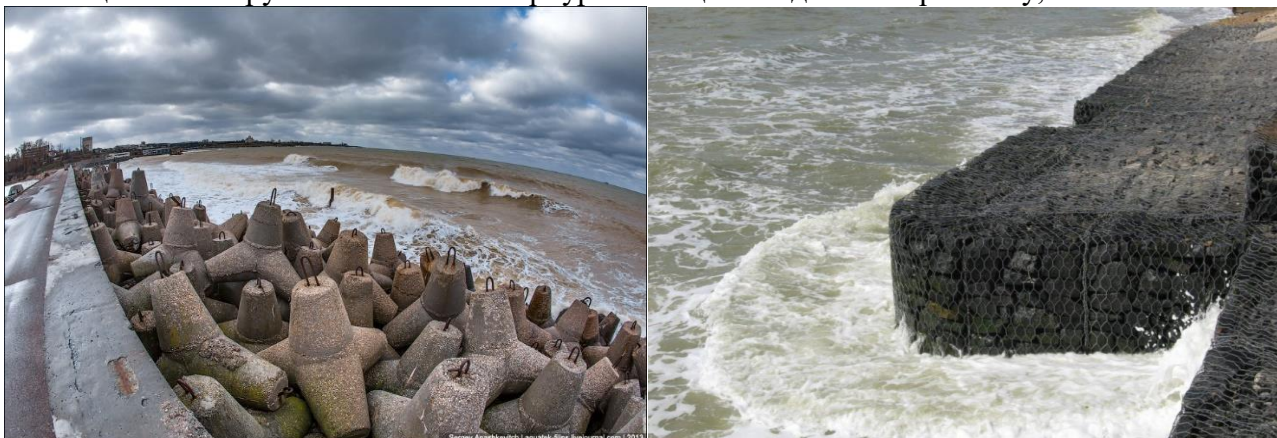
a – плотина Богучанской и Чиркейской ГЭС



б – водосброс Саяно-Шушенской ГЭС и плотины Монтичелло в США



в – защитные сооружения Санкт-Петербурга и защитная дамба на реке Язу, штат Миссисипи



г – защита берега, Севастополь и пляжеудерживающие сооружения, Калининградской области



д – укрепление берега реки на Кубани и канала имени Москвы



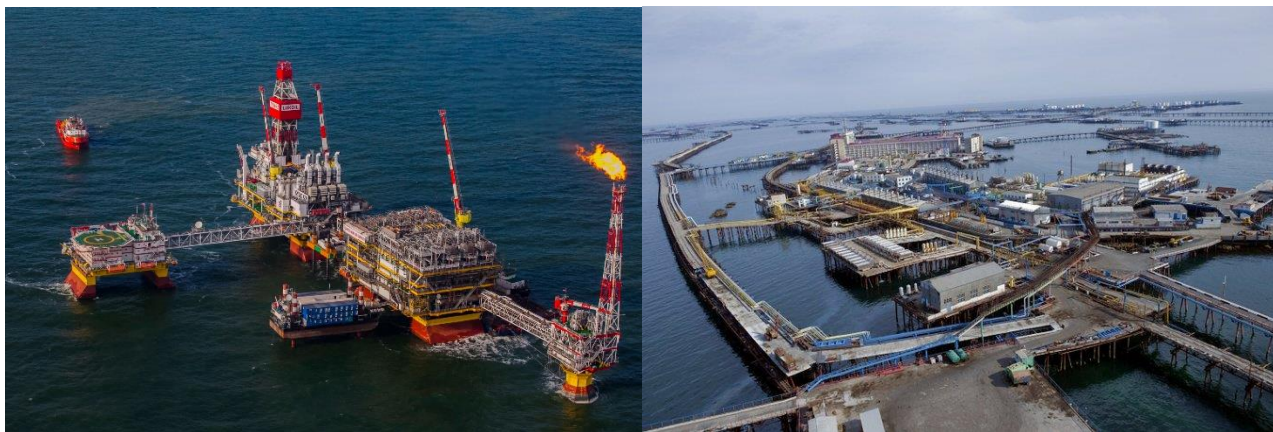
е – защитный мол в Новороссийске и защитное сооружение в Усть-Луге



ж – хвостохранилище в г. Апатиты и на полигоне «Красный бор» в Ленинградской области



з – набережная в г. Сочи и глубоководный причал в г. Туапсе



з – нефтедобывающая платформа на месторождении В. Филановского и город нефтяников «Чёрные камни» на Каспии



и – водоочистные сооружения в Курьяново (Москва) и Белогорское водохранилище в Крыму
Рис. 1.2. Гидротехнические сооружения:

– сооружения морских нефтегазопромыслов, системы гидротранспорта отходов и стоков, подачи осветлённой воды, сооружения систем технического водоснабжения, за исключением объектов централизованных систем горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и (или) водоотведения.

Гидротехнические сооружения, ГТС – плотины, здания ГЭС, водосбросные, водоспускные и водовыпускные сооружения, туннели, каналы, насосные станции, судоходные шлюзы, судоподъёмники; сооружения, предназначенные для защиты от наводнений и разрушений берегов водохранилищ, берегов и дна русел рек; дамбы, ограждающие верхний и нижний бассейны гидроаккумулирующих электростанций, золошлакоотвалы и шламоотвалы тепловых электростанций и котельных, работающих на органическом топливе, а также дамбы, ограждающие хранилища жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных предприятий (ГОСТ Р 55260.1.1–2013).

Гидроэлектростанция, ГЭС – комплекс ГТС, энергетического, электро-технического и механического оборудования, предназначенный для преобразования энергии потока воды в электрическую энергию.

Государственный федеральный надзор за безопасностью ГТС – деятельность уполномоченных федеральных органов исполнительной власти, направленная на предупреждение, выявление и пресечение нарушений осуществляющими деятельность по эксплуатации ГТС юридическими лицами, их руководителями и иными должностными лицами, индивидуальными предпринимателями, их уполномоченными представителями требований по обеспечению безопасности ГТС, установленных законодательством РФ, посредством организации и проведения в установленном порядке периодического декларирования безопасности ГТС и других плановых, а также внеплановых проверок указанных лиц, принятия предусмотренных законодательством РФ мер по пресечению и (или) устранению последствий выявленных нарушений и деятельность указанных уполномоченных федеральных органов государственной власти по систематическому наблюдению за исполнением требований законодательства о безопасности ГТС, анализу и прогнозированию состояния и качества исполнения указанных требований при осуществлении юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями своей деятельности; федеральный государственный надзор в области безопасности ГТС осуществляют уполномоченные федеральными органами исполнительной власти согласно их компетенции в порядке, установленном Правительством РФ.

Грунт – обобщённое понятие горных пород, залегающих преимущественно в пределах зоны выветривания земной коры.

Грунт подразделяют на скальный, полускальный и нескальный – рыхлый.

Декларация безопасности ГТС – документ, в котором обосновывают безопасность ГТС и определяют меры по её обеспечению в соответствии с классом сооружения, составляемый собственником (эксплуатирующей организацией) эксплуатируемых или вводимых в эксплуатацию ГТС для предъявления федеральному органу исполнительной власти, уполномоченному осуществлять

государственный федеральный надзор за безопасностью ГТС, а проектируемых ГТС – юридическим или физическим лицом, выполняющим функции заказчика, для предъявления на государственную экспертизу в составе ПД в соответствии с требованиями (рис. 1.4).

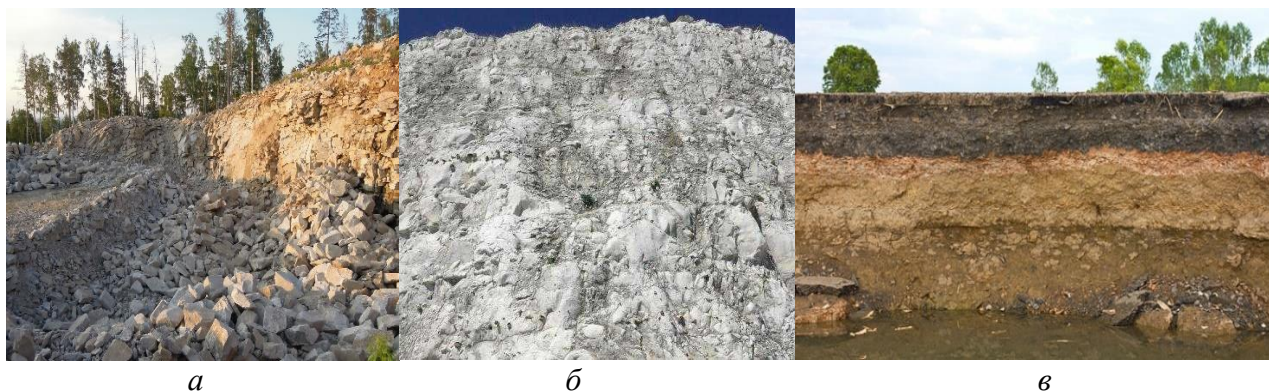


Рис. 1.3. Грунт: скальный (а), полускальный (б) и рыхлый (в)

Допустимый уровень риска аварии ГТС – значение риска аварии ГТС, установленное законодательством или НД технического регулирования, допустимое для ГТС в зависимости от их класса.

Класс ГТС – количественная характеристика ответственности ГТС, определяемая при проектировании или реконструкции с учётом его назначения, параметров и последствий вероятных аварий.

Комплекс ГТС – ГТС, входящие в состав одного объекта (гидроузла, электростанции), размещённые в одном водном объекте и принадлежащие одному собственнику.

Критерии безопасности ГТС – предельные значения количественных и качественных показателей состояния ГТС и условий его эксплуатации, соответствующие допустимой вероятности аварии ГТС и утверждённые в установленном порядке федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими государственный надзор за безопасностью ГТС (СП 58.13330.2019).

Критерии безопасности ГТС – предельные и предупредительные значения (характеристики) количественных и качественных диагностических показателей состояния ГТС и условий его эксплуатации, соответствующие предельно допустимому или предупредительному уровням риска аварии ГТС и утверждённые в установленном порядке (как правило, в составе декларации безопас-

ности) федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими государственный надзор за безопасностью ГТС (ГОСТ Р 55260.1.1–2013).



а

5

Приложение
к Требованиям к заключению экспертной комиссии
по декларации безопасности гидротехнического
сооружения, утвержденным приказом
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от 24 сентября 2018 г. № 496

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ОБРАЗЕЦ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ
ПО ДЕКЛАРАЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ
(ЗА ИСКЛЮЧЕНИЕМ СУДОХОДНЫХ И ПОРТОВЫХ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ)

Экз. № _____

УТВЕРЖДАЮ:

(наименование должности руководителя (заместителя
руководителя) Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору)

(подпись) _____ (Ф.И.О.) _____
« » 20 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

(наименование декларации безопасности гидротехнического сооружения
(комплекса гидротехнических сооружений))

(регистрационный код гидротехнического
сооружения в Российском регистре
гидротехнических сооружений)

(регистрационный номер
заключения)

(наименование должности руководителя экспертного
центра)

(подпись) _____ (Ф.И.О.) _____
« » 20 г.
М.П. (при наличии)

Срок действия _____

Регистрационный номер заключения в реестре экспертного центра _____

(место, год, месяц и число составления заключения)

б



в

Рис. 1.4. Разрешение на эксплуатацию ГТС (а), заключение экспертной комиссии (б) и декларация соответствия (в)

Механическая безопасность – состояние строительных конструкций и основания ГТС, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, ОС, жизни и здоровью животных и растений вследствие потери механической прочности и (или) устойчивости сооружения или его части.

Надёжность – свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования (СП 58.13330.2019).

Надёжность ГТС – интегральное свойство ГТС, характеризующее его способность выполнять требуемые функции при установленных режимах и условиях эксплуатации, технического обслуживания и ремонта в течение заданного периода времени, сохраняя при этом в установленных допустимых пределах значения всех параметров, определяющих исполнение этих функций (ГОСТ Р 55260.1.1–2013).

Надёжность системы сооружение-основание – способность системы выполнять заданные функции в течение заданного периода времени.

Неудовлетворительный уровень безопасности ГТС – уровень безопасности ГТС, эксплуатируемого в условиях снижения механической или фильтрационной прочности, превышения значений критериев безопасности для работоспособного состояния при недостижении их ПДЗ (характеристик), других отклонений от проектного состояния, способных при их развитии привести к возникновению аварии.

Нормальный уровень безопасности ГТС – уровень безопасности ГТС, при котором значения критериев безопасности не превышают допустимых для работоспособного состояния сооружения и основания, а эксплуатация осуществляется в соответствии с проектом и правилами эксплуатации без нарушений действующих законодательных актов, норм и правил, предписаний федеральных органов исполнительной власти, уполномоченных на осуществление государственного надзора за безопасностью ГТС.

Обеспечение безопасности ГТС – выполнение требований безопасности ГТС на всех стадиях их жизненного цикла, разработка и осуществление комплекса инженерных, организационных и иных мероприятий по снижению риска аварий ГТС (ГОСТ Р 55260.1.1–2013).

Обеспечение безопасности ГТС – разработка и осуществление мер по предупреждению аварий ГТС (СП 58.13330.2019).

Обследование ГТС – комплекс действий по оценке ТС и работоспособности ГТС, определению перечня необходимых мероприятий по обеспечению их нормативной надёжности и безопасной эксплуатации.

Опасные природные процессы и явления – землетрясения, сели, оползни, лавины, подтопление территории, ураганы, смерчи, эрозия грунтов и иные подобные процессы и явления, оказывающие негативные или разрушительные воздействия на сооружения.

Основание ГТС – естественный или искусственно сформированный грунтовый массив, находящийся под подошвой сооружения и его береговыми примыканиями или вмещающий его фундамент, противофильтрационные и упрочняющие элементы и дренажные устройства.

Оценка безопасности ГТС – определение соответствия ТС ГТС и квалификации работников эксплуатирующей организации действующим нормам и правилам.

Подпорный уровень – уровень воды, устанавливающийся в верхнем бьефе в результате преграждения или стеснения русла водоподпорными сооружениями и пропуске водосбросными сооружениями части приточного расхода в нижний бьеф.

Показатели безопасности ГТС – предельно допустимые и предупредительные значения риска аварий ГТС и соответствующие им критерии безопасности.

Пониженный уровень безопасности ГТС – уровень безопасности работоспособного ГТС, собственник которого допускает нарушения правил техни-

ческой эксплуатации, невыполнение первоочередных мероприятий или невыполнение предписаний органа государственного надзора за безопасностью ГТС.

Предельное состояние – состояния системы сооружение-основание или её элементов, после достижения которых они перестают удовлетворять нормативным требованиям к их механической и фильтрационной прочности и устойчивости.

Риск аварии ГТС – вероятность возникновения аварии на ГТС.

Суффозионная устойчивость – сохранение первоначальной структуры и гранулометрического состава грунта (грунтового материала) при заданных параметрах фильтрационного потока.

Уровень безопасности ГТС – степень соответствия состояния ГТС и ОС установленным в соответствии с законодательством и НД технического регулирования критериям безопасности, а также соответствие квалификации эксплуатационного персонала и действий собственника и эксплуатирующей организации требованиям законодательства о безопасности ГТС, правил технической эксплуатации ГТС, законодательства по техногенной и экологической безопасности и предписаний органов федерального государственного надзора за безопасностью ГТС.

Фильтрационная прочность – способность самого сооружения и (или) его основания сопротивляться разрушающему воздействию фильтрационного потока, проявляющемуся в виде выпора грунта, его механической или химической суффозии.

Чрезвычайная ситуация, ЧС – обстановка на определённой территории, сложившаяся в результате аварии ГТС, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или ущерб ОС, нарушение условий жизнедеятельности людей, причинение вреда имуществу физических и юридических лиц.

Идентификация ГТС

ГТС [15] идентифицируют по следующим признакам [10]:

– вид (функциональное назначение);

- возможность проявления опасных природных процессов и явлений и техногенных воздействий на территории, на которой будут осуществляться строительство, эксплуатация, реконструкция, консервация и ликвидация ГТС;
- уровень ответственности;
- пожарная и взрывопожарная опасность при эксплуатации гидромеханического и электромеханического оборудования ГТС.

Обеспечение соответствия безопасности ГТС

Безопасность ГТС на всех стадиях их жизненного цикла обеспечивается соблюдением требований ГОСТ Р 55260.1.1–2013, а также выполнением следующих мероприятий [53, 59, 70]:

- периодической корректировки критериев безопасности в соответствии с требованиями законодательства о безопасности ГТС и НД технического регулирования в течение всего жизненного цикла сооружения;
- применения на обязательной основе соответствующих требований национальных стандартов и сводов правил;
- применения на добровольной основе соответствующих национальных стандартов и сводов правил;
- применения соответствующих требований законодательства РФ о техническом регулировании, охране ОС, градостроительной деятельности, безопасности зданий и сооружений, безопасности ГТС, пожарной безопасности, защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера, а также нормативных правовых актов.

В тех случаях, когда для подготовки ПД требуется отступление от требований, установленных национальными стандартами и сводами правил, а также если недостаточно требований к надёжности и безопасности, установленных указанными стандартами и сводами правил, или такие требования не установлены, подготовка ПД и строительство сооружения осуществляют в соответствии со специальными ТУ.

Требования к обеспечению безопасности ГТС

Безопасность ГТС основывается на реализации следующих требований [23, 25]:

- обеспечение допустимого уровня риска аварии ГТС;
- осуществление государственного надзора за безопасностью ГТС;
- осуществление непрерывности эксплуатации ГТС в течение всего жизненного цикла;
- периодическое представление в орган государственного надзора деклараций безопасности ГТС;
- осуществление мер, направленных на обеспечение безопасности ГТС, в том числе установление и периодическая корректировка критериев его безопасности, оснащение техническими средствами мониторинга состояния сооружений, обеспечение необходимой квалификации эксплуатационного персонала;
- проведение комплексных мероприятий по минимизации риска аварий и возникновения ЧС;
- обеспечение финансирования эксплуатации ГТС и выполнения мероприятий по повышению уровня их безопасности.

ГОСТ Р 55260.1.1–2013 устанавливает следующие минимально необходимые требования к ГТС, обеспечивающие:

- механическую безопасность;
- безопасность при опасных природных процессах и явлениях;
- безопасный уровень воздействия на ОС.

ГТС должны обладать прочностью, устойчивостью, водонепроницаемостью и установленной проектом водопропускной способностью в течение всего срока службы сооружений и их оснований в условиях расчётных сочетаний нагрузок и воздействий при непревышении допустимого риска аварии с причинением вреда жизни, здоровью людей, ОС, имуществу физических и юридических лиц.

ГТС должны при проявлении опасных природных процессов и явлений соответствовать требованиям во всех режимах их работы, в том числе при возникновении аварийных ситуаций.

ГТС должно быть спроектировано и построено таким образом, чтобы в процессе его эксплуатации:

- обеспечивалось эффективное и рациональное использование гидроэнергетических ресурсов;

- обеспечивалась нормативная вероятность безотказной работы гидромеханического и иного оборудования, обеспечивалось предотвращение или ограничение воздействия опасных факторов возгорания оборудования на людей и имущество, обеспечивались защита людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара и (или) ограничение последствий воздействия опасных факторов пожара на сооружение;

- обеспечивалась не менее чем двухуровневая автоматическая защита от опасных нештатных режимов работы основного оборудования ГЭС, отказы которого могут привести к аварийной ситуации на ГТС и причинению вреда жизни и здоровью производственного персонала ГЭС.

Требования к назначению уровня ответственности ГТС

ГТС в зависимости от высоты, типа грунтов основания, социально-экономической ответственности и последствий возможных гидродинамических аварий подразделяют на четыре класса:

- I – чрезвычайно высокой опасности;

- II – высокой опасности;

- III – средней опасности;

- IV – низкой опасности (Постановление Правительства РФ № 986 от 02.11.2013).

Класс ГТС указывают для каждого ГТС.

Класс эксплуатируемого ГТС может быть изменён при выполнении проектных работ по его реконструкции.

Требования к критериям безопасности ГТС

Для ГТС, аварии которых могут привести к возникновению ЧС, устанавливают критерии безопасности.

Критерии безопасности разрабатывают и устанавливают на стадии проектирования.

Установленные при проектировании критерии безопасности ГТС уточняют на стадиях строительства, при вводе объекта в эксплуатацию, при эксплуатации, реконструкции, консервации, в связи с изменениями условий эксплуатации, а также при изменении требований законодательства, норм и правил технического регулирования в области безопасности ГТС.

Критерии безопасности ГТС устанавливают по основным показателям безопасности сооружений, к которым относят показатели прочности, устойчивости, фильтрационной (суффозионной) прочности, фильтрационного расхода, водопрпускной способности (для речных ГТС), трещиностойкости, превышения гребня плотин, дамб и их противофильтрационных элементов над уровнем воды в водном объекте с учётом ветрового нагона и наката волн на откосы водоподпорных сооружений.

Критерии безопасности ГТС определены для двух уровней значений диагностических показателей ТС и безопасности сооружения, соответствующих допустимому риску аварии сооружения.

Первый из них – предупреждающий уровень, при достижении которого сооружение переходит из работоспособного в ограниченно работоспособное состояние, диагностические показатели имеют тенденцию к дальнейшему ухудшению, риск аварии возрастает.

Второй – предельный уровень, при достижении которого диагностические показатели безопасности достигают ПДЗ. При превышении этих значений риск аварии ГТС превышает допустимый для сооружений данного класса, эксплуатация сооружений при проектных нагрузках не допускается, а для продления ресурса сооружений необходима их реконструкция.

При определении критериев безопасности ГТС устанавливают: перечень диагностических параметров сооружения, методику их определения на объекте путём инструментального контроля и визуальных наблюдений, предупреждающие (K1) и предельно допустимые (K2) значения или характеристики диагностических параметров, характеризующие переход уровня безопасности сооружения из нормального в неудовлетворительный и из неудовлетворительного в опасный (аварийный).

Методика определения критериев безопасности ГТС ГЭС на стадии их эксплуатации определяют национальный стандарт и стандарты эксплуатирующих организаций.

Оценку ТС и уровня безопасности ГТС осуществляют сравнением измеренных значений диагностических показателей ТС сооружения с установленными для данного показателя значениями критериев безопасности. При этом выполняют также оценку соответствия эксплуатации сооружения требованиям норм и правил безопасности ГТС.

Требования к декларированию безопасности ГТС

Соответствие ГТС требованиям безопасности подтверждают декларацией безопасности ГТС.

Декларация безопасности ГТС является основным документом, обосновывающим безопасность ГТС, их соответствие критериям безопасности, проекту, действующим техническим нормам и правилам. Декларация определяет также характер и вероятные причины аварийных ситуаций, необходимые инженерные и организационные мероприятия по обеспечению безопасной эксплуатации.

Требования к сейсмостойкости ГТС

Сейсмические воздействия на ГТС учитывают при величине расчётной сейсмичности площадки строительства ГТС, равной 7, 8 или 9 баллам по международной шкале сейсмичности MSK-64.

На площадках, сейсмичность которых превышает 9 баллов, возводить ГТС допускается в исключительных случаях, только по специальным ТУ.

Расчёты на прочность и устойчивость ГТС, располагаемых в сейсмических районах, проводят в рамках линейно-спектральной теории на два уровня интенсивности сейсмического воздействия – проектное и максимальное расчётное согласно.

Проверка сейсмостойкости напорных ГТС I и II классов, расположенных в районах сейсмичностью свыше 7 баллов, проводят методами динамической теории с использованием инструментальных записей ускорений основания и синтезированных акселерограмм. При этом деформации, напряжения и усилия определяют на всём временном интервале сейсмического воздействия.

ГТС всех классов должны воспринимать проектные воздействия землетрясений без риска для жизни и здоровья людей и нарушений нормальной эксплуатации.

Водоподпорные ГТС I и II классов должны выдерживать максимальные расчётные землетрясения без прорыва напорного фронта. При этом допускаются повреждения сооружения и его основания, нарушающие нормальную эксплуатацию объекта.

Основные сооружения гидроузла должны размещают на едином структурно-тектоническом блоке, в пределах которого исключена возможность взаимных подвижек частей сооружения.

Для обеспечения сейсмостойкости гидроузла проводят проверку на устойчивость потенциально опасных участков береговых склонов и отдельных скальных массивов в створе сооружений, зоне водохранилища и нижнем бьефе.

При возможности разжижения грунтов в теле сооружения или в основании предусматривают мероприятия по уплотнению или укреплению этих грунтов.

Требования к охране окружающей среды

ГТС должны быть спроектированы таким образом, чтобы в процессе их строительства и эксплуатации не возникало угрозы оказания негативного воздействия на ОС в соответствии с требованиями природоохранного законода-

тельства и НД, устанавливающими требования к охране ОС при инженерной деятельности.

При проектировании ГТС учитывают изменения природных условий, которые могут привести к развитию и активизации негативных физико-геологических и геодинамических процессов в их основаниях, среди которых:

- повышение активности ближайших сейсмогенерирующих разломов;
- подтопление и затопление территорий;
- переработка берегов и заиление водохранилищ;
- химическая суффозия растворимых пород карбонатного и галогенного карста;
- вымыв из грунтов основания и накопление в них потенциально вредных химических и радиоактивных веществ;
- отжатие из глубинных подземных вод сильноминерализованных, термических и радиоактивных вод;
- механическая суффозия песчаных грунтов, суффозионного карста;
- возникновение и активизация оползневых явлений;
- всплытие и растворение торфов, их влияние на химический состав воды в водохранилище, на изменение свойств пород оснований, на гидрохимический режим грунтовых вод;
- просадочные деформации оснований, сложенных лессовыми грунтами;
- тепловые осадки при оттаивании пород в основаниях сооружений напорного фронта и ложа водохранилища.

При проектировании ГТС предусматривают технические решения, которые обеспечивают оптимизацию экологического взаимодействия сооружений с природным комплексом и предотвращают недопустимые последствия этого взаимодействия, а также способы контроля за состоянием каждого элемента ОС и возможные дополнительные мероприятия по сохранению и улучшению экологической обстановки в процессе эксплуатации сооружений.

При обосновании природоохранных мероприятий уровень ответственности сооружений инженерной и противоаварийной защиты принимают в соответствии с уровнем ответственности защищаемых ГТС.

При возведении ГТС предусматривают мероприятия по охране ОС в соответствии с требованиями национального законодательства, действующих стандартов и сводов правил в области охраны ОС.

Используемые при строительстве ГТС материалы, включая химические добавки и реагенты, должны отвечать экологическим требованиям, в том числе при их взаимодействии с водой и грунтами основания.

Собственники должны обеспечивать минимизацию отрицательного воздействия ГТС на ОС в процессе их эксплуатации, консервации и ликвидации, а также обязаны участвовать в проведении и осуществлении инженерно-технических мероприятий по совершенствованию защиты ОС.

Требования к ПД для обеспечения безопасности ГТС

ПД ГТС должна использоваться в качестве основного документа при принятии решений об обеспечении их безопасности.

Для подготовки ПД ГТС должны выполняться различные виды инженерных изысканий в строительстве, включающие в себя инженерно-геологические, инженерно-гидрогеологические, инженерно-геодезические, инженерно-экологические, инженерно-гидрометеорологические.

Результаты инженерных изысканий должны быть достоверными и достаточными для установления проектных значений параметров и других проектных характеристик ГТС, а также проектируемых мероприятий по обеспечению его безопасности.

Расчётные данные в составе результатов инженерных изысканий должны быть обоснованы исполнителем, выполняющим инженерные изыскания, и содержать прогноз изменения их значений в процессе строительства и эксплуатации сооружения.

В составе исходных данных для проектирования указывают уровень ответственности сооружения.

ПД ГТС должна содержать проект натурных наблюдений за показателями безопасности сооружений и их оснований на период строительства и эксплуатации.

Проект натурных наблюдений должен содержать:

- перечень контролируемых нагрузок и воздействий на сооружение;
- перечень контролируемых и диагностических показателей работы и состояния сооружения и его основания;
- программы и состав инструментальных и визуальных наблюдений;
- чертежи и ТУ на установку в сооружение и его основание КИА, спецификацию измерительных приборов и устройств;
- программы автоматизированных систем диагностического контроля (для ГТС I и II классов);
- инструкции и методические рекомендации по проведению натурных наблюдений за работой и состоянием сооружений и их оснований.

При проектировании ГТС должны быть разработаны конструктивно-технологические решения по предотвращению развития возможных опасных повреждений и аварийных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе их строительства и эксплуатации.

ПД напорных ГТС должны содержать расчёты по оценке возможного материального ущерба от потенциальной аварии сооружения с нарушением напорного фронта.

При проектировании ГТС необходимо прогнозировать и учитывать изменения развития и активизации физико-геологических, геодинамических и гидрометеорологических и других природных процессов.

ПД должна содержать том «Мониторинг гидротехнических сооружений», включающий в себя:

- программы натурных инструментальных и визуальных наблюдений за ТС и безопасностью ГТС по каждому сооружению, включая их основания;
- перечень предусмотренных проектом к установке в сооружения и основания СИ, геодезических реперов и марок, пьезометров и вспомогательных

средств, предназначенных для использования при выполнении визуальных наблюдений, обеспечивающих наблюдения за диагностическими параметрами ГТС;

- комплект типовых чертежей с ТУ на установку СИ, геодезических реперов и марок, пьезометров;

- перечень применённых в проекте методик выполнения измерений, сертифицированных в установленном порядке;

- требования к поверке СИ;

- сведения о программном обеспечении ведения базы данных измерений и визуальных наблюдений и спецификация средств вычислительной техники, обеспечивающих мониторинг ТС и уровень автоматизации диагностики сооружений и оснований;

- перечень средств автоматизации выполнения измерений, общая схема системы мониторинга ГТС;

- формы исполнительной документации на установку СИ в сооружения; локальные инструкции по выполнению наблюдений за ТС ГТС и их оснований;

- проектные требования к организации натурных наблюдений за ТС ГТС, структуре и численности подразделения наблюдений, требования к квалификации руководящих работников и специалистов.

В ПД ГТС должны быть предусмотрены конструктивные и организационно-технические меры по защите жизни и здоровья людей и ОС от опасных последствий аварий в процессе их строительства, эксплуатации, реконструкции, консервации, ликвидации.

Требования к расчётному обоснованию безопасности ГТС

Безопасность ГТС обосновывают результатами расчётов гидравлического, фильтрационного и температурного режимов, а также напряжённо-деформированного состояния системы сооружение-основание.

Безопасность и надёжность системы сооружение-основание обосновывают результатами расчётов их прочности, устойчивости, деформаций и смещений с использованием метода предельных состояний.

Выбор предельных состояний и методов расчёта ГТС осуществляют в соответствии с требованиями сводов правил по проектированию отдельных видов ГТС и конструкций.

Расчёты проводят по двум группам предельных состояний:

а) по первой группе предельных состояний [потеря несущей способности и (или) полная непригодность сооружений, их конструкций и оснований к эксплуатации] рассчитывают:

- общую прочность и устойчивость системы сооружение-основание;
- общую фильтрационную прочность оснований и грунтовых сооружений;
- прочность отдельных элементов сооружений, разрушение которых приводит к прекращению эксплуатации сооружений;
- перемещения конструкций, от которых зависит прочность или устойчивость сооружений в целом;

б) по второй группе (непригодность к нормальной эксплуатации) рассчитывают:

- местную, в том числе фильтрационную, прочность оснований и сооружений, перемещения и деформации, образования или раскрытия трещин и строительных швов;
- прочность отдельных элементов сооружений, не относящихся к расчётам по предельным состояниям первой группы.

Требования к обеспечению безопасности оснований ГТС

Технические решения при проектировании оснований ГТС в обеспечении их безопасности при строительстве и эксплуатации основывают на использовании результатов:

- оценки инженерно-геологических условий строительной площадки и прогнозе их изменения;
- расчётов несущей способности основания и устойчивости сооружения;
- расчётов местной прочности основания;

– расчётов устойчивости естественных и искусственных склонов и откосов, примыкающих к сооружению;

– расчётов деформаций системы сооружение-основание при действии собственного веса сооружения, давления воды, фильтрационного давления и давления грунта с учётом возможных изменений во времени физико-механических (деформационных, прочностных и фильтрационных) свойств грунтов;

– расчётов напряжений в основании и на контакте сооружения с основанием и их изменений во времени;

– расчётов фильтрационной прочности основания, противодействия воды на сооружение и фильтрационного расхода, а также, при необходимости, объёмных фильтрационных сил и изменения фильтрационного режима при изменении напряжённого состояния основания;

– разработки мероприятий, обеспечивающих требуемую несущую способность оснований и устойчивость сооружения, а также, при необходимости, уменьшение перемещений, улучшение напряжённо-деформированного состояния системы сооружение-основание, снижение противодействия и фильтрационного расхода.

Инженерно-геологические условия строительства конкретизируют и детализируют построением инженерно-геологических и геомеханических (расчётных или физических) моделей (схем) основания с установлением для различных зон нормативных и расчётных характеристик физико-механических свойств грунтов, слагающих основание ГТС, согласно ГОСТ.

Номенклатуру грунтов оснований ГТС и их физико-механические характеристики устанавливают по требованиям ГОСТов.

Нагрузки и воздействия на основание определяют расчётом исходя из совместной работы сооружения и основания в соответствии с требованиями.

Проектирование оснований ГТС предусматривает применение системы мониторинга, обеспечивающей проведение натурных наблюдений и оценку напряжённо-деформированного состояния, фильтрационного и температурного

режимов системы сооружение-основание в течение всего жизненного цикла сооружения при условии совершенствования этой системы в период эксплуатации ГТС.

При этом для сооружений I, II и III классов необходимо предусматривать решения по установке КИА (геодезических глубинных и поверхностных марок, пьезометров – в водопроницаемых грунтах, СИ соответствующего назначения). Не следует устанавливать пьезометры гидравлического типа в грунтах с коэффициентом фильтрации менее 0,01 м/с. СИ устанавливают и используют в соответствии с МВИ.

Для ГТС I и II классов расчётные напряжения в основании определяют численными методами механики сплошных сред с учётом неоднородности строения основания, нелинейных свойств грунтов и скальных пород и изменений прочностных и деформационных свойств материалов во времени. Для натурных наблюдений за напряжениями и деформациями в основании и теле сооружений используют СИ напряжений и деформаций, предназначенные для использования в соответствующих материалах и грунтах.

Предельные значения совместной деформации основания и сооружения устанавливают в соответствии с требованиями сводов правил по проектированию отдельных видов ГТС и правилами их технической эксплуатации.

Проектирование подземного контура напорных ГТС выполняют в соответствии с требованиями и сводов правил по проектированию отдельных видов ГТС.

При проектировании оснований ГТС предусматривают инженерные мероприятия по охране ОС, в том числе по защите окружающих территорий от затопления и подтопления, от загрязнения подземных вод промышленными стоками, а также по предотвращению оползней береговых склонов и других негативных процессов.

Требования к обеспечению безопасности бетонных и железобетонных конструкций ГТС

При проектировании бетонных и железобетонных плотин в необходимых случаях предусматривают мероприятия по улучшению прочностных, деформационных и фильтрационных свойств грунтов оснований.

Во всех случаях, когда основание сложено фильтрующими слабоводоустойчивыми или быстрорастворимыми грунтами, предусматривают противофильтрационные и дренажные устройства.

Противофильтрационную завесу предусматривают до слабоводопроницаемых или практически водонепроницаемых грунтов. Глубина завесы при отсутствии водоупора определяют с учётом инженерно-геологических условий, проницаемости грунтов, значения противодействия в основании плотины, наличия дренажа.

Фильтрационные и гидравлические расчёты плотин

Расчёты общей фильтрационной прочности грунтов основания проводят при осреднённых градиентах напора в расчётной области фильтрации.

Расчёты местной прочности противофильтрационных элементов плотины (понура, зубьев, инъекционной завесы) и грунта основания проводят с учётом требований при критических градиентах напора на участке выхода фильтрационного потока в нижний бьеф и в дренажные устройства, а также на границе неоднородных грунтов и в местах расположения крупных трещин.

Гидравлические расчёты и исследования проводят на основной и поверочный расчётные случаи.

Общую длину водосливного фронта, типы, число и размеры поперечных сечений водопропускных сооружений, значения удельных расходов воды, основные параметры сооружений нижнего бьефа устанавливают с привлечением результатов гидравлических расчётов на основной расчётный случай и технико-экономических обоснований.

Поверочные расчёты проводят для случая пропуска расхода поверочного расчётного случая при наивысшем технически и экономически обоснованном форсированном подпорном уровне верхнего бьефа.

Требования к мероприятиям по предупреждению ЧС природного и техногенного характера

При проектировании ГТС разрабатывают мероприятия по предупреждению ЧС природного и техногенного характера.

В проектах ГТС для возможных вариантов сценария их аварий должны быть разработаны требования к технологии производства противоаварийных работ. При этом должны быть предусмотрены технические решения для использования в строительный и эксплуатационный периоды:

- карьеров и резервов грунтов;
- производственных объектов, транспортных средств, строительных машин и оборудования базы строительства;
- мостов и подъездных путей в районе и на территории объекта;
- автономных или резервных источников электроэнергии и линий электропередачи, других противоаварийных средств оперативного реагирования.

При проектировании гидроузла определяют параметры волны прорыва и границы зон вероятного затопления для вариантов сценария возможного разрушения сооружений напорного фронта.

Для гидроузла, располагаемого в каскаде гидроузлов, предусматривают мероприятия, обеспечивающие устойчивость сооружений его напорного фронта при прохождении волны прорыва в результате разрушения вышерасположенных гидроузлов.

В плотинах высоконапорных гидроузлов предусматривают глубинные водосбросы и водовыпуски для обеспечения предварительной сработки водохранилища.

На существующих и вновь проектируемых гидроузлах устанавливают приборы и системы оповещения о катастрофическом повышении уровня воды в

нижних бьефах, обеспечивающие оперативное оповещение об опасности их затопления.

На существующих и вновь проектируемых гидроузлах необходимо предусмотреть системы оповещения об угрозе прорыва напорного фронта органов исполнительной власти, хозяйственных субъектов и населения, располагаемых в зоне возможного затопления.

Работоспособность и безопасность ГТС в процессе эксплуатации обеспечиваются посредством технического обслуживания, периодических осмотров и контрольных проверок, мониторинга состояния сооружений, их оснований и строительных конструкций, а также проведением текущих и капитальных ремонтов.

Параметры и характеристики сооружений, их основания и строительные конструкции должны в процессе эксплуатации соответствовать требованиям ПД и подтверждаться в ходе периодических осмотров, контрольных проверок и постоянного мониторинга.

При эксплуатации с учётом конструктивных особенностей каждого ГТС, его технического состояния и условий эксплуатации должны быть установлены конкретный состав и периодичность выполнения работ по техническому обслуживанию, определены подразделения и лица, ответственные за безопасную эксплуатацию, введена система контроля за устранением выявленных дефектов и повреждений.

Для обеспечения безопасного и работоспособного состояния ГТС необходимо осуществлять следующие формы контроля их состояния:

- регулярные визуальные и инструментальные наблюдения, в том числе с применением компьютерных систем диагностического контроля (мониторинга), для оперативного прогнозирования и своевременного выявления повреждений;
- периодические обследования, предшествующие декларированию безопасности ГТС (преддекларационные обследования), выполняемые не реже, чем один раз в пять лет;

– комплексные периодические исследования надёжности ГТС, выполняемые не реже, чем через 25 лет службы ГТС, а в дальнейшем по мере возрастания риска аварий, но не реже, чем через 10 лет, с целью установления изменений внешних воздействий, свойств материалов сооружений и оснований, также показателей прочности и устойчивости сооружений, риска аварий ГТС;

– целевые обследования, выполняемые при обнаружении отказов, дефектов и повышении рисков возникновения аварийных ситуаций;

– внеочередные обследования сооружений после чрезвычайных стихийных явлений или аварий;

– обследование подводных частей сооружений и их водопропускных трактов, осуществляемое после первых двух лет эксплуатации и в дальнейшем каждые пять лет.

Общие правила обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений определяет ГОСТ Р 53778–2010.

На эксплуатируемых ГТС I, II и III классов в обязательном порядке проводят инструментальные и визуальные натурные наблюдения.

Ограничить проведение натурных наблюдений только геодезическими и визуальными наблюдениями допускается лишь на ГТС IV класса.

Состав и периодичность циклов регулярных инструментальных и визуальных натурных наблюдений за ГТС в период эксплуатации определяет программа наблюдений, разрабатываемая в проекте, с учётом конструктивных особенностей сооружения, его технического состояния, условий эксплуатации и технических требований.

Соответствие ГТС нормам и правилам безопасности при эксплуатации подтверждают утверждаемой органом государственного надзора декларацией безопасности ГТС, разрабатываемой согласно требованиям законодательства, нормативных правовых актов федерального органа государственного надзора и ГОСТ Р 55260.1.1–2013.

При оценке ТС и безопасности эксплуатируемых ГТС различают четыре уровня их ТС и безопасности – нормальный, пониженный, неудовлетворительный (низкий), опасный (предаварийный).

Нормальный и пониженный уровни безопасности характеризуют работоспособное состояние ГТС, при котором значения показателей ТС не выходят за предупредительный уровень критериев безопасности К1.

Собственники ГТС (эксплуатирующие организации) обязаны обеспечить запас материалов и оборудования, необходимых для локализации возможной аварии сооружения в соответствии с планом организационных и технических мероприятий по предотвращению, локализации и ликвидации последствий его повреждений и разрушений.

Порядок сработки и наполнения водохранилища, режимы пропуска в нижний бьеф, нормальный и форсированный уровни водохранилища для водоподпорных ГТС устанавливают правила использования водных ресурсов водного объекта (водохранилища).

Указанные правила согласовывают с заинтересованными организациями для каждого водохранилища и утверждают государственные органы исполнительной власти, уполномоченные Правительством РФ.

Эксплуатируемые ГТС должны иметь технические паспорта, форма и содержание которых определяют требования НД технического регулирования и местными правилами технической эксплуатации ГТС.

Эксплуатацию ГТС организывают таким образом, чтобы обеспечивались требования их безопасности, энергетической эффективности, готовности к выработке мощности и работе в энергосистеме в соответствии с принятыми договорными обязательствами, пожарной безопасности и доступности для эксплуатационного персонала в течение всего срока эксплуатации.

Требования к техническому контролю обеспечения безопасности ГТС в процессе эксплуатации

На ГТС в установленные проектом сроки и в предусмотренном им объеме проводят наблюдения:

- за осадками и смещениями сооружений и их оснований;
- напряжённо-деформированным состоянием сооружений и оснований, трещинами в них, состоянием деформационных и строительных швов, креплений откосов грунтовых плотин, дамб, каналов и выемок, состоянием напорных водоводов;
- режимом уровней бьефов гидроузла, фильтрационным режимом в основании и теле грунтовых, бетонных сооружений и береговых примыканий, работой дренажных и противofiltrационных устройств, режимом грунтовых вод в зоне сооружений;
- воздействием потока на сооружение, в том числе за состоянием водобоя, гасителей и рисбермы водосбросных сооружений, размывами дна и берегов; истиранием и коррозией облицовок, просадками, оползневыми явлениями, заилением и зарастанием каналов и бассейнов; переработкой берегов водоемов;
- воздействием льда на сооружения и их обледенением.

Определённые проектом состав КИА и объём наблюдений за работой ГТС уточняют в зависимости от его состояния и изменений технических требований к контролю. Вносимые изменения согласовывают с проектной (специализированной) организацией.

Для повышения оперативности и достоверности инструментального контроля напорные ГТС I и II класса оснащают автоматизированными системами диагностического контроля.

Технические осмотры ГТС и их оборудования проводят закреплённым за ним эксплуатационным персоналом в сроки, установленные местными правилами технической эксплуатации ГТС.

Внеочередные осмотры сооружений должны быть проведены после пропуска паводка редкой повторяемости (обеспеченностью 5 % и менее) и после землетрясений интенсивностью 5 баллов и выше по системе MSK–64.

При существенных изменениях условий эксплуатации ГТС проводят дополнительные наблюдения по специальным программам, среди которых наблюдения за вибрацией сооружений, сейсмическими нагрузками на них,

прочностью, водонепроницаемостью и трещиностойкостью бетона, напряжённым состоянием и температурным режимом конструкций, коррозией металла и бетона, состоянием сварных швов металлоконструкций, фильтрационным режимом сооружений и оснований.

Полное обследование подводных частей сооружений и туннелей проводят впервые после двух лет эксплуатации, затем через пять лет, а в дальнейшем – по мере необходимости, но не реже, чем через 10 лет.

Обследование подводных частей сооружений выполняют с помощью современной сертифицированной аппаратуры, включающей в себя аппаратуру подводной фото- и телевизионной съёмки.

1.2. Водохранилища

В ГОСТ 19179–73 «Гидрология суши. Термины и определения» и ГОСТ 17.1.1.02–77 «Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Классификация водных объектов» приведены следующие термины и определения [13, 14].

Абсолютные колебания уровня – колебания уровня воды, обусловленные изменением объёма водоёма за определённый интервал времени.

Батиграфическая кривая – кривая зависимости площади водоёма и его объёма от глубины или высотных отметок, соответствующих различным уровням наполнения водоёма.

Часто используется кривая зависимости объёма воды в водоёме от уровня, которую называют привой объёмов.

Взвешенные наносы – наносы, переносимые водным потоком во взвешенном состоянии.

Влекомые наносы – наносы, перемещаемые водным потоком в придонном слое и движущиеся путём скольжения, перекатывания или сальтации.

Водный объект – сосредоточение природных вод из поверхности суши либо в горных породах, имеющее характерные формы распространения и черты режима.

К водным объектам единого государственного водного фонда (водные объекты) относят [ГОСТ 17.1.1.02–77]:

– реки, озера, водохранилища, другие поверхностные водоёмы и водные источники, а также воды каналов и прудов;

– подземные воды и ледники;

– внутренние моря и другие внутренние морские воды;

– территориальные воды (территориальное море).

К основным признакам, характеризующим особенности водных объектов, относят:

– физико-географические (общие);

– режимные (водный, ледовый, термический);

– морфометрические.

Признак водного объекта выражается набором характеристик:

– площадь (водосбора, водного зеркала и пр.), длина, глубина;

– расход и объем воды, скорость течения;

– уровень воды;

– температура воды;

– длительность неблагоприятных по водности и условиям водообмена периодов (межень, ледостав, отсутствие стока и т.п.);

– показатели условий водообмена;

– фильтрационные свойства почв и горных пород.

Географическое местоположение водоёма и сезон года, отражающий климатические условия формирования режима водоёма, определяемые также, как и для водотоков, даны в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Классификация водотоков по физико-географическим признакам

Характер увлажнения географической зоны	Индекс	Сезон года	Индекс	Характер действий водотока	Индекс
Недостаточное увлажнение	1	Зимне-весенний	1	Постоянный	1
		Летне-осенний	2	Временный	3
Избыточное и переменное увлажнение	2	Зимне-весенний	1	Постоянный	1
		Летне-осенний	2	Временный	3

Примечания;

1. Водоток с суммой индексов от 3 до 4 относят к 1-му разряду, с суммой индексов от 5 до 7 – ко 2-му разряду.

2. К зоне недостаточного увлажнения относится равнинная территория РФ, расположенная южнее изолинии 0,6 л/с·км² в соответствии с картой минимального 30-суточного стока 80 %-ой обеспеченности за летне-осенний сезон, указанный по определению расчётных гидрологических характеристик.

Основные морфометрические характеристики водоёма даны в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Классификация водоёмов по морфометрическим признакам

Индекс	Площадь поверхности		Объём		Максимальная глубина	
	Категория	Значение, км ²	Категория	Значение, км ³	Категория	Значение, км
1	Очень большая	> 1000	Очень большая	> 10,0	Большая	> 50
2	Большая	101 – 1000	Большая	1,1 – 10	Средняя	11 – 50
3	Средняя	10 – 100	Средняя	0,5 – 1,0	Малая	5 – 10
4	Малая	< 10	Малая	< 0,5	Очень малая	< 5

Примечание. Водоём с суммой индексов от 3 до 4 относится к 1-му разряду, с суммой индексов от 5 до 7 – к 6-му разряду, с суммой индексов от 8 до 10 – к 11-му разряду, с суммой индексов от 11 до 12 – к 15-му разряду.

При разработке водоохранных мероприятий для участков рек, расположенных ниже каскада водохранилищ или прудов, категорию и разряд водохранилищ или прудов определяют по их суммарным морфометрическим характеристикам.

Для водохранилищ определяют общую площадь поверхности и полный объём.

Основные черты гидрологического режима водоемов, влияющих на количество и качество воды, даны в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Классификация водоёмов по морфометрическим признакам

Индекс	Колебания уровня		Температура воды		Продолжительность ледостава	
	Категория	Значение, км	Категория	Значение, °С	Категория	Значение, мес.
1	Большая	> 20	Высокая	> 25	Длительная	> 5
2	–	–	Средняя	20 – 25	Средняя	2 – 5
3	Средняя	3 – 20	Низкая	< 20	Короткая	< 2
4	–	–	–	–	–	–
5	Малая	< 3	–	–	–	–

Величину колебаний уровня воды озёр и водохранилищ многолетнего регулирования определяют по разности между наибольшими и наименьшими уровнями, наблюдающимися за многолетний период для озёр и в средний по водности водохозяйственный год для водохранилищ, а водохранилищ сезонного, недельного и суточного регулирования – по разности уровней ежегодной сработки.

За продолжительность ледостава для данного водоёма или для данной территории (для неизученных водоёмов) принимают среднее количество дней за многолетний период.

За температуру воды принимают среднюю из суточных величин за летний период для среднего по климатическим условиям года.

Классификация водоёмов по условиям водообмена, учитывающим характер перемешивания и смены воды, дана в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Классификация водоёмов по условиям водообмена

Индекс	Стратификация	Вертикальная циркуляция		Характер озера	Характер регулирования стока водохранилищем	Водообмен	
		Категория	Значение в год			Категория	Значение в год
1	Стратифицированное	Замедленная	< 2	Бессточное	Многолетнее	Замедленная	< 0,1
2	Нестратифицированное	Умеренная	2	Сточное	Сезонное	Умеренная	0,1 – 5,0
3	—	Интенсивная	> 2	Проточное	Недельное	Интенсивная	> 5

Примечание. Водоём с суммой индексов от 4 до 6 относится к 1-му разряду, с суммой в дев от 6 и 8 – к 2-му разряду, с суммой индексов от 9 до 11 – к 3-му разряду.

За величину водообмена озера принимают отношение среднегодового притока воды в озеро к его объёму, а для водохранилища – отношение объёма стока воды через гидроузел в средний по водности год к полному объёму водохранилища.

Вертикальную циркуляцию считают интенсивной при вертикальном перемешивании вод более двух раз в году.

Класс и соответствующий подкласс водоёма устанавливают по табл. 1.5 в зависимости от суммы разрядов, номера которых определяют по табл. 1.1 – 1.4.

Таблица 1.5

Классы водоёмов

Сумма разрядов	Класс	Подкласс
< 5	I	А
6 – 9	I	Б
10 – 11	II	А
12 – 14	II	Б
15 – 16	III	А
17 – 19	III	Б
> 20 – 211	IV	А
> 22 – 23	IV	Б

Водный режим – изменение во времени уровней, расходов и объемов воды в водных объектах и почвогрунтах.

Водоток – водный объект, характеризующийся движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности.

Водоём – водный объект в углублении суши, характеризующийся замедленным движением воды или полным его отсутствием.

Различают естественные водоёмы, представляющие собой природные скопления воды во впадинах, и искусственные водоёмы – специально созданные скопления воды в искусственных или естественных углублениях земной поверхности.

Водосбор – часть земной поверхности и толща почв и горных пород, откуда вода поступает к водному объекту.

Выделяют поверхностный и подземный водосборы.

Водораздел – граница между смежными водосборами.

Различают поверхностный и подземный водоразделы.

Водохранилище – искусственный водоём, образованный водоподпорным сооружением на водотоке с целью хранения воды и регулирования стока.

Гидрология – наука, изучающая гидросферу, ее свойства и протекающие в ней процессы и явления во взаимосвязи с атмосферой, литосферой и биосферой.

Гидрометрия – раздел гидрологии суши, рассматривающий методы наблюдений за режимом водных объектов, применяемые при этом устройства и приборы, а также способы обработки результатов наблюдений.

Гидрологический прогноз – научно обоснованное предсказание ожидаемого гидрологического режима.

Гидрологический процесс – создание моделей, воспроизводящих отдельные стороны гидрологического процесса.

Гидрологический пост – пункт на водном объекте, оборудованный устройствами и приборами для проведения систематических гидрологических наблюдений.

Гидрологическая сеть – совокупность гидрологических постов, размещённых на какой-либо территории.

Гидрологическая станция – учреждение, задачами которого являются изучение гидрологического режима на территории его деятельности и оперативное обслуживание народного хозяйства.

Гидрометрические работы – комплекс работ, проводимых на водных объектах с целью измерения характеристик гидрологического режима.

Основными видами гидрометрических работ являются:

- наблюдения за уровнем воды и оборудование соответствующих устройств;
- измерение, расходов воды и насосов, учёт стока на ГЭС с производством;
- тарировки турбин и водосливных отверстий;
- наблюдения за температурой воды и толщиной льда.

Донные наносы – наносы, формирующие речное русло, пойму или ложе водоёма и находящиеся во взаимодействии с водными массами.

Заиление водохранилищ – процесс занесения чаши водохранилища наносами (рис. 1.5) [52, 62, 71].

Инфильтрация – просачивание, происходящее преимущественно по порам.



Рис. 1.5. Заиление водохранилища на реке Касмала Алтайского края (2014 г.) и его расчистка

Инфлюация – просачивание, происходящее преимущественно по трещинам, ходам и пустотам.

Наносы – твёрдые частицы, образованные в результате эрозии водосборов и русел, а также абразии берегов водоемов, переносимые водотоками, течениями в озерах, морях и водохранилищах, и формирующие их ложе (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Промыв от наносов гидроузла Кашхатау ГЭС на р. Черек (а) и очистка водохранилища Фронтное в Крыму от наносов и ила (б)

Относительные колебания уровня – колебания уровня воды, не связанные с изменением объёма водоема и обусловленные стонно-нагонными явлениями и сейшми.

На водохранилищах относительные колебания уровня часто вызывают неравномерным режимом работы гидроузлов.

Переформирование берегов водохранилищ – изменения первоначальной формы береговых склонов, подтопленных при образовании водохранилища, выражающиеся в разрушении надводной части склона волнами и образовании аккумулятивной береговой отмели (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Переформатирование берегов водохранилища

Поверхностные воды – воды, находящиеся на поверхности суши в виде различных водных объектов.

Попуски – периодическая или эпизодическая подача воды из водохранилища для регулирования расхода или уровня воды на нижележащем участке водотока или уровня воды в самом водохранилище.

Просачивание – проникновение воды в почвогрунты и движение её вниз.

Река – водоток значительных размеров, питающийся атмосферными осадками со своего водосбора и имеющий чётко выраженное русло.

Сальтация – перебрасывание наносов на короткие расстояния в придонном слое водного потока.

Сброс – удаление неиспользуемой части стока из водохранилища

Сток – движение воды по поверхности земли, а также в толще почв и горных пород в процессе круговорота её в природе.

Сель – стремительный поток большой разрушительной силы, состоящий из смеси воды и рыхлообломочных пород, внезапно возникающий в бассейнах небольших горных рек в результате интенсивных дождей или бурного таяния снега, а также прорыва завалов и морен.

Течение в водоёме – перемещение водной массы в определённом направлении, ограничиваемое берегами, дном водоёма, неподвижной водной массой или водной массой, перемещающейся в другом направлении.

Уровень воды – высота поверхности воды в водном объекте над условной горизонтальной плоскостью сравнения.

1.3. Использование водохранилищ

В Водном кодексе РФ [9] записано, что использование водохранилищ осуществляется в соответствии с правилами использования водохранилищ, включающими в себя правила использования водных ресурсов водохранилищ и правила технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ.

Правилами использования водных ресурсов водохранилищ определяется режим их использования, в том числе режим наполнения и сработки водохранилищ. Правилами технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ определяется порядок использования их дна и берегов. Установление режимов пропуска паводков, специальных попусков, наполнения и сработки водохранилищ осуществляется уполномоченным Правительством РФ федеральным органом исполнительной власти.

Перечень водохранилищ (в том числе водохранилищ с ёмкостью более десяти миллионов кубических метров), в отношении которых разработка правил использования водохранилищ осуществляется для каждого водохранилища (нескольких водохранилищ, каскада водохранилищ или водохозяйственной системы в случае, если режимы их использования исключают раздельное функционирование), устанавливается Правительством РФ.

Использование водохранилищ осуществляется в соответствии с типовыми правилами использования водохранилищ, утверждёнными уполномоченным Правительством РФ федеральным органом исполнительной власти.

Правила использования водных ресурсов водохранилища должны содержать:

- характеристики гидроузла, водохранилища либо нескольких водохранилищ или каскада водохранилищ и их возможностей, позволяющих регулировать уровень воды в водохранилищах;
- основные параметры и характеристики водохранилища, в том числе нормальный водоподпорный уровень, морфометрические, гидравлические, гидрологические и термические характеристики;
- состав и краткое описание ГТС основного гидроузла (плотин, водосборов, водозаборных, водовыпускных и других ГТС), судопропускных сооружений, рыбозащитных и рыбопропускных сооружений, а также сооружений, расположенных в акватории водохранилища и на специально отведённой территории водохранилища (водозаборных, водовыпускных сооружений, насосных станций, дамб, берегозащитных сооружений, объектов водного транспорта и других сооружений, функционирование которых оказывает воздействие на водный режим водохранилища);
- основные характеристики водотока (режим поступления вод и режим стока вод, сведения о водосборной площади, границы водохранилища, регулирующего водный режим, координаты ГТС и величины потерь стока вод);
- требования о безопасности водоподпорных сооружений, образующих водохранилище, о безопасности жителей и безопасности хозяйственных объектов в прибрежной зоне водохранилища и на нижележащем участке водотока;
- объём водопотребления;
- порядок регулирования режима функционирования водохранилища, в том числе для предупреждения аварий и иных ЧС в Единой энергетической системе России и при ликвидации их последствий;
- порядок оповещения органов исполнительной власти, водопользователей, жителей об изменениях водного режима водохранилища, в том числе о режиме функционирования водохранилища при возникновении аварий и иных ЧС;
- порядок проведения работ и предоставления информации в области гидрометеорологии;

– сведения о действиях, осуществляемых при возникновении аварий и иных ЧС, и перечень соответствующих мероприятий.

Правила использования водных ресурсов водохранилищ могут включать в себя необходимые материалы в графической форме и формы необходимых документов.

Правила технической эксплуатации и благоустройства водохранилища должны содержать:

- краткое описание водохранилища и ГТС, их основные параметры;
- сведения о зонах воздействия водохранилища (зоне постоянного затопления, зоне периодического или временного затопления, зоне повышения уровня грунтовых вод, зоне возможного изменения берегов водохранилища, зоне климатического воздействия водохранилища, зоне воздействия многолетнего, сезонного, недельного, суточного регулирования поверхностного стока вод в водный объект ниже гидроузлов);
- перечень мероприятий, осуществляемых при эксплуатации водохранилища в зимний период и в период пропуска паводков;
- перечень мероприятий, осуществляемых при эксплуатации водохранилища в случае возникновения аварий и иных ЧС (ливневый паводок, штормовой ветер, сложная ледовая обстановка, пропуск вод в катастрофически большом количестве, землетрясение и другие);
- ограничения эксплуатации водохранилища и перечень мероприятий по поддержанию надлежащего санитарного и технического состояния водохранилища, перечень мероприятий, осуществляемых в акватории водохранилища, его водоохранной зоне и в зоне водного объекта ниже плотины в связи с использованием водохранилища для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, рыболовства и охоты, рекреационных целей, для целей водного транспорта, сплава древесины и других целей, а также перечень мероприятий по предупреждению заиления (в том числе очистка от наносов, зарастания, меры по борьбе с цветением воды), по предотвращению поступления загрязняющих веществ и микроорганизмов в водохранилище, по обустройству берегов

водохранилища, зоны водного объекта ниже плотины в соответствии с требованиями их хозяйственного использования и требованиями охраны ОС;

- порядок организации ремонтно-эксплуатационных работ;
- порядок осуществления наблюдений за состоянием водохранилища (изменением стока вод, температурой воды, испарением, фильтрацией, химическим и биологическим составами воды, толщиной льда, движением наносов, заилением, изменением берегов и другими явлениями);
- учёт использования водных ресурсов водохранилища;
- перечень способов наблюдений за техническим состоянием водохранилища и входящих в его состав сооружений, порядок осуществления таких наблюдений.

Правила технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ могут включать в себя материалы в графической форме.

Разработка, согласование и утверждение правил использования водохранилищ, в том числе типовых правил использования водохранилищ, осуществляются в порядке, установленном Правительством РФ.

Типовые правила использования водохранилищ (приказ Минприроды от 24.08.2010 № 330) [67] гласят, что водохранилища могут использоваться для одной или нескольких целей, предусмотренных Водным кодексом РФ № 74-ФЗ от 03.06.2006 [2].

Использование водных ресурсов водохранилищ для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения приоритетно перед иными целями их использования.

Водохранилища, образованные для целей технического водоснабжения промышленных и сельскохозяйственных организаций, водообеспечения объектов теплоэнергетики и производства электрической энергии, орошения земель сельскохозяйственного назначения, используют на основании договоров, заключённых между уполномоченными органами исполнительной власти субъектов РФ и водопользователями с учётом интересов иных водопользователей с

соблюдением требований рационального использования и охраны водных объектов.

Водопользователи при использовании водохранилищ обязаны:

- не допускать нарушение прав других водопользователей, а также причинение вреда ОС;
- содержать в исправном состоянии эксплуатируемые ими очистные сооружения и расположенные в акватории водохранилища гидротехнические и иные сооружения;
- информировать уполномоченные исполнительные органы государственной власти субъектов РФ в области водных отношений об авариях и иных ЧС на водохранилищах;
- своевременно осуществлять мероприятия по предупреждению и ликвидации ЧС на водохранилищах;
- вести в установленном порядке учёт объёма забора (изъятия) водных ресурсов из водохранилищ и объёма сброса сточных вод и (или) дренажных вод, их качества, регулярные наблюдения за водохранилищами и их водохранными зонами, а также бесплатно и в установленные сроки представлять результаты учёта и регулярных наблюдений в соответствии с требованиями водного законодательства.

Собственники и эксплуатирующие ГТС организации оповещают органы исполнительной власти, органы местного самоуправления и водопользователей об изменениях водного режима водохранилища, в том числе при возникновении аварий на ГТС и иных ЧС, в порядке, определённом законодательством о защите населения от ЧС природного и техногенного характера.

Мероприятия по технической эксплуатации и благоустройству водохранилища осуществляют постоянно, в течение всего года.

При эксплуатации водохранилищ в зимний период времени собственники ГТС, образующих водохранилища, и (или) эксплуатирующие ГТС организации осуществляют мероприятия по предотвращению повреждений ГТС и берегов водохранилищ в результате ледовых воздействий. В период установления ледя-

ного покрова на акватории водохранилища, в целях быстрее образования сплошного ледяного покрова, предотвращения образования навалов льда перед ГТС и на откосах водохранилищ, а также возникновением зажоров в нижнем бьефе, сброс воды из водохранилища уменьшается. При образовании ледяного покрова значительной толщины уровень воды в водохранилище необходимо держать постоянным, сбрасывая всю поступающую воду в нижний бьеф.

Минимально возможный уровень воды в водохранилище для зимних условий устанавливают с учётом обеспечения зимовки водных биологических ресурсов, обитающих в водохранилище. В случае, если предшествующий летний период эксплуатации водохранилища сопровождался интенсивным развитием водной растительности, необходимо:

- ограничивать зимнюю сработку водохранилища;
- проводить мероприятия, направленные на увеличение концентрации растворённого кислорода в воде.

Ежегодно, за один месяц до прогнозируемого срока наступления весеннего половодья собственники ГТС, образующих водохранилища, и (или) эксплуатирующие ГТС организации осуществляют следующие мероприятия:

- проверяют состояние ГТС напорного фронта и береговой зоны водохранилища;
- проводят необходимый ремонт сооружений, конструкций и механизмов, обеспечивающих пропуск половодья;
- проверяют работу КИА;
- апробируют работу затворов, подъёмных механизмов и устройств автоматического управления;
- проверяют надёжность электропитания подъёмных механизмов затворов.

В случае выявления на ГТС неисправностей, которые к началу периода половодья (летних паводков) устранить не представляется возможным, при этом они могут привести к возникновению ЧС, принимают меры по незаполнению водоёма в период половодья или паводков.

При выпадении сильного дождя ливневого характера в период максимальных уровней воды в водохранилище водосбросные и водозаборные сооружения открывают для пропуска поступающей воды с учётом пропускной способности отводящего тракта.

С целью предупреждения зарастания акватории водохранилища и цветения воды уполномоченными органами исполнительной власти субъектов РФ реализуют следующие мероприятия:

- высадка тростника;
- заселение водохранилища гидрофитами с обязательной уборкой (осенью) образующейся растительной массы;
- локальное изъятие иловых отложений;
- механическое изъятие избыточной биомассы водорослей из водохранилищ в местах их массовых скоплений;
- санитарная обработка после сработки водохранилища до отметки уровня мертвого объёма.

В период сработки водохранилища перед началом половодья, а также в процессе пропуска половодья и паводков, при наличии благоприятного прогноза по водности года, собственники ГТС, образующих водохранилища, и (или) эксплуатирующие ГТС организации осуществляют мероприятия по очистке дна водохранилища от наносов (промыв водохранилища от наносов). Данные мероприятия проводят при возможности создания в верхнем бьефе скорости течения, обеспечивающей размыв и транспортировку отложений наносов (не ниже 0,8 – 1,0 м/с).

При проведении промыва водохранилища от наносов:

- максимально сокращают перерывы в подаче воды по согласованию с иными водопользователями;
- скорости сработки и наполнения водохранилища обеспечивают с учётом требований безопасности ГТС (обеспечения устойчивости откосов ГТС, а также берегов водохранилища);

– в случае работы ГТС в каскаде попуски в нижний бьеф осуществлять при условии обеспечения безопасности нижерасположенных ГТС;

– заблаговременно согласовывают с водопотребителями, органами местного самоуправления, органами исполнительной власти соответствующего субъекта РФ, территориальными органами Роспотребнадзора, Роприроднадзора, Росрыболовства, Росморречфлота и другими заинтересованными организациями время и продолжительность промыва водохранилища. Непосредственно перед началом сброса воды из водохранилища указанные лица, органы и организации оповещают о предстоящем промыве.

В случае значительного заиления водохранилища удаление наносов осуществляют механическим способом (земснарядами, землечерпалками).

Защиту берегов водохранилища от размыва и разрушений при сезонных колебаниях уровня воды и волновых воздействиях, а также предотвращение эрозии почв и развития овражной системы на территории, прилегающей к водохранилищу, осуществляют уполномоченные органы исполнительной власти субъектов РФ следующими методами:

– уполаживание откосов, засев откосов специальными травами или одерновка поверхности естественным дерном;

– укрепление склонов вяжущими материалами с пропиткой грунта битумной эмульсией с применением цемента, битумов, латексов, различных битумных эмульсий;

– покрытие берега хворостяной выстилкой или плетнями, фашинами, деревянными креплениями;

– отсыпка каменной наброски без подготовки ее основания и возведения дополнительных креплений на стыке её с прибрежной отмелью;

– отсыпка песчано-гравийной смеси с уклоном от 1,5 до 2° в сочетании с поперечными бунами из негабаритного камня;

– намыв пологих песчаных пляжей;

– планировка откосов высокого абразивного берега и укладка бетонных плит без подготовки основания;

- укрепление откосов габионной кладкой;
- облицовка разрушаемого места бетоном или железобетоном;
- устройство специальных подпорных стенок;
- систематический надзор, уход и ликвидация рытвин и промоин, образовавшихся после ливней и снеготаяния;
- содержания и охраны существующих лесных насаждений и кустарников на склонах и прилегающих к водохранилищу территориях;
- посадки специальных пород деревьев и кустарников;
- засев разрушаемой территории укрепляющими травами;
- систематический надзор, уход и ликвидация рытвин и промоин, образовавшихся после ливней и снеготаяния;
- устройство на склонах специальных водоперехватывающих нагорных валов и каналов;
- устройство в оврагах специальных сооружений (запруд, ступенчатых перепадов, быстотоков и т.д.).

Собственник ГТС или эксплуатирующая организация обеспечивает наличие документов, содержащих сведения о водохранилище, гидроузле и мерах по обеспечению безопасности ГТС, а также осуществляет ведение и хранение документации, в которую заносят информацию о результатах наблюдений за режимом работы и состоянием водохранилища и ГТС, расположенных на водохранилище, и о работах, проводимых при эксплуатации водохранилища.

1.4. Нурекский гидроузел на реке Вахш

Река Вахш (перс. *وخش*), текущая по Киргизии (1/3, верхнее течение) и Таджикистану (2/3, нижнее течение), сливается с рекой Пяндж и образует реку Амударья. Длина реки Вахш составляет 524 км, средний расход в среднем течении 660 м³/сек, наибольший (в июле) — 3120 м³/сек, наименьший (в феврале) — 130 м³/сек, площадь бассейна 39,1 тыс. км² (рис. 1.8) [1, 31, 55, 56].

Река Вахш обладает гигантским энергетическим потенциалом. Каскад ГЭС расположен в нижнем течении реки Вахш в Республике Таджикистан. Проект каскада включает в себя девять ГЭС. Каскад состоит из восьми действующих станций и одной проектируемой (Шурабская ГЭС) (рис. 1.9).

Суммарная установленная мощность действующих станций каскада составляет 4775 МВт, проектная выработка электроэнергии – около 20 млрд кВт·ч в год. При полностью реализованном каскаде общая мощность составит 9195 МВт, проектная выработка электроэнергии – 37 млрд кВт·ч в год (табл. 1.6).

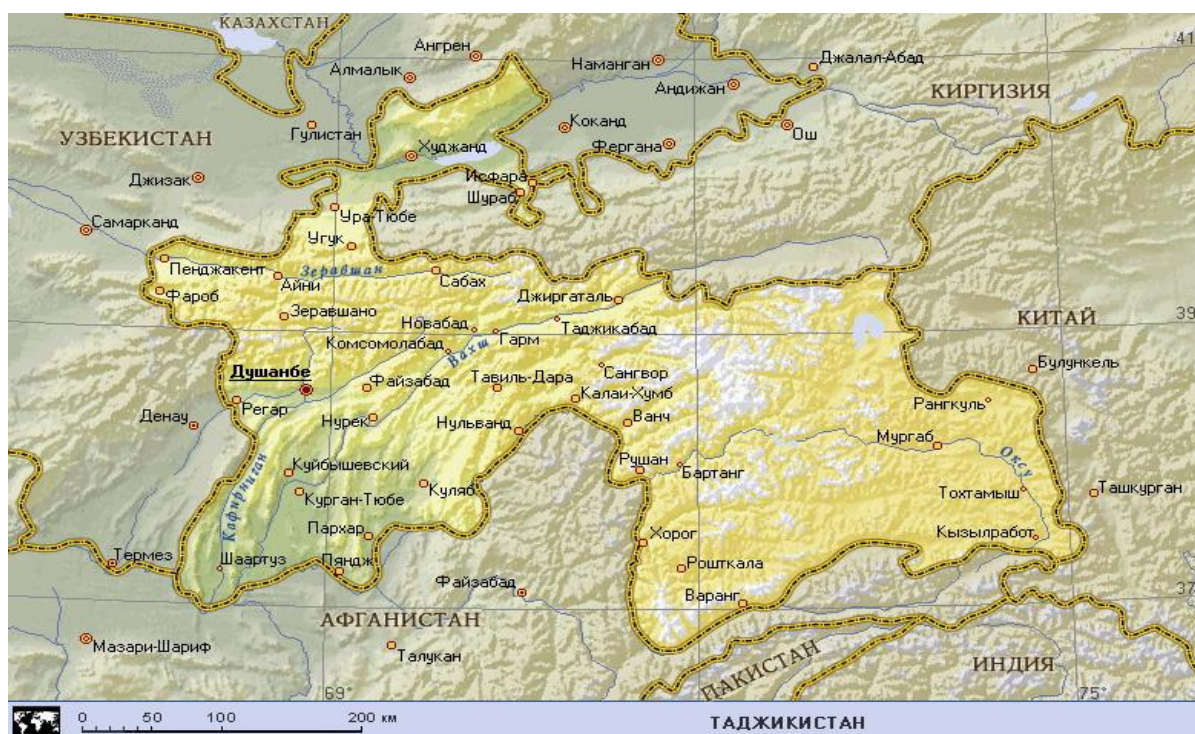


Рис. 1.8. Карта Таджикистана с рекой Вахш

Таблица 1.6

ГЭС на реке Вахш, входящие в каскад (по порядку вниз по течению)

Название	Установленная мощность, МВт	Проектная среднегодовая выработка, млрд кВт·ч	Статус
Рогунская	3600	13,1	Действует с 2018 года
Шурабская	862	3,0	Проектируемая
Нурекская	3000	11,2	Действует с 1972 года
Байпазинская	600	2,5	Действует с 1986 года
Сангтудинская ГЭС-1	670	2,7	Действует с 2008 года
Сангтудинская ГЭС-2	220	0,9	Действует с 2011 года
Головная	240	1,3	Действует с 1962 года
Перепадная	29,5	0,22	Действует с 1958 года
Центральная	15,1	0,11	Действует с 1964 года

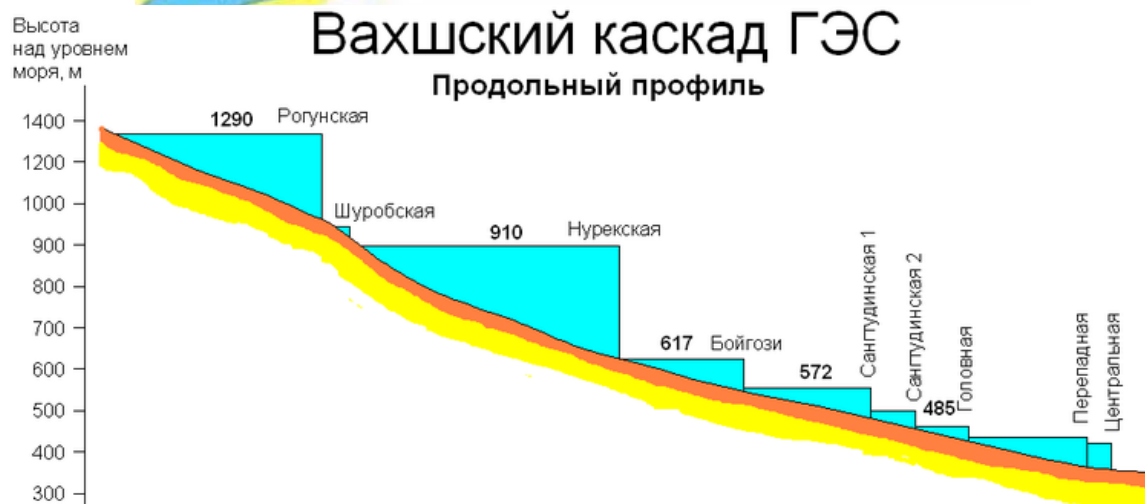
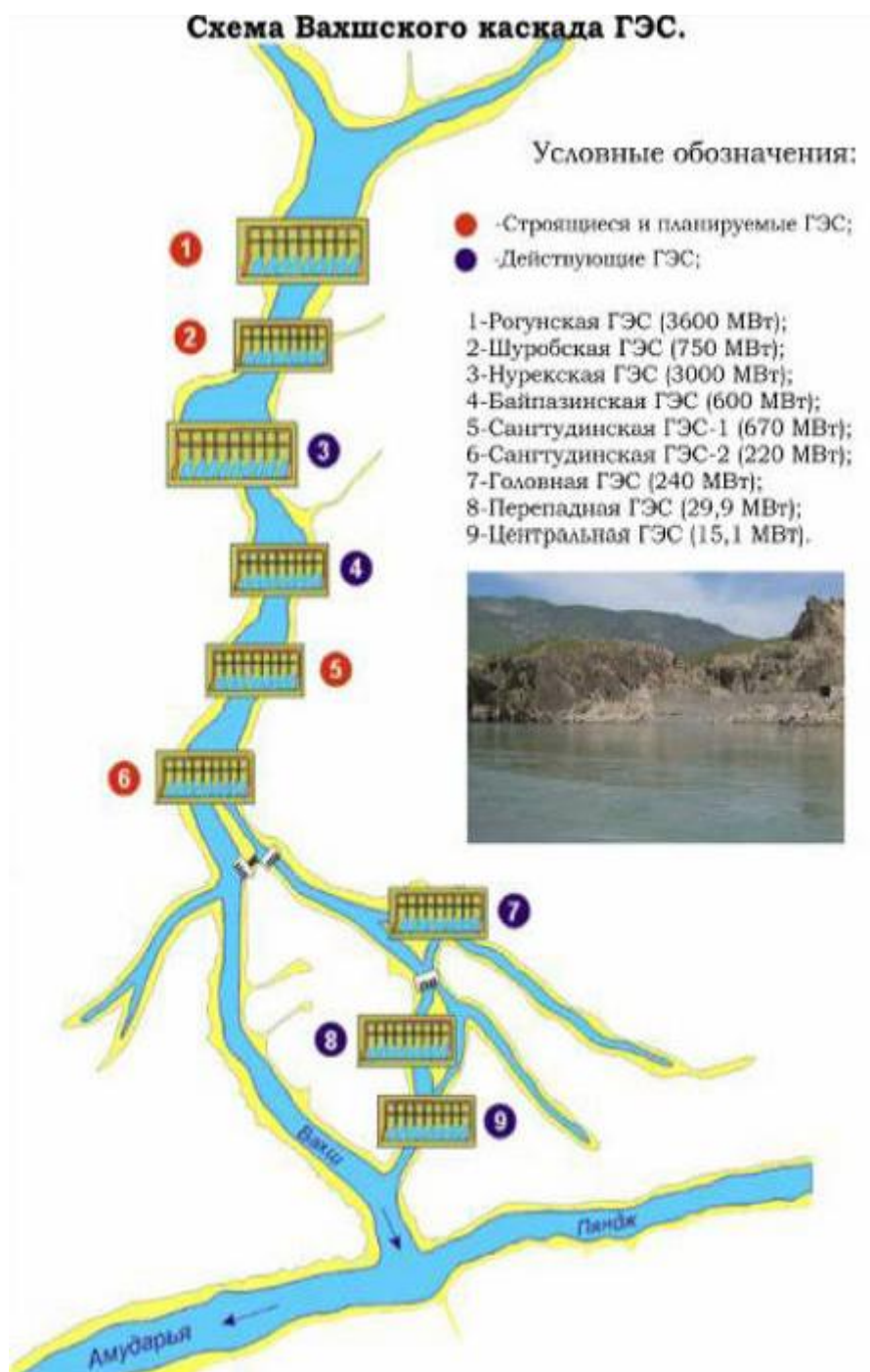


Рис. 1.9. Каскад ГЭС на реке Вахш

Нурекская ГЭС – гидроэлектростанция вблизи города Нурек в Таджикистане на реке Вахш.

Нурекская ГЭС – крупнейшая электростанция Таджикистана, самая мощная гидроэлектростанция в Средней Азии. Входит в состав Вахшского каскада ГЭС, являясь его второй ступенью. Плотина Нурекской ГЭС высотой 300 м долгое время являлась самой высокой в мире, с 2013 года является второй по высоте.

Нурекская ГЭС является плотинной гидроэлектростанцией с приплотинным зданием ГЭС. Установленная мощность электростанции – 3000 МВт, располагаемая мощность – 2320 МВт, проектная среднегодовая выработка электроэнергии – 11200 млн кВт·ч.

Сооружения гидроузла включают в себя:

- каменно-земляная плотина с ядром из суглинисто-супесчаного грунта, отсыпанную из гравелисто-галечниковых грунтов. В основании плотины устроена массивная бетонная пробка. Длина плотины по гребню – 714 м, максимальная высота – 300 м, объём 56 млн м³. Является самой высокой грунтовой плотинной в мире (рис. 1.10 а);

- левобережный катастрофический водосброс с поверхностным водозабором, состоящий из двухпролётного водоприёмника (ширина пролётов по 12 м), оборудованного сегментными затворами, безнапорного тоннеля корытообразного сечения 10х11 м и длиной 1110 м, лотка быстрого тока и консольного сброса. Отметка порога водоприёмника находится на 12,3 м ниже отметки НПУ. Пропускная способность водосброса при НПУ – 2020 м³/с (рис. 1.10 б);



а – каменно-земляная плотина



б – левобережный водосброс



в – водоприёмник



г – машинный зал



д – здание ГЭС



е – центральный пульт управления



ж – открытое распределительной устройство ОРУ-500

Рис. 1.10. Нурекская ГЭС

– левобережный катастрофический водосброс с глубинным водозабором, состоящий из входного портала, тоннеля корытообразного сечения 10x10 м длиной 1,4 км, камер затворов, лотка быстротока и консольного сброса. Отметка порога водоприёмника находится на 100 м ниже отметки НПУ. Пропускная способность водосброса при НПУ – 2020 м³/с;

– правобережный водоприёмник башенного типа высотой 86 м, с тремя водозаборными отверстиями пролётом 10 м, с порогами на 73 м ниже отметки НПУ, перекрываемые плоскими затворами (рис. 1.10 в);

– три напорных тоннеля длиной от 395 до 450 м и диаметром по 10 м. Каждый тоннель завершается развилкой на три тоннельных турбинных водовода диаметром по 6 м и длиной от 610 до 666 м;

– наземное здание ГЭС, расположенное в русле реки у подножия плотины (рис. 1.10 г, д);

– два тоннельных водосброса строительного периода и временный подводящий тоннель для пуска первых трёх гидроагрегатов при низких отметках водохранилища, в настоящее время выведенные из эксплуатации.

В здании ГЭС установлены 9 вертикальных гидроагрегатов, из которых 8 имеют мощность 335 МВт и один – 320 МВт, с радиально-осевыми турбинами, работающими при расчётном напоре 223 м. Перед турбинами установлены шаровые затворы диаметром 4,2 м.

Плотина ГЭС образует крупное Нурекское водохранилище. (рис. 1.11). Площадь водохранилища 98 км², полный объём – 10,5 км³, полезный объём – 4,5 км³, что позволяет проводить сезонное регулирование стока. Отметка нормального подпорного уровня водохранилища составляет 910 м, уровня мёртвого объёма – 857 м.

В 2009 году российские специалисты провели на Нурекской ГЭС важную технологическую операцию по установке нового рабочего колеса весом 65 т, которая продлила срок службы станции ещё на 30 – 50 лет.



Рис. 1.11. Нурекское водохранилище

В связи с ухудшением состояния станции, разработан и реализуется проект её модернизации. В 2013 году было заменено оборудование ОРУ напряжением 220 кВ на современное КРУЭ-220 кВ.

В 2016 году была проведена аналогичная замена ОРУ-500 кВ на КРУЭ-500 кВ.

В 2019 году начата реализация следующей фазы проекта модернизации, который планируется выполнить в два этапа. На первом этапе к 2023 году планируется заменить три гидроагрегата и автотрансформаторы, на втором этапе в

2024 – 2028 годах – заменить остальные шесть гидроагрегатов. Также должно быть заменено вспомогательное оборудование и проведены работы по реабилитации плотины. После завершения модернизации станции её мощность должна возрасти до 3300 МВт.

Во многих странах мира используют формальную систему классификации ICOLD (Международной комитет по высоким плотинам) для определения степени риска, который связан со материальными исходами людей и (или) с ущербом имущества в результате наводнения по вине работы плотины или в случаях паводковых явлений. Величина риска зависит частично от характеристики плотин и резервуара, частично от условий нижнего бьефа плотины. Факторы риска по безопасности плотин согласно процедуре ICOLD Бюллетень 72 (ICOLD 1989) представлен в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Фактор риска Нурекской плотины

Показатель	Числовое значение	Балл
Объём водохранилища, м 10 ⁶	10	12
Высота плотины, м	300	12
Эвакуационная потребность	>1000	6
Потенциальный ущерб	Большой	6
Всего	—	36

Итоговый фактор риска для Нурекской плотины составляет 36 баллов, что классифицирует плотину как относящуюся к самой высокой степени (IV) риска.

Выводы по первой главе

Проанализирована нормативно-техническая документация по безопасности ГТС.

Объединены требования различных нормативно-технических документов к безопасности ГТС.

Обсуждены водохранилища ГТС и требования к их безопасности.

Сформулированы задачи исследования для повышения безопасности ГТС, возведённых на водорастворимом основании.

ГЛАВА 2. ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В ЗОНЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БАССЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Как известно, на сегодняшний день одной из наиболее актуальных и серьёзных проблем ОС и человечества является проблема изменения климата, которая обусловлена повышенной концентрацией парниковых газов в атмосфере, что ведёт к увеличению парникового эффекта и повышению глобальной температуры. Очевидно, что потепление глобального климата представляет собой серьёзную угрозу глобальной ОС и социально-экономическому развитию человечества. Также потепление климата планеты за последние 40 – 50 лет не может быть объяснено лишь природными изменениями, однако оно хорошо объясняется совместным воздействием антропогенных и природных изменений.

По данным Евразийского банка развития, рост температуры воздуха в бассейне Аральского таков: в Казахстане увеличилась на 0,26 °С; в Узбекистане выросла на 0,29°С; в Туркменистане – на 0,18°С; в Таджикистане увеличивалась на 0,10°С; в Киргизии рост температуры был самым низким. Ибо, за период 1883 – 2005 гг. рост температура каждые 10 лет в Киргизии не превышало 0,08°С. Данная картина объясняется тем, что ледники Кыргызстана и Таджикистана существенно сглаживают климатические изменения в этих странах.

Наряду с температурой, ещё одним метеорологическим фактором, определяющим изменение климата, является атмосферные осадки.

По некоторым исследованиям [6,7], Центрально-азиатский регион является одним из самых засушливых регионов земного шара. В нём сильна тенденция к потеплению климата, которая в последние годы усилилась. За последние более 80 лет в Таджикистане и в Центральной Азии в целом, произошло более десяти засух, самые сильные, из которых были в 1940, 1947, 1956, 1971, 1980, 1988, 2000 – 2001 и 2007 – 2008 гг. Другие исследования показывают, что количество осадков, вероятно, будет увеличиваться на 0,5 – 1% каждое десятилетие в средних и высоких широтах северного полушария за последнее столетие. Однако в

этот период не только в Таджикистане, но и во всём мире количество ледников уменьшилось, а в некоторых регионах ледники полностью исчезли. И это во многом основная причина обострения проблемы водных ресурсов в Центральной Азии [1, 6, 7, 55, 56].

Высокие температуры и уменьшение выпадения снега приведут к медленному, но неуклонному таянию ледников на территории Таджикистана и Кыргызстана, что, в свою очередь, отразится на питании Амударьи, Сырдарьи и их притоков. Снижение общего объёма поверхностного стока может варьироваться от двух до пяти процентов в бассейне Сырдарьи и от 10 до 15% в бассейне Амударьи.

На рис. 2.1 показано колебания и тенденция количества атмосферных осадков в страны бассейна реки Амударьи.

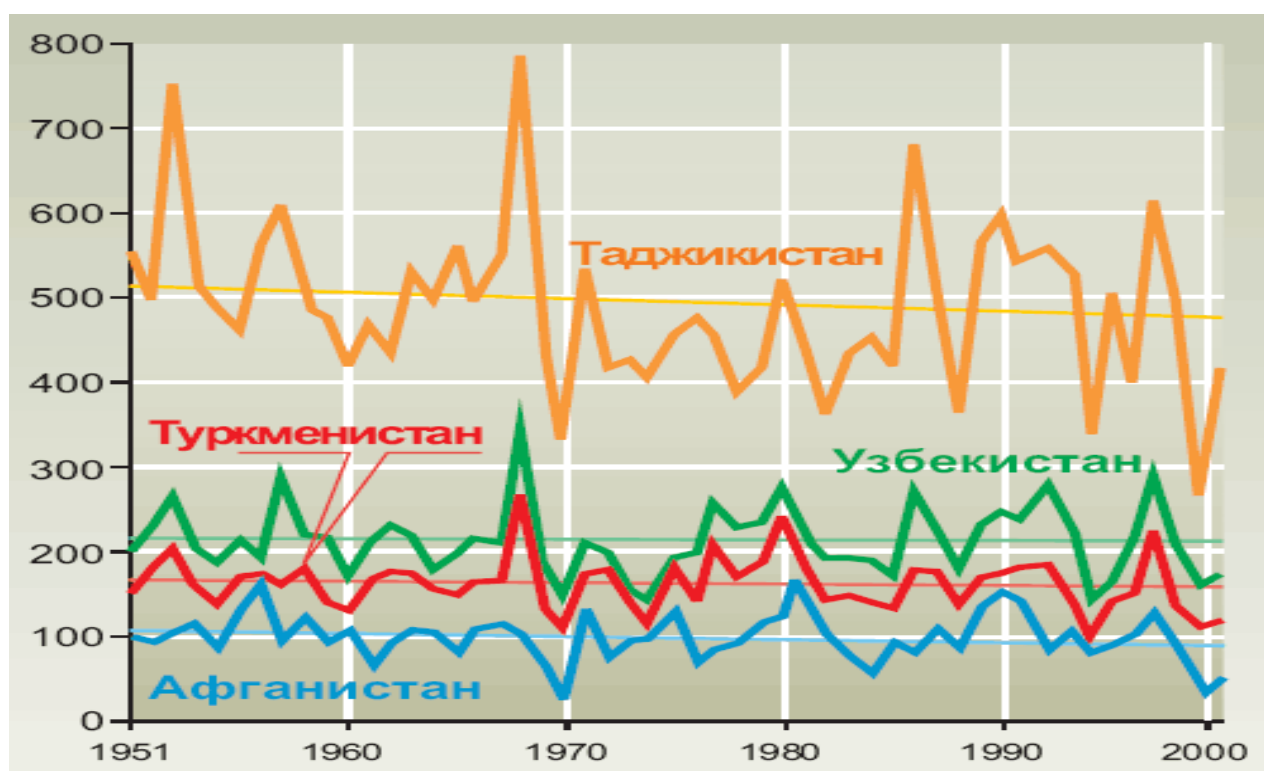


Рис. 2.1. Количество осадков по странам, мм

Аральское море (Арал, каз. *Арал теңізі*, узб. *Orol dengizi*, каракалп. *Aral ten'izi*) – бессточное солёное озеро на юго-западе Средней Азии, на границе Казахстана и Узбекистана, исчезающее в результате хозяйственной деятельности человека (табл. 2.1, рис. 2.2).

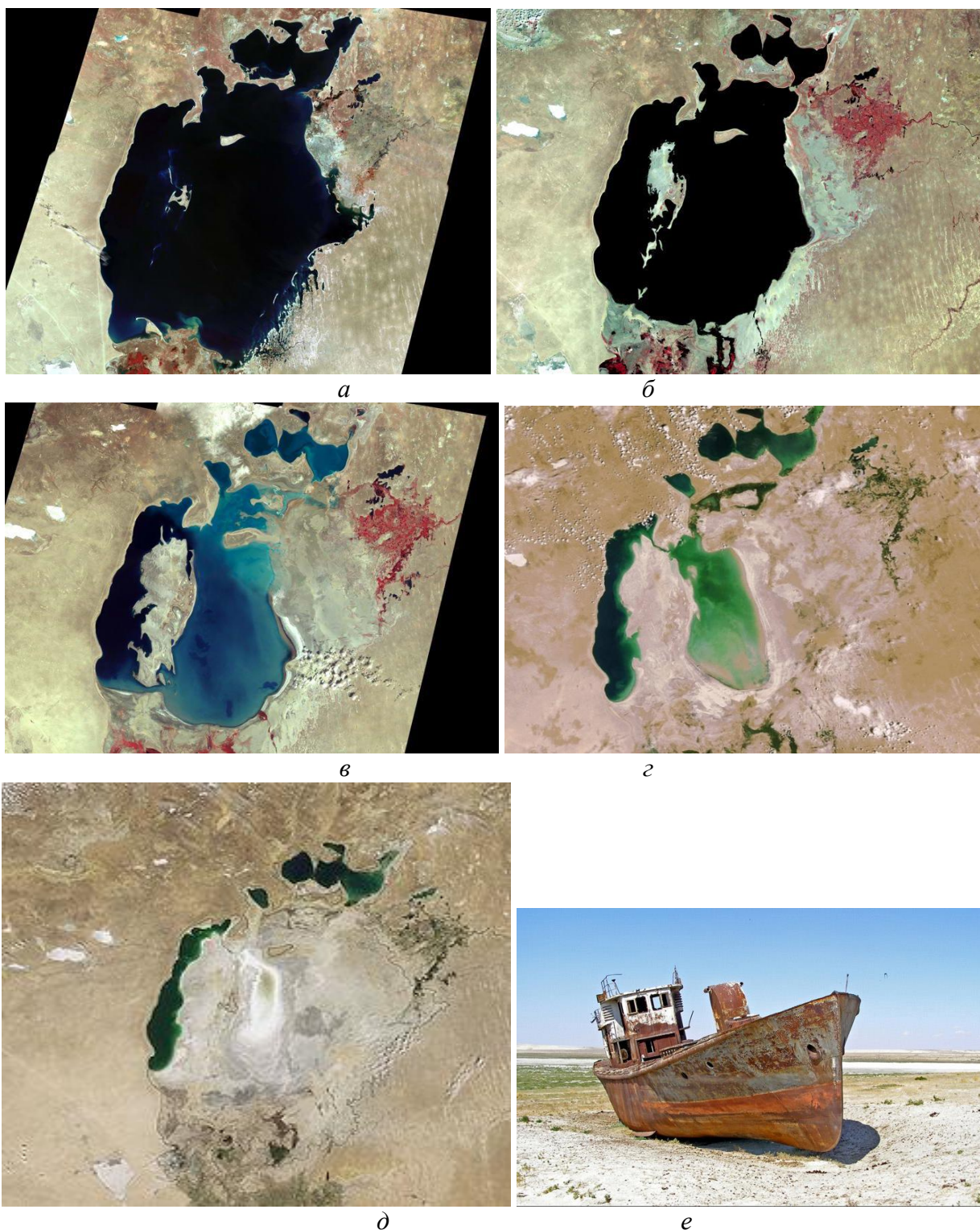


Рис. 2.2. Аральское море:
a – 1973; *б* – 1987; *в* – 1999; *г* – 2006; *д* – 2009; *е* – дно моря

Таблица 2.1

Параметры Аральского моря

Показатели	1960	1990	2003	2007
Уровень воды, м	53,40	38,24	31,0	
Объём, км ³	1.083	323	112,8	75
Площадь поверхности, тыс. км ²	68,90	36,8	18,24	14,18
Минерализация, ‰	9,90	29	78,0	100
Сток, км ³ /год	63	12,5	3,2	

2.1. Динамика изменения метеорологических условий бассейна реки Вахш

Климат Таджикистана является континентальным, однако огромный перепад высот в сочетании с весьма сложной структурой рельефа обуславливает существование уникальных региональных и местных климатических зон с большими различиями в температурах, что связано со значительными суточными и сезонными колебаниями погодных условий. Климат Таджикистана охватывает широкий диапазон температуры воздуха, условий влажности, характера атмосферных осадков и интенсивности солнечной радиации. Засушливый климат, высокие температуры и значительные изменения практически всех метеорологических условий в течение года являются особенностями климата территории Таджикистана. Помимо перепада высот, характер и распределение осадков зависят от расположения и ориентации горных хребтов, влияющих на циркуляцию воздушных масс.

Климат бассейна реки Вахш имеет свои особенности в связи с тем, что его территория расположена как в горах и предгорьях, так и в долинах и плато. Несмотря на это, территория бассейна и перепад высот в этом регионе, похоже, имеют много общего. От равнин долин до вершин высоких хребтов наблюдается тёплое лето и умеренная зима (Вахшская долина) и умеренное лето и снежная зима (Раштская долина). Это неспроста, ведь нижняя часть бассейна реки Вахш – плато, а верхняя находится в ущелье. Отсутствие высоких гребней в низовьях препятствует скоплению влажного воздуха. Влага, которая в бассейне реки Вахш приходит с юго-западной стороны, является основным источником воды во всём бассейне. Однако, количество осадков меняется в зависимости от времени года, географии местности, положения хребтов с юга на северо-восток.

Осадки, которые являются одним из важнейших метеорологических факторов, также могут привести ко многим ЧС. В бассейне реки Вахш наибольшее количество осадков выпадает в марте-апреле, а в августе-сентябре значительно уменьшается. После апреля количество осадков постепенно уменьшается, а с наступлением холодным периодом, т.е. с октября снова увеличивается. По мно-

голетним данным Агентства по гидрометеорологии Республики Таджикистан в бассейне реки Вахш годовое количество осадков составляет 143 – 297 мм, а в апреле-сентябре колеблется от 45 – 77 мм. Таким образом, среднегодовое количество осадков по данным четырёх метеостанций бассейна составляет 40 % зимой, 48 % весной, летом 1,5 % и 10,5 % – осенью.

Температура также является важным метеорологическим фактором, который напрямую влияет на другие метеорологические компоненты. Поэтому снижение температуры приводит к ЧС и способствуют их возникновению. Известно, что на территорию Таджикистана тепло летом приходит с юга – с Аравийского полуострова, Персидского залива, а холод зимой с севера – с Северного Ледовитого океана, Сибири. Поэтому атмосфера в регионе часто находится под влиянием циклонов и антициклонов, и эти взаимодействия приводят к быстрым изменениям метеоусловий.

По данным Агентства по гидрометеорологии Республики Таджикистан, вертикальный градиент температуры воздуха увеличивается с высотой, особенно при переходе от долины к высокогорью и ледниковой зоне (гляциальной). Как уже отмечалось, бассейн реки Вахш расположен как в высокогорье, так и в долинах, поэтому важно определить вертикальный градиент температуры в этом бассейне. Например, если между метеостанциями Рашт и Альтынмазар этот показатель равен 0,51°C, то между метеостанциями Альтынмазара до крупнейшего горно-долинного ледника в мире – ледника Федченко достигает 0,73°C. Для подтверждения этого в табл. 2.2 показано изменение градиента температуры воздуха в зависимости от высоты в некоторых речных бассейнах Таджикистана.

Как известно, в горной территории, к которой относится основная часть Таджикистана, основными климатообразующими факторами, кроме географической широты и атмосферной циркуляции, является высота места над уровнем моря и орография.

**Изменения температуры в зависимости от высоты
в некоторых речных бассейнах Таджикистана**

Нижняя метеостанция, м (н.у.м)	Верхняя метеостанция, м (н.у.м.)	Градиент температуры на каждые 100 м
Бассейна реки Зерафшан		
Сангистон, 1520	Мадрушкет, 2250	0,60
Мадрушкет, 2250	Дехавз, 2560	1,00
Бассейна реки Кафирниган		
Душанбе, 830	Гушарьи, 1360	0,56
Гушарьи, 1360	Анзоб, 3370	0,60
Бассейна реки Вахш		
Рашт, 1320	Альтинмазар, 2780	0,51
Альтинмазар, 2780	Федченко, 4169	0,73
Бассейн реки Пяндж		
Дарвоз, 1280	Рохарв, 1280	0,70
Ирхт, 3300	Хобурабат, 3350	0,71

Влияние рельефа на климат велико и чрезвычайно разнообразно. Оно имеет две характерные черты:

- под влиянием особенностей рельефа создаются специфические особенности климата в горной территории;
- горные системы, изменяя процессы адвекции воздушных масс и атмосферной циркуляции, оказывают существенное влияние на климат и погоду прилегающих районов.

Как горная страна, Таджикистан имеет уникальные природно-климатические условия и занимает важное географо-экологическое положение в Центральной Азии. Природные условия Таджикистана определяют не только климатические особенности страны, но и климат региона в целом. В Таджикистане преобладают горные экосистемы, охватывающие 80 % всего разнообразия растений и животных. Горные экосистемы являются одной из самых хрупких экосистем земного шара и очень чувствительны к климатическому изменению. Важно отметить, что эксперты Рамочного соглашения изучили эти вопросы на 58 метеорологических станциях Таджикистана, расположенных на высотах от 300 до 4200 м над уровнем моря, 30 из которых в 1961 – 1990 гг. в зависимости от сезона. Были сделан вывод, что температура в Таджикистане за последние 65 лет повысилась на 1,2 – 1,9°C в городах, на 0,7 – 1,2°C на равнинах

и на $0,1 - 0,7^{\circ}\text{C}$ в некоторых горных районах. При этом выяснилось, что в эти годы в высокогорных районах страны, наоборот, температура опустилась на $0,1 - 0,3^{\circ}\text{C}$. В то же время, исходя из сценария изменения климата, было определено, что средняя температура воздуха в Таджикистане повысилась на $0,5 - 2,2^{\circ}\text{C}$ за последние 50 лет. Также некоторые исследователи прогнозируют, что температура в Таджикистане повысится на $1,5^{\circ}\text{C}$ к 2030 году и на $1,8 - 2,9^{\circ}\text{C}$ к 2050 году.

Влагообеспеченность. Атмосферные осадки, как и температура воздуха, относятся к одной из наиболее важных метеорологических величин, являясь основным источником увлажнения суши. Количество атмосферных осадков определяется, в основном, орографическими условиями и циклонической деятельностью.

Из-за большой пространственной изменчивости выпадения осадков по территории Таджикистана, установление месячных данных осадков для большинства метеостанций оказалось невозможным, поэтому анализ месячных осадков проводился по небольшому ряду станций. При анализе изменения годовых сумм осадков выявлено их значительное колебание во времени и выделяется ряд очень сухих и очень влажных периодов.

2.2. Оледенение и состояние ледников верховья бассейна реки Вахш в условиях изменяющегося климата

Ряд исследований показывают, что изменения климата имеет негативное влияние на ледники всех речных бассейнов Таджикистана. Например, одной из основных причин относительного сокращения ледников в бассейне реки Зерафшан заключается в том, что они расположены ниже фирновой линии (70 % ледников расположены ниже фирновой линии), что даёт преимущество таянию ледников над их питанием. По сравнению с ледниками Кавказа, Урала и Альп, ледники, находящиеся в бассейне реки Зерафшан, намного выше, что в первую очередь связано с высокими летними температурами, недостаточной влажно-

стью, малым годовым количеством осадков и неблагоприятной ориентацией долин, а также с орографическими и гипсометрическими особенностями.

Большая часть территории Таджикистана, расположенная в горных, предгорных и предгорных районах, особенно чувствительна к изменению климата. Очевидно, что изменение климата в первую очередь повлияет на количество и качество водных ресурсов, сельское хозяйство и здоровье человека и может усугубить существующие проблемы, такие как деградация экосистем и природных ресурсов. Таким образом, на карту поставлены долгосрочные перспективы устойчивого развития Республики Таджикистан. Повышенный риск ЧС, связанных с метеорологическими условиями и климатическими опасностями, такими как высокие температуры, проливные дожди, засухи, наводнения и лавины, представляет собой серьёзную угрозу для экологических, экономических и социальных систем.

Хотя Таджикистан и не входит в десятку регионов мира, наиболее уязвимых к климатическим изменениям, куда входят страны Восточной Азии, Африка и несколько островов (например, Гаити), считающиеся наиболее уязвимыми к этим изменениям, он считается страной, подверженной высокому уровню риска, а также является частью всемирной программы ППАИК2 (Пилотная программа по адаптации к изменению климата). Ибо территория Таджикистана на 93 % состоит из гор, которые считаются «горячими точками» в вопросах изменения климата. Такие процессы, как таяние ледников, повышение температур, изменение структуры осадков и др. изменяют экосистемы, в которых живут люди (рис. 2.3).

По оценкам Всемирного банка, если взять самые уязвимые страны Европы, то для Албании характерна относительно высокая подверженность воздействию изменения климата, а в Таджикистане структура социальной и производственной сферы такова, что эти страны, по расчётам, оказываются очень чувствительными к воздействию климатических изменений.

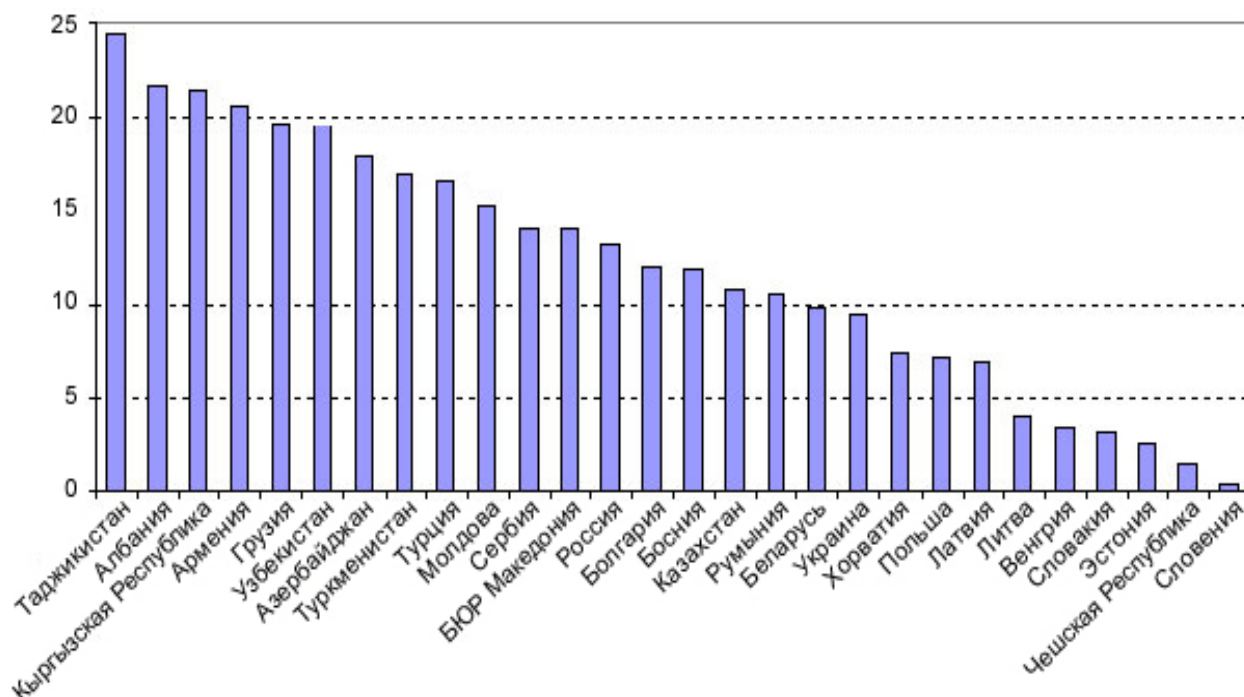


Рис. 2.3. Индекс уязвимости климата ряда стран Европы и Центральной Азии

Из гистограммы на рис. 2.3 видно, что при изучении проблем уязвимости с климатическими изменениями различных стран международные эксперты пришли к выводу, что из 28 стран Европы, Кавказа и Центральной Азии Таджикистан, Албания и Кыргызстан наиболее уязвимы к изменению климата. Хотя эта идея ещё не получила подробного научного объяснения в различных проектах и программах, её проявление показывает актуальность и актуальность исследований по этим вопросам для Таджикистана. Однако результаты оценки уязвимости, проведённые в рамках Третьего национального плана, показывают, что воздействие изменения климата на природные ресурсы, экономику и уровень жизни может быть очень негативным в экстремальных сценариях.

В процессе изменения климата самыми чувствительными и уязвимыми природно-ресурсными богатствами Таджикистана и других стран мира при климатических изменениях являются ледники и снежники. Поэтому в современных условиях изучение ледников и перспективы их состояния стало актуальной и неотложной проблемой современной науки и научно-практической деятельности. Поскольку большинство территории Таджикистана расположено в горных и высокогорных районах, скорость деградации его ледников выше, чем в других частях бассейна Аральского моря. Следовательно, этот процесс требует

научного обоснования зависимости динамики состояния ледников горных районов, от изменения климатических условий.

Исследования некоторых учёных показывают, что глобальное потепление в конце двадцатого и начале двадцать первого веков привело к сокращению ледников в высокогорье и появлению ледниковых озёр в Гиндукуше, Гималаях и Тибете. В горных районах прямые солнечные лучи вызывают повышение температуры и быстрое таяние ледников. Поскольку радиация достигает поверхности ледника неравномерно, скорость его уменьшения не одинакова во всех частях ледника, на верхнем уровне ледника есть возвышенности и гребни. Эта ситуация приводит к образованию нестабильных ледниковых озёр, которые часто образуются в конце морены и могут нанести значительный ущерб ниже по течению. Эта ситуация хорошо видна почти на ледниках всех речных бассейнов Таджикистана.

Как известно, мы живём в термезскую, самую тёплую фазу позднего голоцена. В настоящее время усиленная деградация оледенения объясняется сочетанием естественного температурного тренда с парниковым эффектом, который вызван накоплением парниковых газов в атмосфере вследствие сжигания минерального топлива. А повышение содержания только CO_2 в атмосфере на 10% повышает среднюю глобальную температуру воздуха на $0,3^\circ\text{C}$. Важно отметить, что при повышении температуры увеличивается количество талой воды под ледниками, лёд становится более «текучим», возрастает скорость его движения, т.е. обмен вещества в нём. А так как приход воды меньше расхода, то деградация идет быстрее, что также способствует сокращению оледенения.

Повышение температуры и прямая солнечная радиация отрицательно сказываются не только на ледниках бассейна реки Зерафшан, о которых уже писали. Ледники всех бассейнов рек Вахш, Пяндж, Вандж, Язгулом, Бартанг, Гунт, Шохдара, Сурхоб, Обихингоу стремительно сокращаются в контексте климатического изменения. Ледники Таджикистан расположены на километр-два выше кавказских, в более холодной зоне, однако климат страны суше и жарче, поэто-

му деградация ледников в Таджикистане идет также более интенсивно, чем на Кавказе.

Один из основных районов оледенения Центральной Азии и Таджикистана расположен в регионе, объединяющем самые высокие горные хребты: Академия наук, Дарваз, Петра Первого, Заалайский и др., которые расположены в верховья бассейна реки Вахш. Здесь благоприятные условия для образования ледников: высота над уровнем моря и достаточное количество осадков. В бассейнах рек, берущих начало в этом районе, более 5 тыс. км² площади оледенения, т.е. более двух третей общей площади. Здесь тоже начинается самый большой ледник страны – Федченко. В табл. 2.3 приведён морфологический тип и географическое положение крупнейших ледников в верховьях бассейна реки Вахш, протяжённость которых превышает 15 км.

Таблица 2.3

Общие характеристики крупнейших ледников в зоне формирования реки Вахш

Название Ледника	Морфологический тип	Длина, км	Площадь, км ²	Наивысшая точка, м
Заалайский хребет, северный склон				
Корженевский	сложно-долинный	21,5	73,0	6220
Кызылсу	сложно-долинный	15,1	43,0	6550
Заалайский хребет, южный склон				
Октябрь	дендритовый	19,0	88,2	6780
Большой Саукдара	сложно-долинный	20,6	53,0	7120
Хребет Академии наук				
Федченко	дендритовый	77,0	649,6	6280
Гармо	сложно-долинный	30,4	114,6	6350
Хребет Пётра I, северный склон				
Сугран	сложно-долинный	22,0	47,1	6720
Фортамбек	сложно-долинный	27,2	36,4	5350
Петр первый	дендритовый	17,2	24,2	5500
Хребет Пётра I, южный склон				
Гандо	дендритовый	22,0	44,6	6150
Дарвазский хребет, северный склон				
Дарваз	дендритовый	16,2	27,8	5800
Мазар	сложно-долинный	16,8	23,0	5400

В зависимости от размера, наклона и высоты ледники по-разному реагируют на глобальное потепление климата. Крупные ледниковые узлы Памира на более низких высотах (4500 – 7000 м над уровнем моря) за время наблюдений уменьшились меньше. Ледники северного наклона более устойчивы к теплу.

Например, с начала XX века ледник Федченко отступил на 1 км (первые инструментальные измерения были сделаны в 1928 г.) и потерял 5 км³ льда, по площади он изменился менее чем на 0,5 %, по длине – 1,5 % и по объёму – на 3,5 %. В то же время нижние ледники, которые меньше по размеру, с большей вероятностью тают из-за теплы, и их количество сокращается. Например, один из ледников верховья бассейна реки Вахш – ледник Абрамова, расположен на границе Таджикистана и Киргизстана, с начала регулярных стационарных наблюдений потерял свой объём. В течение 43 лет (1969 – 2012 гг.) только девять ледников имели положительный баланс, а напротив, в следующие 9 лет наблюдалось отрицательное сальдо в размере более 1000 мм водного эквивалента. С 1978 по 2012 год ледник Абрамова отступил на 1,2 км.

По архивным данным Агентства по гидрометеорологии Республики Таджикистан, сотрудники Среднеазиатского научно-исследовательского гидрометеорологического института подсчитали, что площадь ледников Гиссаро-Алая за 22 года (1957 – 1979 гг.) сократилась на 17 % (с 2184 до 1842 км²), а к концу 20 века – на 28 %. Объём льда за те же 22 года уменьшился на треть (со 105 до 88 км³), а к концу века – наполовину, как и на Кавказе. Наряду с этим, в табл. 2.4 приведены данные об отступлении некоторых ледников верховья бассейна реки Вахш.

Таблица 2.4

Изменение объёма ледников верховья бассейна реки Вахш

Название ледника	Период наблюдений	Общий объём, млн м ³	Изменение объёма ледника		
			За период, млн м ³	% от общего объёма	
				За период	За год
Скогач	1969 – 86	1200	98,8	8,2	0,5
№ 507	1975 – 86	16	3,2	20,0	1,8
№ 517	1975 – 86	19	2,8	14,8	1,4

Наряду с данными табл. 2.4 по отступлению (деградации) некоторых ледников верховья бассейна реки Вахш, на основе архивных данных Агентства по гидрометеорологии Республики Таджикистан [41] проведём краткий репрезентативный анализ, который выглядит следующим образом.

Ледник 503 находится на северном склоне хребта Петра Первого в бассейне реки Шурак Восточный. Его длина 2,5 км, площадь ледника 0,9 км² и язык 503 лежит на высоте 3000 м. С 1975 по 1990 год ледник отступил на 80 м со средней скоростью 5,6 м/год, потеряв 2,4 % площади.

Ледник 507 тоже лежит на северном склоне хребта Петра Первого у истоков реки Шурак Восточный. Длина ледника 2,2 км, его площадь 0,7 км², а язык ледника лежит на высоте 2800 м. Почти весь ледник покрыт мореной. В период 1975 – 1986 гг. из общего объёма ледника (16 млн м³) растаяло 3,2 млн (или 20 %) и ежегодно он терял 1,8 % своей массы. В настоящее время язык ледника 507 отступает со средней скоростью 4 м/год.

Ледник 517 расположен на северном склоне хребта Петра Первого в бассейне безымянного левого притока реки Сурхоб. Ледник долинный, его длина 2,9 км, площадь 0,9 км² и лежит на высоте 2320 м. Ледник 517 за период 1976 – 1990 гг. отступил на 130 м со средней скоростью 8,6 м/год.

Ледник Гармо расположен в самых истоках Обихингоу на стыке хребтов Петра Первого, Академии наук и Дарвазского. Вытекающая из него река Гармо, сливаясь с реками Бохуд и Киргизоб, даёт начало реке Обихингоу. Длина ледника 30,4 км, площадь 114,6 км², а сам он находится на высоте 2970 м. Гармо в период 1940 – 1957 гг. отступил на 2,6 км, потерял 2,8 км² своей площади, за 1964 – 1976 годы отступил ещё на 240 м, освободив 0,31 км² ото льда и с 1974 по 1985 год отступил еще на 96 м, со скоростью 8,7 м/год (рис. 2.4).

Как следует из рис. 2.4 ледник Гармо сложно-долинный, имеет много притоков и с первых исследований 1932 до 2011 он сократился более чем на 7 км, что составляет самое большое сокращение среди больших ледников Центральной Азии. Также, когда отступление сопровождается расколом на отдельные блоки, происходит активная его деградация. В ближайшие годы от ледника Гармо, как и от ледника Федченко, начнут отделяться его притоки, что ускорит процесс разрушения.



Рис. 2.4. Отступление ледник Гармо за период 1932 – 2005 гг.

Ледник Скогач находится на северном склоне Мазарского хребта в бассейне реки Обихингоу. Длина ледника Скогача 12,0 км, его площадь 12,6 км², объём льда 1,2 км³. Его язык находится на высоте 3050 м, мореной покрыто 1,1 км² поверхности Скогача. Общее отступление ледника в период 1969 – 1976 гг. составило 76 м (в среднем по 11 м/год), с 1975 по 1991 год отступил ещё на 67 м (со средней скоростью 4,2 м/год), при этом только в 1991 году ледник отступил сразу на 10 м.

Ледник Мазарский расположен в истоках реки Обимазар, левого притока Обихингоу. Ледник стекает с северного склона Дарвазского хребта на высоте 3200 м. Длина ледника 16,8 км, его площадь 18,5 км², из них покрыто мореной 4,0 км². Наблюдения начаты в 1958 г., ледник Мазарский в период 1958 – 1976 гг. отступил на 210 м (в среднем по 10 м/год и освободил ото льда 0,11 км²), с 1975 по 1990 год отступил ещё на 261 м (со скоростью 16,3 м/год), а также в период 1987 – 1990 гг. тоже отступил на 40 м (со скоростью 13 м/год, освободив 0,019 км²).

На основе дистанционных спутниковых наблюдений на рис. 2.5 показан процесс деградации одного из самых больших ледников верховья бассейна реки

Вахш, ледника Петра Первого. С 1977 по 2018 год большая часть ледника отступила более чем на 460 м.

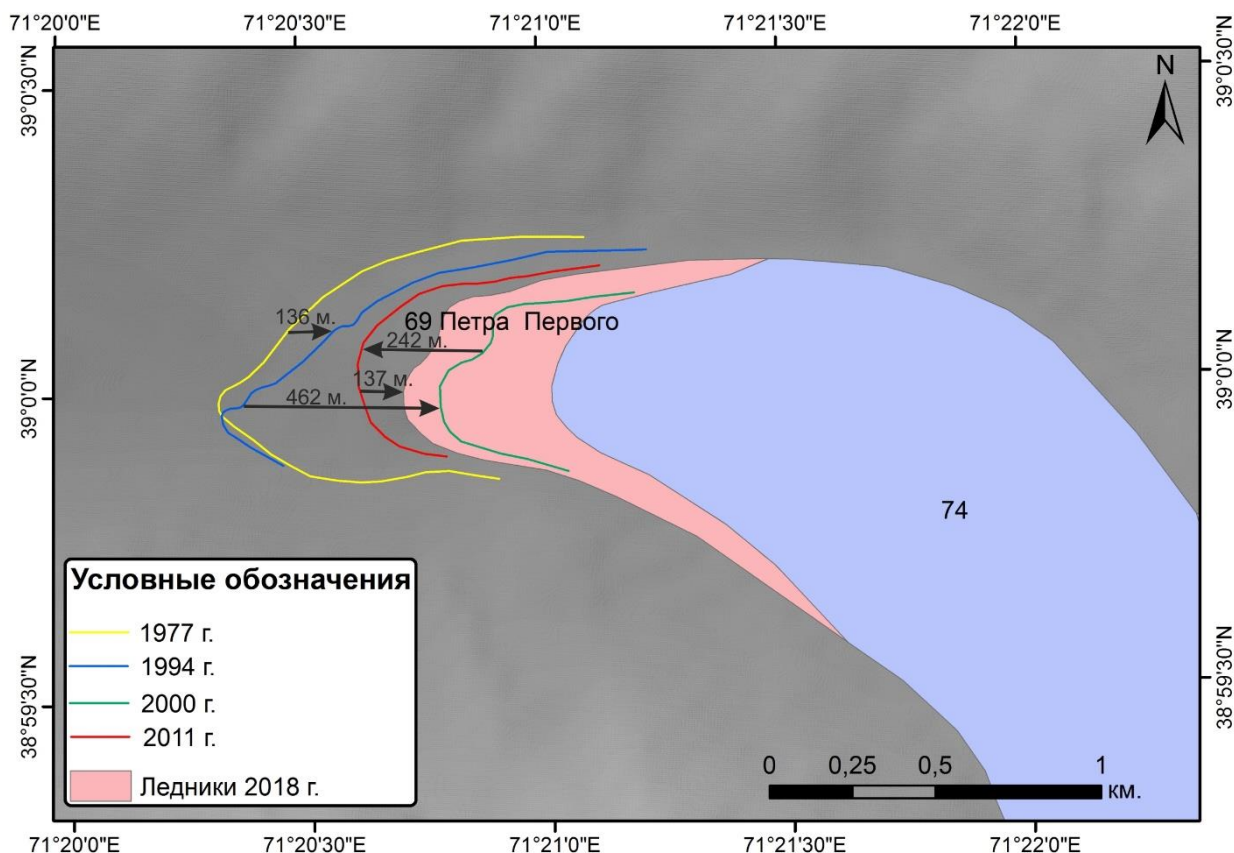


Рис. 2.5. Границы ледника Петра I в 1977 – 2018 гг. по спутниковым снимкам

По данным учёным, в середине XX и начале XXI веков (по состоянию на 2003 – 2010 гг.) площадь ледников в бассейне реки Вахш (включая верховья бассейна на территории Киргизстана) уменьшилась с 3700 до 3200 км² (по разным оценкам 7,5 – 10%), в бассейне реки Пяндж (включая ледники левых притоков на территории Афганистана) сократилась с 3900 до 3600 км² (по разным оценкам на 8,5 – 15%). Также, современная площадь ледников горной системы Гиссаро-Алая в Таджикистане составляет около 500 – 550 км², и за наблюдаемый период она уменьшилась на 20 – 25%, как и на юго-западных склонах горной системы Памира.

Таким образом, с потеплением климата продолжительность малого обледенительного периода составляла 5 – 10 дней, а температура становилась выше 0°C ранней весной и поздней осенью. Ясно, что процесс глобального потепления климата приводит к таянию ледников и убыли водных ресурсов. В то же

время, если мы посмотрим на изменение количества осадков в 1976 – 2012 гг., метеорологические данные подтверждают, что летом количество осадков увеличилось. Естественно, что увеличение количества летних осадков не способствует повышению влажности и накоплению водных ресурсов, т.к. высокие летние температуры вызывают быстрое испарение воды. Поэтому летние дожди не решают проблемы нехватки воды в реках.

Роль ледников очень похожа на роль водохранилища с сезонным регулированием, которые распределяют годовые накопления (собирают осадки зимой и отдают воду летом) и снижают их изменчивость. Таким образом, они питают водой реки в засушливые и жаркие годы и запасают воду в холодные и дождливые годы. Поэтому для защиты ледников в Таджикистане и Центральной Азии в целом наиболее важными и приоритетными мерами являются сокращение выбросов парниковых газов и поддержание повышения температуры на уровне 2°C до конца текущего века, а также строительство крупных водохранилищ в зоне формирования водных ресурсов.

2.3. Анализ влияние климатических изменений годового стока на водно-энергетические ресурсы бассейна реки Вахш

Все реки Таджикистана разделены на три крупнейших речных бассейна – Амударья, Сырдарья и Зерафшан. Среди речных бассейнов Таджикистана наибольшей площадью водосбора обладает бассейн реки Амударьи, в который входят ещё три других речных бассейна (Вахш, Пяндж и Кафирниган). Амударья имеет длину 1262 км. Однако, от общего объёма воды, которые формируются в бассейне Амударьи, только 18 – 22% используют в Таджикистане [40]. Среди речных бассейнов бассейна реки Амударьи бассейн Вахш является одним из крупнейших водозаборных территорий и имеет сложный рельеф.

Река Вахш является одним из двух основных (наряду с рекой Пяндж) притоков реки Амударьи (бассейн внутреннего стока Аральского моря) и смешанной рекой, но питается в основном ледниками. Большая часть бассейна ре-

ки Вахш расположена в пределах горной системы Памиро-Алая. Поэтому река берёт истоки на Памире, в районе пика имени Корженевской (7105 м над уровнем моря), а в устье Вахша находится заповедник «Тигровая балка» (рис. 2.6). Также в долине реки Вахш лежат города Вахш, Нурек, Сарбанд (ныне Леваканд) и Бохтар (бывший Курган-тюбе) [49].

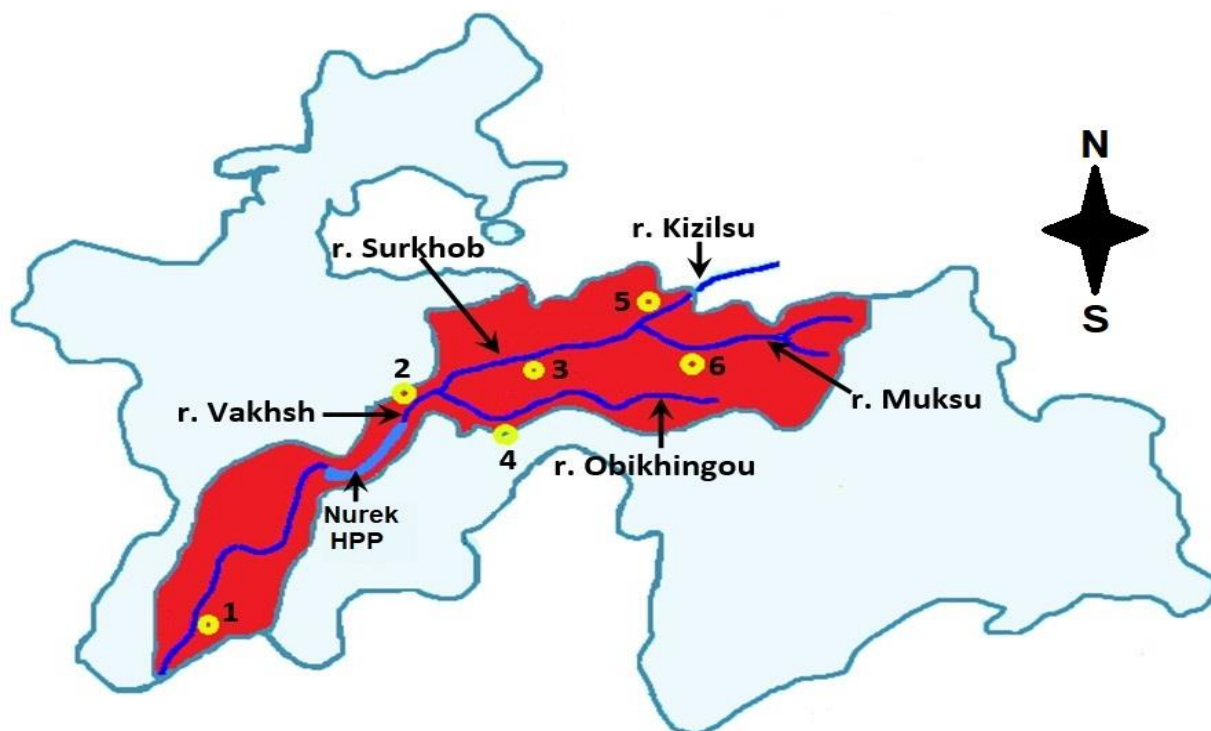


Рис. 2.6. Схема расположения бассейна реки Вахш

Длина реки Вахш достигает 524 км, площадь водосборного бассейна 39 – 100 км² и средний расход её воды составляет 156 м³/с. Питание преимущественно ледниково-снеговое, в меньшей степени – дождевое. Поэтому в реке Вахша половодье наблюдается в период интенсивного таяния ледников, т.е. с мая по сентябрь и межень в ноябре-апреле. Среднегодовой расход воды в нижнем течении рек 666 м³/с, наибольший (в июле) – 3120 м³/с, наименьший (в феврале) – 130 м³/с. Половодье – с мая по сентябрь.

Необходимо отметить, что справа в реку Сурхоб впадает большой приток река Ярхыч, в бассейне которой имеется 177 ледников общей площадью 107 км². Ещё в бассейне есть правый приток Сурхоба – река Сорбог питается от 246 ледников общей площадью 105,6 км².

Река Муксу берёт своё начало в северо-восточной части Памира и её верховья называют Баландикиик. Река Кызылсу сливается с рекой Муксу и формируется река Сурхоб (в пределах Таджикистана). В её бассейне ледники занимают 38 %, а именно 2518 км². Вода ледников составляет 54 % годового потока реки Муксу.

Левая составляющая Вахша (рис. 2.6) – река Обихингоу имеет длину 196 км, площадь бассейна 6660 км² и перепад высот между истоком и устьем 2020 м. В её бассейне находится 756 ледников общей площадью 712 км². В истоках Обихингоу располагается один из крупнейших ледников Памира – Гармо, дающий начало одноимённой реке.

Реки Сурхоб и Обихингоу сливаются на высоте 1151 м над уровнем моря, а устье реки Вахш находится на высоте всего 316 м. Уклон реки Вахш достигает 0,0024, т.е. река Вахш по удельной русловой мощности превосходит Нарын, Амударью, а также Волгу, Енисей, Ангару и Лену. Среди других рек Таджикистана река Вахш обладает наибольшими гидроэнергоресурсами и даёт в 1,7 раза больше электроэнергии на 1 км реки, чем река Нарын (Кыргызстан), в 2 раза больше, чем река Пяндж, и в 7 раз больше, чем река Амударья. Вахш и Пяндж вместе составляют 9/10 гидроэнергоресурсов страны [40]. Также река Вахш составляет 38 % из всех ресурсов гидроэлектроэнергии бассейна Амударьи и потенциальные её энергоресурсы составляют 28,6 млн кВт·ч. На рис. 2.7 показаны основные функционирующие и строящиеся гидроэлектростанции Вахшского каскада.

Поэтому среди других рек Таджикистана Вахш имеет особое значение. Сезон его паводка приходится на июнь и июль, и уровень воды в нём постоянно колеблется. Расход воды в реке равен 836 м³/с, что составляет 20,4% годового расхода. Период маловодья реки Вахш приходится на декабрь и март.

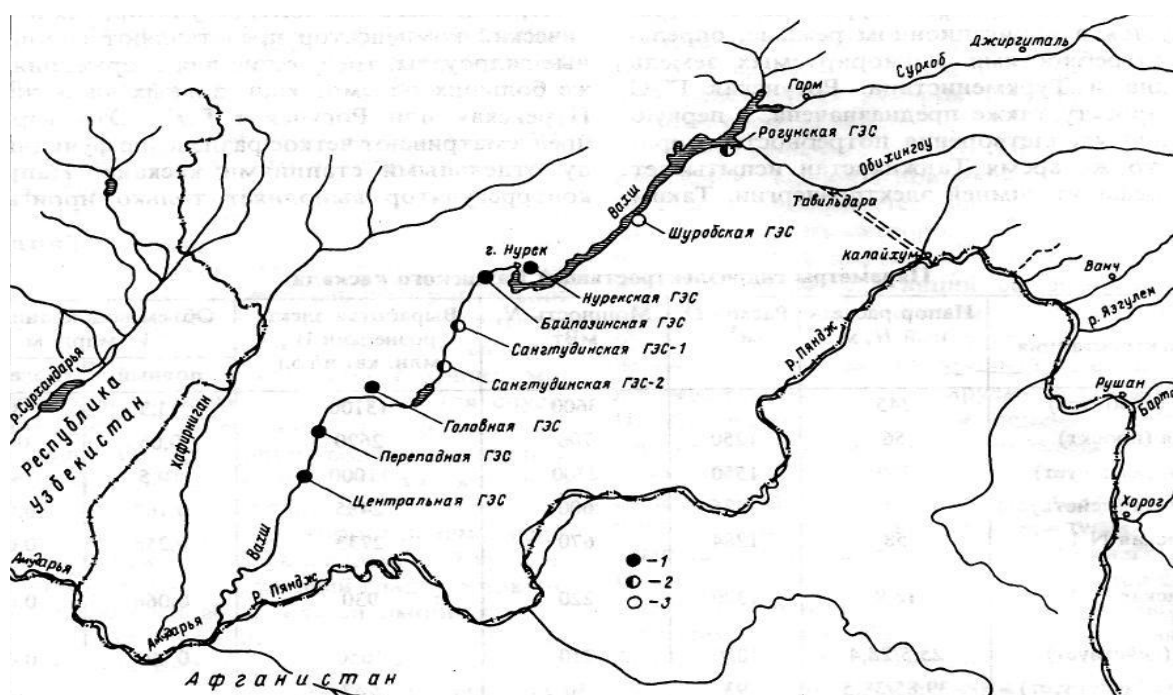


Рис. 2.7. Схема расположения Вахшского каскада ГЭС

Для определения более точных гидрологических условий бассейна реки Вахш, согласно работам [40, 50, 51] в табл. 2.5 показана гидрологическая сеть зона её формирования.

Таблица 2.5

Гидрографическая сеть зона формирования реки Вахш

Река	Приток	Куда впадает	Длина, км	Площадь бассейна, км ²	Высота, м		Средний уклон, %
					Исток	Устье	
Кызылсу	Правый	Сурхоб	254	8380	3800	1835	7,7
Муксу	Левый	Сурхоб	88	7070	2714	1835	10
Коксу	Правый	Сурхоб	11	1294	1823	1708	9,6
Ярхыч	Правый	Сурхоб	48	1170	3309	1570	36,2
Ясман	Правый	Сурхоб	30	208	3400	1568	61
Сарбог	Правый	Сурхоб	81	1780	3580	1246	28,8
Обимазор	Левый	Обихингоу	38	1030	3200	2168	27,1
Рангоу	Правый	Обихингоу	62	781	3210	1958	20,2
Сурхсу	Правый	Обихингоу	36	266	3800	1446	65,4
Сурхоб	Правый	Вахш	146	7286	1835	1163	4,6
Обихингоу	Левый	Вахш	196	6660	2960	1163	9,2

Важно отметить, что длина реки Кызылсу до границ Таджикистана – 146 км, и под этим же названием пересекает границу Таджикистана. Площадь водосбора бассейна реки Кызылсу с притоком Куксу (Кыргызстан) – порядка 6,5 тыс. км², что составляет 32,5% от общей площади водосбора бассейна реки Сурхоб (20 тыс. км²) и 16,6% от общей площади водосбора бассейна реки

Вахш. Средний годовой сток реки Кызылсу с территории Кыргызстана – 2,1 млрд м³ и среднемноголетний располагаемый речной сток реки Вахш в створе Рогуна составляет 19,1 млрд м³ [40].

Из этого ясно, что 20,2 % (в этот процент также входит территория Лахшского района) площади и 10,9 % воды реки Вахш составляет бассейн и вода реки Кызылсу. Исходя из этого, не сама река Вахш, а один из её притоков – р. Сурхоб имеет трансграничный характер. Следовательно, согласно международному праву, бассейн реки Вахш является не трансграничным, а чисто национальным речным бассейном.

Здесь, особо важно отметить, что источники и литературы содержат различные информацию о количестве рек, озёр, ледников и других водных ресурсов Таджикистана. В работах [7, 8, 34, 39, 40, 41, 42] описано, что бассейн реки Вахш насчитывает 569 малых и больших озёр общей площадью 17,37 км². Эти озёра расположены на высоте 2800 – 3500 м, их водоёмкость невелика, а площадь их поверхности составляет от нескольких квадратных метров до 1 км². Река Вахш также имеет 6276 малых и крупных притоков, 40 % из которых питаются ледниками и снегом. Для более точного определения роли источников в формировании воды реки Вахш и некоторых её притоков в табл. 2.6 приведены годовой сток, источники питания и тип питания реки Вахш.

Таблица 2.6

Характеристики годового стока основных рек бассейна реки Вахш

Река	Пункт наблюдения	Источники питания, % от среднегодового объёма стока				Тип реки	Средний за период наблюдения			
		подземное	ледниково	снеговое	дождевое		среднегодовой расход воды, м ³ /с	среднегодовой модуль стока, л/с·км ²	годовой слой стока, мм	годовой объём стока, млрд м ³
Вахш	Туткаул	40	27	31	2	л-с	640	20,5	647	20183
Кызылсу	Дарауткурбан	75	12	13	0	л-с	41,6	7,33	231	1310
Мукусу	Давсеар	18	52	30	0	л-с	111	16,9	533	3490
Тамдыкуль	10 км выше устья	33	25	45	0	л-с	16,1	40,4	1273	508
Питаукуль	Ярмазор	40	23	37	0	л-с	16,7	31,4	991	526

Благодаря удобному расположению бассейн реки Вахш является одним из основных экономических, социальных и экологических бассейнов Таджикистана, а с 30-х годов прошлого столетия быстрое развитие экономики в Вахшской долине привело к быстрому экономическому национальному развитию. Направление реки Вахш и использование её ресурсов напрямую влияет на интересы страны, которые расположены в низовья бассейна реки Амударьи. Все существующие проблемы водопользования и охраны ОС бассейна реки Вахш можно разделить на следующие области [1, 45, 55, 56]:

- энергетика: строительство Рогунской, Шаршарской, Нурекской, Байпазинской, Сангтуда-1, Сангтуда-2 и другие ГЭС в верховьях рек Центральной Азии играет важную роль в управлении водными ресурсами региона. В последние годы Таджикистан завершил строительство ГЭС Сангтуда-1 и Сангтуда-2 и возобновил строительство Рогунской и Шаршарской ГЭС. Необходимо отметить, что Рогунская ГЭС и другие ГЭС реки Вахш и бассейна реки Амударьи в целом, будут работать в нормальном режиме и никакого ущерба аграрному сектору в низовьях не будет. Более того, Рогунское водохранилище вместе с Нурекским сможет предотвратить засуху в регионе;

- орошение: освоение многих площадей орошаемых земель приводит к серьёзным негативным последствиям: эрозии и деградации земель. В то же время, сельское хозяйство, с одной стороны, является натуральным сектором экономики, а с другой – приносит пользу населению. Это требует мониторинга и уточнения основных принципов Стратегии развития страны в плане водных ресурсов (гидроэнергетика и ирригация). Следовательно, необходимо развивать новые технологии орошения в сельском хозяйстве;

- экология: увеличение площади засоленных земель и ухудшение качества воды, возобновляемых ресурсов заповедника «Тигровая балка» и т.д. В этом случае развитие водного режима должно основываться на ресурсах заповедника «Тигровая балка» и согласования его интересов с энергетикой и орошением. Текущий мониторинг водопользования должен быть выбран и утверждён на основе выбранных показателей;

– климат: в настоящее время ситуация с воздействием изменения климата на водные ресурсы в бассейне реки Вахш, их объём и нестабильность недостаточно изучена. В связи с этим необходимо проводить разработку на основе анализа математических моделей изменения климата и выделения самого бассейна реки Вахш. Кроме того, существует необходимость в разработке механизмов и практических мер по адаптации к изменению климата и управлению водными ресурсам.

С точки зрения научно-практического применения метеорология и гидрология изменились, поскольку расширились знания о глобальных атмосферных процессах и их связи с глобальным гидрологическим циклом, подтверждающим, насколько метеорология и гидрология тесно переплетены между собой. Возможно, более тесное взаимодействие метеорологических и гидрологических специальностей, проведение совместных исследований по гидрометеорологическим тематикам, а также использование зарубежных методов прогноза максимального количества осадков позволило бы увеличить период заблаговременного прогноза катастрофических наводнений и уменьшить причиняемый ими ущерб от ЧС. Наблюдения за гидрологическими характеристиками реки Вахша и её притоков проводят на гидрологических постах Домбрачи (Кызылсу), Девсара (Муксу), Рашт (Сурхоб), Ёзганд (Обихингоу) и Дарбанд (верховье реки Вахш) и «Тигровая балка» (устье реки Вахш). Однако, все данные, использованные в данной монографии, относятся к посту Дарбанд.

Поскольку река Вахш входит в многоприточную группу (табл. 1.5) со смешанным питанием (табл. 2.6), основным условием изучения метеорологических особенностей и гидрологических характеристик бассейна реки Вахш является изучение гидрологических характеристик её притоков.

На рис. 1.8 показано фактическая водность двух основных составляющих реки Вахш – Сурхоба и Обихингоу за базовый период.

Как видно из рис. 1.8, за период 1960 – 1990 гг. фактическая водность реки Сурхоб уменьшилась, а реки Обихингоу практически не изменилась. Учитывая это, можно утверждать, что основные составляющие реки Вахш – реки

Сурхоб и Обихингоу имеют ледниковое питание, и можно предположить, что атмосферные осадки преимущественно происходят зимой. Фактическая линия тренда паводков реки Сурхоб и Обихингоу (рис. 2.8) описана уравнением

$$\Delta Q = -0,0144Q_i + 28,399 \quad (2.1)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,0076$ и

$$\Delta Q = 0,0046Q_i - 9,0169 \quad (2.2)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,0036$.

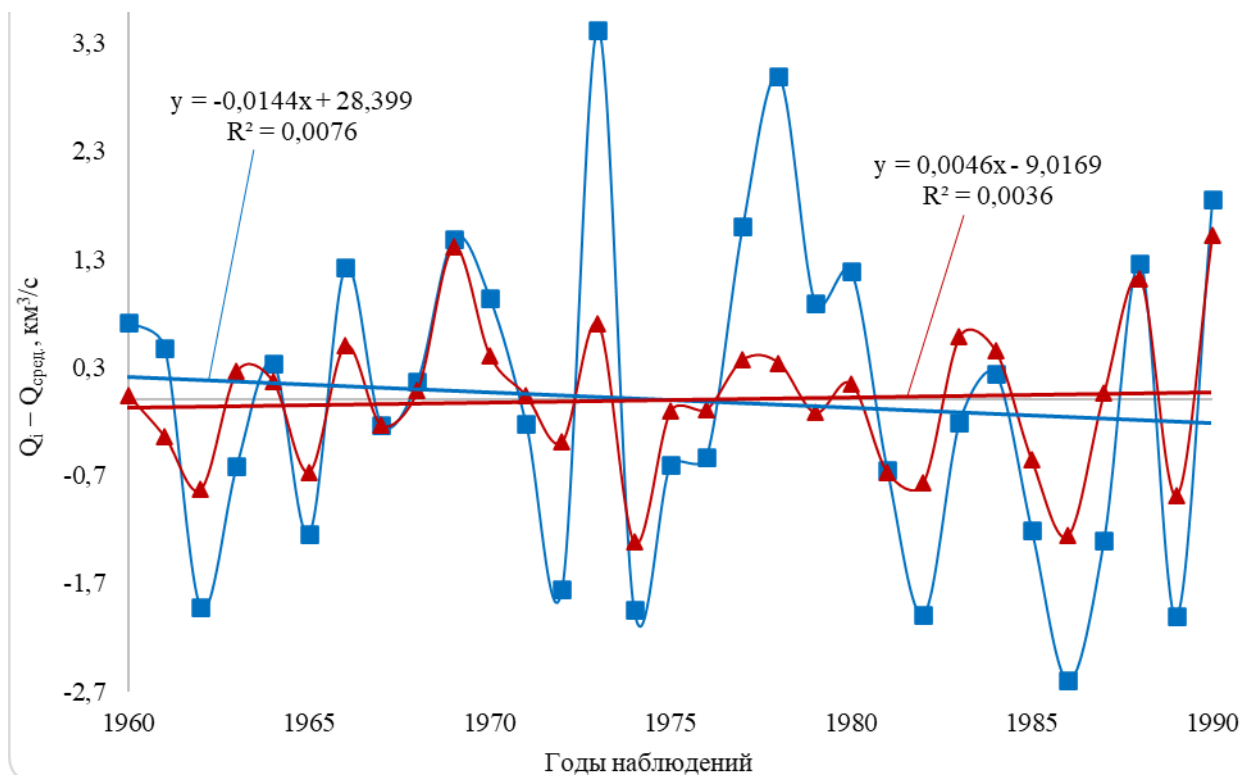


Рис. 2.8. Фактическое водности рек Сурхоб (■) и Обихингоу (▲)

Из уравнений (2.1) и (2.2) следует, что угол линейного коэффициента тренда равен 0,02, а коэффициент детерминации составляет 0,01. Здесь можно сказать, что 30-летний изменения метеорологических условий повлияли на сток воды реки Вахш.

Влияние изменения климата на водность рек Сурхоб и Обихингоу в период 1960 – 1960 гг. можно оценить выше математическими моделями (2.1 и 2.2).

В табл. 2.7 представлены годовой сток реки Сурхоб по данным гидропоста Рашт и годовой стока реки Обихингоу по наблюдениям гидропостам Ёзганд за период с 1960 по 1990 годы.

Таблица 2.7

Годовой расход воды в реки Сурхоб и Обихингоу в 1960 – 1990 гг.

Годовой сток реки Сурхоб (Рашт)										
Годы	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1970
Сток, км ³	10,78	10,54	8,1	9,43	10,39	8,79	11,29	9,82	10,23	11,57
Годы	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Сток, км ³	9,83	8,27	13,53	8,07	9,44	9,52	11,67	13,09	10,95	11,27
Годы	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Сток, км ³	9,39	8,03	9,83	10,29	8,82	7,41	8,73	11,33	8,01	11,93
Годовой сток реки Обихингоу (Ёзганд)										
Годы	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1970
Сток, км ³	5,11	4,72	4,22	5,32	5,23	4,39	5,57	4,82	5,15	6,49
Годы	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Сток, км ³	5,11	4,66	5,77	3,74	4,95	4,98	5,44	5,41	4,94	5,22
Годы	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Сток, км ³	4,38	4,28	5,65	5,52	4,49	3,79	5,13	6,21	4,16	6,6

Как следует из табл. 2.7, сток реки Вахш тесно связан с изменениями метеорологических условий и зависит от них. Поэтому, основываясь на данных о процессе изменения расхода воды в реке Вахш и её притоках, можно предположить, что состояние ледников и площади оледенения этого бассейна имеют значительные изменения в период 1960 – 1990 гг.

Для определения влияния изменения климата на гидрологический процесс реки Вахш были использованы многолетние данные гидропоста Дарбанд, который расположен выше по течению Вахшского каскада. Другими словами, гидропост Дарбанд расположен в районе, где поток реки Вахш уже сформирован. По многолетним наблюдениям на гидропосте Дарбанд на рис. 2.9 приведён среднемаксимальный, среденеминимальный и среднемноголетний гидрограф реки Вахш за период с 1940 по 2016 год. В этой связи следует отметить, что абсолютный максимум уровня воды (902 м³/с) был зафиксирован 15 июля 1958 г., а абсолютный минимум (149 м³/с) – 6 марта 1963 г.

Гидрографы на рис. 2.10 показывают среднемноголетнее абсолютное максимальное (красная кривая), среднемноголетнее абсолютное минимальные (фиолетовая кривая) и среднегодовое значение (синяя кривая), которые увеличивают поток воды в реке с повышением температуры. Тенденция повышения или половодья в реке Вахш начинается в марте, достигает пика в июле, а затем постепенно уменьшается. Для более точного определения зависимости водности реки Вахш от изменений метеорологических условий на рис. 2.10 показана регрессионная зависимость среднемесячного расхода воды в январе (рис. 2.10 а) и в июле месяцы (рис. 1.10 б) от среднегодового расхода воды в 1940 – 2016.

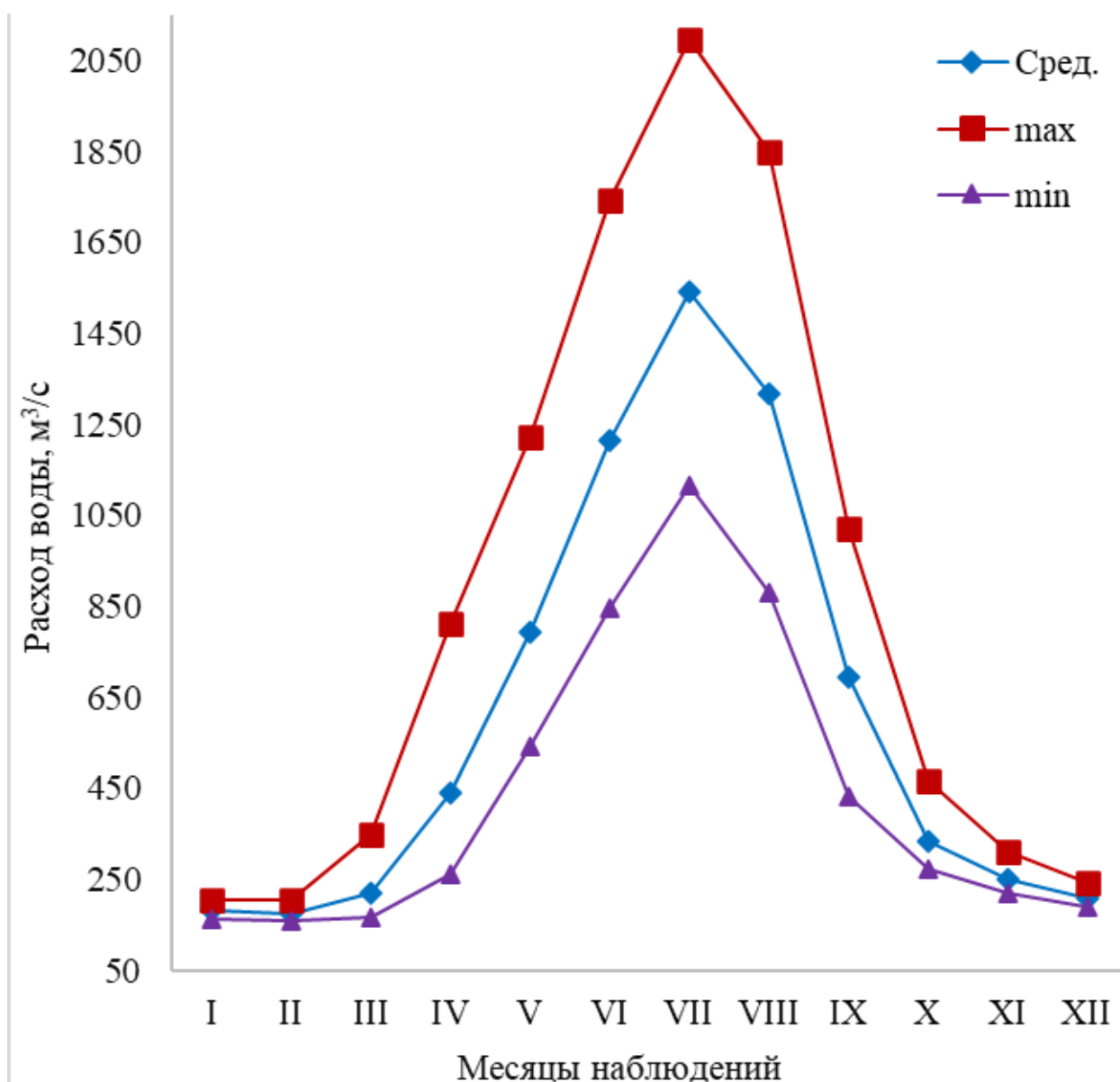


Рис. 2.9. Среднемаксимальный, средненеминальный и среднемноголетний гидрограф реки Вахш в 1940 – 2016 гг.

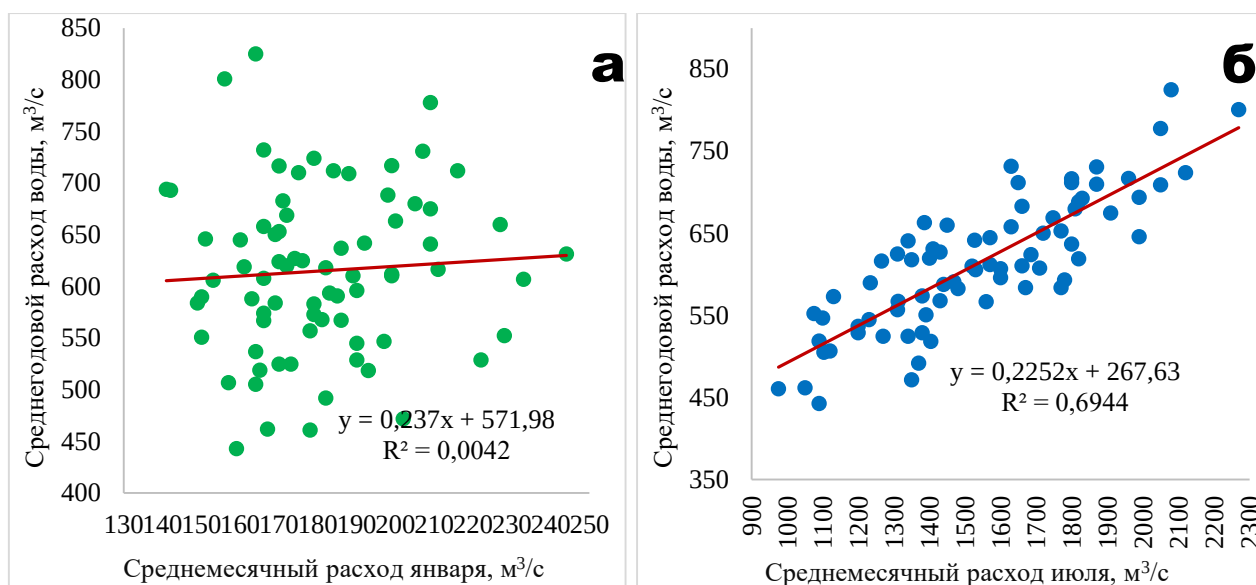


Рис. 2.10. Среднемесячный расход воды в январе (а) и июле (б) от среднегодового расхода в 1940 – 2016 гг.

Зависимость среднегодового расхода от среднемесячного расхода воды в январе описывается уравнением

$$Q_{\text{сред. год.}} = 0,237Q_{\text{сред. мес. январе}} + 571,98 \quad (2.3)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,0042$.

Зависимость среднегодового расхода от среднемесячного расхода воды в июле описывается уравнением

$$Q_{\text{сред. год.}} = 0,2252Q_{\text{сред. мес. июле}} + 267,63 \quad (2.4)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,6944$.

На рис. 2.9, как и на рис. 2.10, чётко видна зависимость расхода воды реки Вахш от изменений метеорологических условий. Как видно из рис. 2.10 а, тренд регрессионной зависимости среднемноголетний расход воды в январе месяце от среднегодового расхода воды не имеет тенденции к увеличению. Напротив, тренд регрессии зависимости среднемноголетний расход воды в июле месяце от среднегодового расхода воды (рис. 2.10 б) имеет большую тенденцию к повышению. Это связано с тем, что уровень воды в реке Вахш в янва-

ре обеспечивается родниками и подземными водами, а в июле – таянием ледников и постоянным выпавшим снегом.

В то же время, чтобы определить влияние изменения климата на среднегодовой расход воды реки Вахш, на рис. 2.11 показано отклонение среднегодового расхода воды от среднемноголетнего значения в 1940 – 2016 гг.

За период наблюдений на реке Вахш расход воды в целом уменьшился. Из рис. 2.11 чётко периодичность маловодных и многоводных периодов не прослеживается, но можно выделить несколько многоводных периодов продолжительностью 5 лет (1941 – 1945 гг.) и три года (1951 – 1953, 1958 – 1960 и 1992 – 1994 гг.) и два маловодных – продолжительностью четыре года (1974 – 1977 и 2006 – 2009 гг.), одна – пять лет (1961 – 1965 гг.) и ещё одна – три года (1981 – 1983 гг.). Самыми многоводными были 1942, 1969 и 1973 гг. с расходом воды на 163, 210 и 186 м³/с выше нормы, а самыми маловодными – 1957, 1976 и 1989 гг. с расходом на 152, 153 и 161 м³/с ниже нормы.

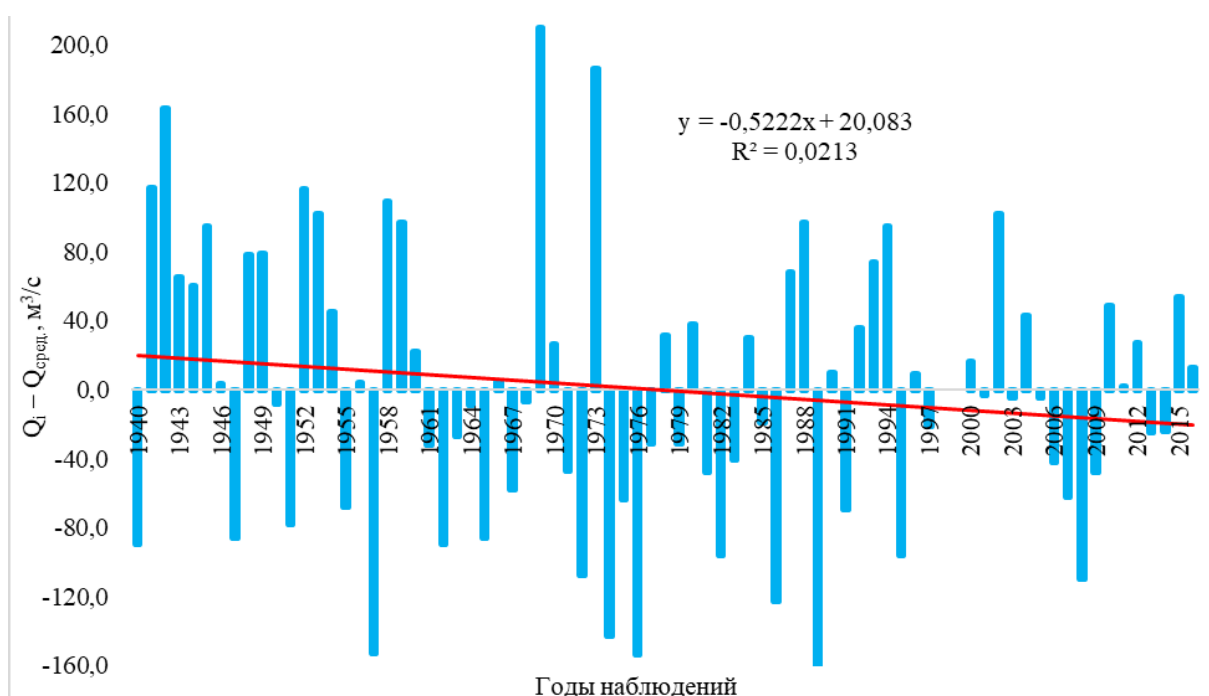


Рис. 2.11. Расход воды, м³/с, реки Вахш, гидропост Дарбанд, в 1940 – 2016 гг.

Для оценки воздействия изменения климата на водность реки Вахш на рис. 1.11 представлен график изменения расходов по многолетним измерениям (гидропост Дарбанд) за период 1940 – 2016 гг. в виде зависимости отклонения объёма годового стока от среднегодовых значений

$$\Delta Q = Q_i - Q_{\text{сред}}, \quad (2.5)$$

где Q_i – общий водный сток за i -й год; $Q_{\text{сред}}$ – среднемноголетний водный сток в 1940 – 2016 годы.

Линию тренда фактической водности реки Вахш на рис. 2.11 описывают уравнением

$$\Delta Q = -0,5222Q_i + 20,083 \quad (2.6)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,0213$.

На рис. 2.12 на основе круглосуточных наблюдений (гидропост Дарбанд), суточный расход воды реки Вахш показан выборочно в 1989, 1999, 2006 и 2016 годах.

Влияние изменения климата на гидрологические характеристики реки можно оценить сравнением соответствующих среднемесячных значений водного стока в четырёх 20-летних периодах. Это было продемонстрировано нами при оценке влияния изменения климата на фактическую водность реки Вахш сравнением среднемесячных расходов водного стока в 1940 – 1960, 1961 – 1980, 1981 – 2000 и 2001 – 2016 гг. (рис. 2.13).

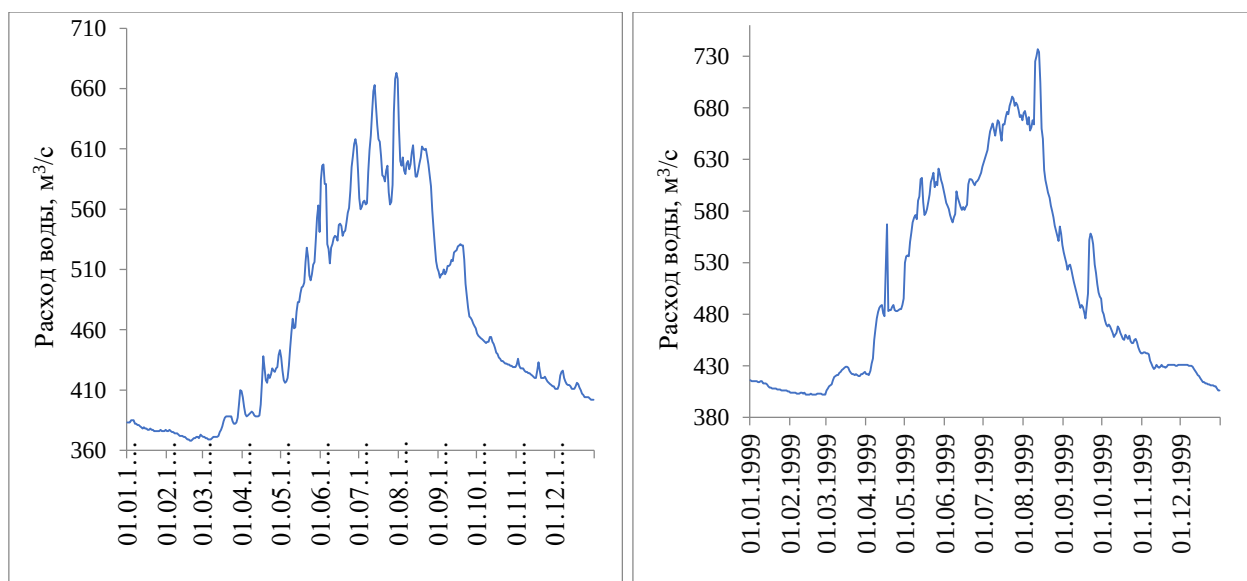


Рис. 2.12. Колебания суточного расхода воды реки Вахш, м³/с, в 1989, 1999 гг. (начало)

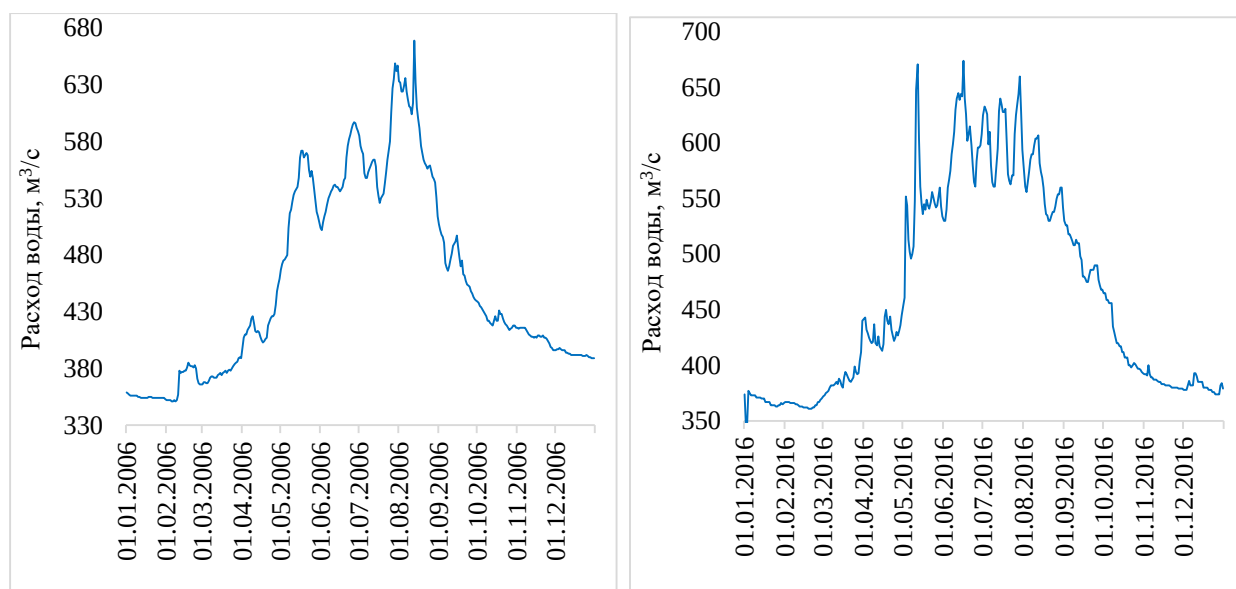


Рис. 2.12. Колебания суточного расхода воды реки Вахш, м³/с, в 2006 и 2016 гг. (окончание)

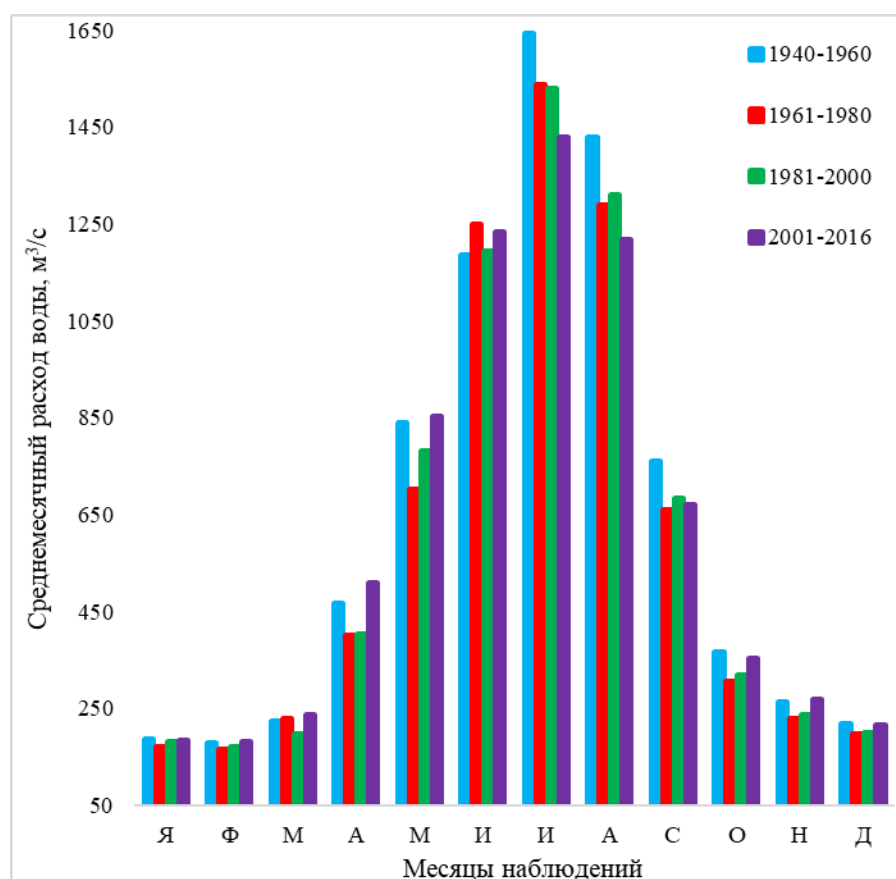


Рис. 2.13. Среднемесячные значения расхода воды реки Вахш в 1940 – 1980, 1961 – 1980, 1981 – 2000 и 2001 – 2016 гг.

Из гистограммы на рис. 2.13. видно, что среднемесячный расход воды за период 1940 – 1960 гг. выше, чем в другие двадцатилетние периоды. Хотя расход воды периода 1940 – 1960 гг. в летние месяцы выше, чем в другие периоды, наблюдения показывают, что среднемесячный расход воды в период 2001 – 2016 имеет тенденцию к увеличению. Видно, что ранее периода 2001 – 2016 гг.

среднемесячный расход воды в период 1980 – 2000 гг. имеет тенденцию к увеличению, а в августе-сентябре он увеличился по сравнению с периодом 1961 – 1980 гг. Однако, среднемесячный расход воды за период 2001 – 2016 гг. в апреле-мае и сентябре-декабре месяцы превысил в периоды 1961 – 1980 и 1980 – 2000 гг. Отсюда можно вывод, что увеличение среднемесячного расхода воды в реке Вахш на каждые следующие двадцать лет за период с 1940 по 2016 годы показывает влияние глобального потепления на водность реки.

Таким образом, прогнозируемое потепление температуры в первой половине XXI века составляет +2 °C (HadCM2) и это вызывает сокращение площади оледенения Памиро-Алая на 58 %. При этом ледниковое питание рек сократится на 45 %, а суммарный сток рек Зерафшан, Кафирниган, Вахш, Пяндж уменьшится с 61,2 (норма стока в 1990 г.) до 56,9 км³/год, или на 7,03 % (в 2050 г.). Также, по мнению Финаева А.Ф., незначительное повышение температуры и значительное увеличение осадков приводит к снижению высоты фирновой границы от 10 до 50 м и росту площади оледенения от 4 % в бассейне реки Варзоб до 12 % в бассейне реки Фандарья. При этом объём ледникового питания увеличивается на 6 и 19 % соответственно.

2.4. Оценка воздействия каскадных водохранилищ бассейна реки Вахш на изменения климата окружающей среды

В условиях зоны формирования водных ресурсов, в странах верховья – Таджикистане и Киргизстане, для комплексно-рационального использования водных артерий строительство водохранилищ имеет важное энергетическое и экономическое значение [7, 34, 40, 42]. Водохранилище прежде всего решает две актуальные проблемы: накопление большого количества воды и обеспечивает возможность строительства ГЭС. Это, во-первых, обеспечивает неполивные земли водой и регулирует разделение воды на орошаемых землях и речных стоков. Во-вторых, гидроэлектростанции при водохранилищах производят электроэнергию, обеспечивая все отрасли хозяйств страны и население. С учё-

том этих проблем в Таджикистане было построено несколько водохранилищ: «Бахри точик», Нурекское, Сангтуда-1, Сангтуда-2, Сельбурское, Муминабадское, Фархадское, Даханасайское, Каттасайское и Головное, а также продолжается строительство других водохранилищ.

В то же время строительство водохранилищ – ещё один способ предотвратить стихийные бедствия, ЧС, связанные с водой, в таких потенциально уязвимой стране, как Таджикистан. Обустройства водохранилищ в горных условиях стоит недорого и совместно со строительством ГЭС, что позволяет вырабатывать электроэнергии в периоды дефицита, являясь единственным способом предотвратить энергетический кризис и засушливые годы. Строительство водохранилищ в Таджикистане позволит также орошать сотни тысяч га засушливых земель в Узбекистане и Туркменистане. Водохранилища в горных условиях также являются преградой для селей, лавин, оползней и камнепадов, вследствие чего они спасают людей от постоянной опасности таких стихийных бедствий и ЧС. Для этого необходимо проводить регулярные научные исследования водоемов, рек, водохранилищ и их мониторинг.

В табл. 2.8 представлены характеристика крупнейших водохранилищ Таджикистана.

Таблица 2.8

Основные характеристики водохранилищ Таджикистана

Водохранилища	Река	Год эксплуатации	Полный объём, млн./м ³	Полезный объём, млн м ³	Площадь зеркала, км ²	Средняя глубина, м	Цель*
Байпазинское	Вахш	1986	–	0,087	–	–	И, Г, Р
Бахри точик	Сырдарья	1956	4160	2600	520	8,0	И, Г, Р
Даханасайское	Даганасай	–	0,014	–	–	–	И, В, Н
Каттасайское	Каттасай	1965	55	36,6	2,9	19,0	И, В, Н
Муминабадское	Обисурх	1958	31	30	2,88	10,7	И, В
Нурекское	Вахш	1979	10500	4500	98	107	И, Г, Р
Сангтуда-1	Вахш	2009	–	0,12	–	–	И, Г, Р
Сангтуда-2	Вахш	2012	–	–	–	–	И, Г, Р
Сельбурское	Кзылсу	1963	20,7	17,0	2,31	8,7	И, В, Н
Фархадское	Сырдарья	1948	330	–	46	7,2	И, Г, Р

Примечание: Г – гидроэнергетика; В – водоснабжение; И – ирригация; Р – рекреационная зона; Н – защита от наводнений.

Неоспоримо, что в эколого-экономическом плане одним из наиболее чистых типов сооружений для выработки электроэнергии являются ГЭС. ГЭС в отличие от тепло- и атомных электростанций не выбрасывает в атмосферу вредные газообразные либо другие побочные продукты деятельности станции: радиацию, которая является продуктом деятельности АЭС, сточные воды и тепло. Мониторинг показывает, что окружающие атмосфера и гидросфера не страдают от деятельности ГЭС. В результате функционирования ГЭС оказывается другой вид воздействия на ОС [2, 4, 9, 27, 36, 39, 48, 54, 68, 71]. Оно небольшое, но все-таки оно есть и влияет на пахотные земли и ОС.

Спецификой работы ГЭС является необходимость создания перед плотинной водохранилища. Сооружение плотины сопровождается выходом речных вод из русла и затоплением близлежащих пойменных территорий. На маленькой речке создаётся маленькое водохранилище с незначительной площадью затопляемых земель. Крупная ГЭС, строящаяся на многоводной реке, требует затопления значительных площадей, переселения жителей деревень, расположенных вдоль речного русла и выведения из сельскохозяйственного оборота большого количества пашни. Меняется гидрогеологический режим близлежащей территории. Большие массы воды, локализованные в водохранилище, зачастую являются спусковым крючком для землетрясений. Наконец, большой проблемой является заиливание водохранилищ. Разрушение плотины непрерывно приведёт к ЧС за значительными людскими и материальными потерями. Уровень воды в водохранилище постоянно меняется.

Одной из целей настоящей монографии является ретроспективный сравнительный анализ статистических параметров 60-летних временных рядов температуры, атмосферных осадков, влажности и влияния водохранилища на изменения метео- и климатических параметров. Не секрет, что метеорологи, климатологи, экологи, географы и гидрологи имеют зачастую различные, а иногда и прямо противоположные мнения относительно этой проблемы. Речь идёт лишь о влиянии на климат отдельных территорий, близлежащих районов водохранилищ.

Первая группа учёных убеждена, что водохранилище ГЭС действительно влияет на изменения метеорологических параметров, такие как температура воздуха, атмосферные осадки, влажность, сила и направление ветра. Они считают, что над акваторией и прилегающей к ней территории крупных водохранилищ изменяется температурный режим, уменьшается суточный ход температур и увеличиваются среднегодовая температура, относительная и абсолютная влажность воздуха, развивается ярко выраженная бризовая циркуляция, увеличиваются туманообразование и испаряемость, на наветренных склонах в тёплый период увеличивается количество осадков.

Другая группа ученых считает, что водоёмы (кроме крупных водохранилищ, типа Вольты, Виктории и Куйбышевские) на климат не влияют.

Климат (напомним, что БСЭ приводит следующее определение: климат — это многолетний режим погоды, свойственный той или иной местности на Земле и являющийся одной из ее географических характеристик) как многолетний режим погоды формируется под влиянием ряда факторов, важнейшими из которых являются два: приход-расход солнечной энергии и циркуляция атмосферы. Именно они определяют смену времён года, оттепели зимой и похолодания летом, продолжительные засушливые и влажные периоды и т.д. Но не менее важную роль играют и местные факторы. В их число входят: рельеф территории (расчленённость, экспозиция и крутизна склонов, высота), характер растительного покрова, степень хозяйственного освоения районов и т.п. Наличие большого водохранилища играет роль местного фактора. Поэтому специфические черты изменения микроклимата побережья озёр и водохранилищ проявляются на фоне общих особенностей и колебаний климата данного региона.

Влияние водохранилищ на климат распространяется на сравнительно небольшую территорию прилегающего региона и ещё менее заметно в нижних бьефах гидроузлов. Изменения микроклимата при создании водоёма определяется увеличением суммарной радиации и радиационного баланса, большой теплоёмкостью водохранилищ по сравнению с сушей, уменьшением шероховатости поверхности и другими факторами. Следует отметить, что интенсивность

изменения климата под влиянием водохранилища зависит также от рельефа (чем выше берег, тем быстрее затухают эти изменения), от параметров водохранилища, особенно объёма водной массы, и других факторов. Основные изменения метеоусловий под влиянием водохранилищ состоят в следующем: увеличивается радиационный баланс, испарение, ослабляется континентальность климата, возрастают скорости ветра, появляются ветры типа бризов и др.

Микроклиматическое влияние водохранилища подразделяют на две периода: преимущественно охлаждающего и обогревающего действия. Охлаждающий период более длительный, чем обогревающий. Обогревающий период менее выражен и значительно менее продолжительный. Яркое влияние охлаждения продолжается 2 – 3 месяца. Зона влияния водохранилища зависит от рельефа побережья, особенности водосбора и особенно прибрежной зоны, ориентации чаши водохранилища, общей циркуляции атмосферы. Зона влияния водохранилища среднего размера в тёплый период года – до 500 м (чаще меньше), а зимой – не более 200 м. У более крупных водохранилищ зона влияния увеличивается до нескольких километров, у крупнейших – десятков километров. Происходит следующее: увеличивается влажность воздуха в радиусе примерно 5 – 10 км от водохранилища для крупных сооружений [3, 32, 33, 39]. И из-за этого изменяется температура (летом – снижается, зимой – увеличивается) и изменяется режим ветров. Чаще всего на берегах водохранилища усиливаются максимальные и средние скорости ветра, но это влияние сильно лишь при условии открытых котловин, а в других случаях режим местной циркуляции не меняется совсем.

Изменения затрагивают практически все элементы климата акватории и прибрежных территорий. Известно также, что причина специфичности климата прибрежной зоны водоёмов кроится в различии физических свойств воды и суши. Альbedo водной поверхности при большой высоте Солнца колеблется всего от 7 до 11 % и всегда меньше альbedo поверхности суши. Интенсивность потери тепла деятельной поверхностью в основном зависит от её температуры, а, следовательно, различия в суммах эффективного излучения водой и сушей тем

больше, чем больше термические контрасты между ними, которые тесно связаны с географической зональностью.

Для глубоких водохранилищ характерны большие сезонные колебания радиационного баланса воды к радиационному балансу суши. Весной водохранилища оказывают охлаждающее влияние на прибрежные территории, а во второй половине теплового периода, отдавая накопленное тепло, оказывают отопляющее воздействие. Под воздействием водохранилищ в прибрежной полосе, как правило, уменьшается континентальность климата: ход температур становится плавным, суточная амплитуда температур воздуха уменьшается, влажность воздуха увеличивается, весенние заморозки прекращаются в более ранние сроки, осенние заморозки наступают позже и т.д.

В районе крупных водохранилищ несколько увеличивается количество осадков. За счёт испарения с увеличившейся водной поверхности возрастает относительная и абсолютная влажность воздуха, что особенно заметно сказывается в аридных и семи аридных зонах. В нижних бьефах ГЭС внутригодовое перераспределение стока приводит к увеличению расхода воды в зимнее время и к усилению его влияния на температуру и влажность воздуха. Значительнее изменяется термический режим ниже глубоководных водохранилищ, в районах с холодным климатом. В таких бьефах наблюдается повышение влажности воздуха и образование туманов. Также несколько в нижних бьефах изменяется микроклимат речных долин.

Вопрос о регулировании речного стока и строительстве крупных водохранилищ в Центральной Азии возник в 50-е годы прошлого века именно в связи с развитием орошаемого земледелия. Только с этого времени началось строительство таких крупных гидросооружений с водохранилищами большого объёма, как Бахриточикское и Нурекское в Таджикистане, Токтогульское в Кыргызстане, Чарвакское, Андижанское и Тюямуюнское в Узбекистане, Зеидское и Копетдагское в Туркменистане, Бухтарминское, Капчагайское, Коксарайское и Шардаринское в Казахстане [50]. Ошибочное мнение о том, что естественный режим реки отвечает интересам ирригации, основано на внешнем сходстве этих

режимов. В обоих случаях наибольшие расходы проходят летом, а наименьшие – зимой. Однако при более внимательном рассмотрении оказывается, что конкретные распределения расходов реки совершенно не соответствуют требованиям ирригации.

Согласно [40, 42] непосредственное влияние водохранилищ на микроклимат близлежащих районов ощущается на расстояниях нескольких сот метров, а в направлении ветра такое влияние может быть зарегистрировано на расстояниях более 10 км. Для установления влияния водохранилищ на возможные изменения агроклиматических условий авторы [39, 40, 42] анализировали тренд метеорологических параметров трёх районов Файзабада, Дангары и Явана Республики Таджикистан с развитой аграрной отраслью прибрежной к Нурекскому водохранилищу. Были использованы метеорологические данные 1950 – 2018 гг. метеостанций, расположенных в районах исследований.

Строительство Нурекской плотины было начато в 1961 и в 1979 году уже был достигнут уровень воды в водохранилище 890 м, а отметка нормального подпорного уровня, равная 910 м, была достигнута в сентябре 1983 года. Нурекское водохранилище располагается в 257 км от устья реки Вахш, в 75 км от г. Душанбе и распространяется вверх от створа плотины, примерно, на 70 км. Следовательно, можно считать, что влияние водохранилища на климат местности должно ощущаться после восьмидесятих годов двадцатого столетия. Исходя из данного предположения, авторы анализировали для сравнения метеорологические параметры двух периодов – до (1950 – 1980) и после (1980 – 2018) возведения плотины.

Для снятия прочих факторов был использован метод анализа пространственных разностей. Если физико-географические условия сильно не изменяются, то пространственные разности между двумя парами станций являются устойчивыми величинами (в многолетнем разрезе). По изменению пространственных разностей двух пар станций, одна из которых расположена в сфере воздействия водохранилища, можно судить об эффекте влияния водоёма. Объ-

зательное условие анализа – длительность ряда метеорологических наблюдений до и после возведения водохранилища.

Исследованные авторами районы прибрежные к Нурекскому водохранилищу расположены в радиусе до 26 км относительно водохранилища и на различных высотах относительно уровня моря и широтах: Файзабад ($38^{\circ}15' \text{ N}$, $69^{\circ}32' \text{ E}$), Дангара ($38^{\circ}10' \text{ N}$, $69^{\circ}32' \text{ E}$), Яван ($38^{\circ}32' \text{ N}$, $69^{\circ}05' \text{ E}$) [39, 40] (рис. 2.14).

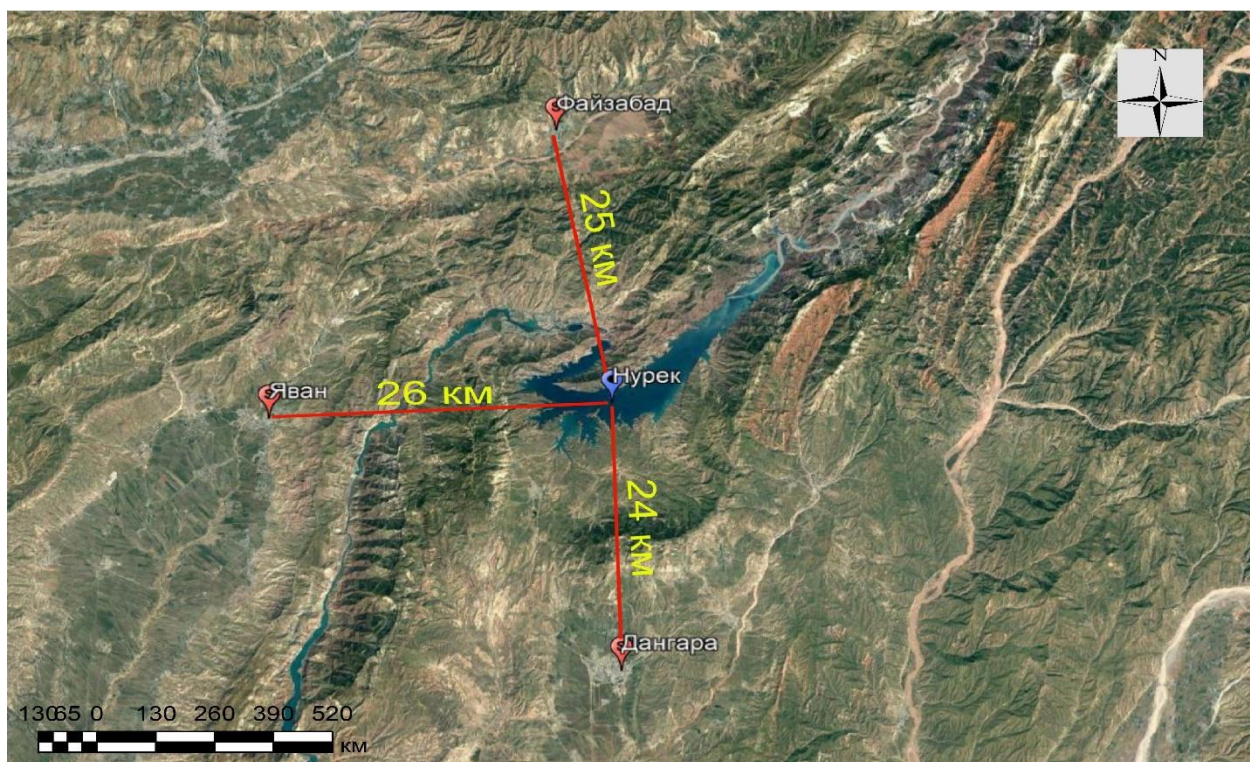


Рис. 2.14. Расположение Нурекского водохранилища и метеорологических станций Файзабад, Дангара и Яван.

Необходимо отметить, что за период 1950 – 2018 гг. изменение температуры во всех трёх районах имеет возрастающий характер без проявления каких-либо отклонений или экстремумов после 80-х годов, свидетельствующих о влиянии Нурекского водохранилища. Однако при сравнении хода изменения температуры до и после возведения водохранилища наблюдаются различные тренды возрастания температуры (рис. 2.15).

Как следует из рис. 2.15, изменение температуры в трёх исследованных районах – Файзабад, Дангары и Яван до 1980 года имело более плавный ход

(рис. 2.15 а, в, д), а после 1980 года оно приобрело более крутой характер увеличения (рис. 2.15 б, з, д).

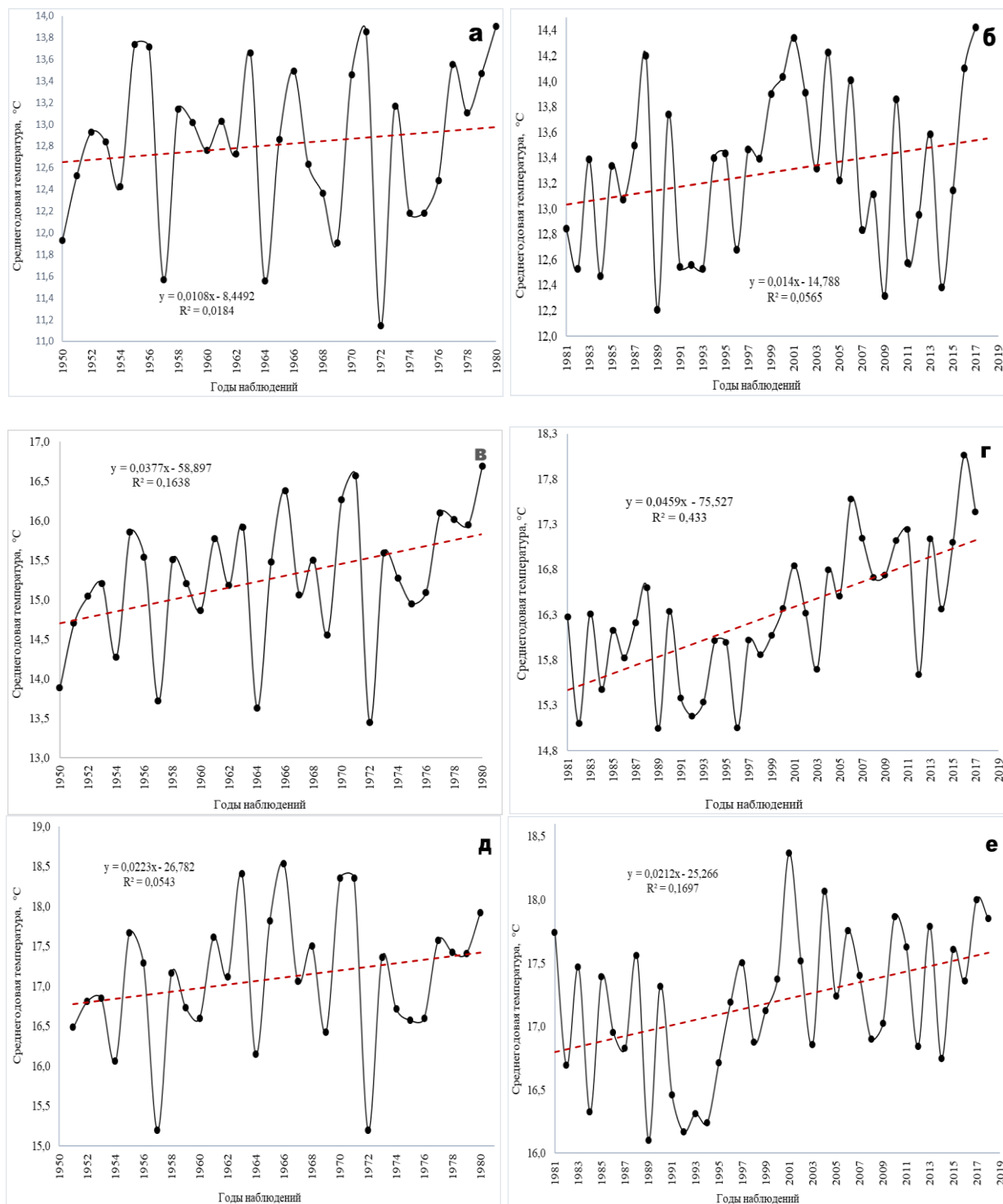


Рис. 2.15. Динамика изменения температуры по наблюдениям метеостанций Файзабад (а, б), Дангары (в, г) и Яван (д, е) до и после возведения Нурекского водохранилища

Объяснение наблюдаемых явлений с точки зрения удалённости расположения районов относительно Нурекского водохранилища является ошибочным, т.к. Файзабад находится на расстоянии 25 км, Дангара на расстоянии 24 км, а

Яван на расстоянии 26 км (рис. 2.14). По высоте расположения районов над уровнем моря Дангара и Яван более близки друг к другу и логично предположить схожесть показаний их метеопараметров.

Авторы также проводили анализ пространственно-временного изменения атмосферных осадков вышеперечисленных районов за период 1950 – 2018 годы. На рис. 2.16 *а, б* представлены среднегодовые значения осадков в районе Файзабада за периоды 1950 – 1980 и 1981 – 2018 гг. Тренд изменения атмосферных осадков Файзабада как до возведения водохранилища, так и после него имеет убывающий характер. Хотя изменение влажности района за рассматриваемые периоды, как видно из рис. 2.16 *в, г*, характеризуется до возведения возрастающим, а после возведения – убывающим трендом.

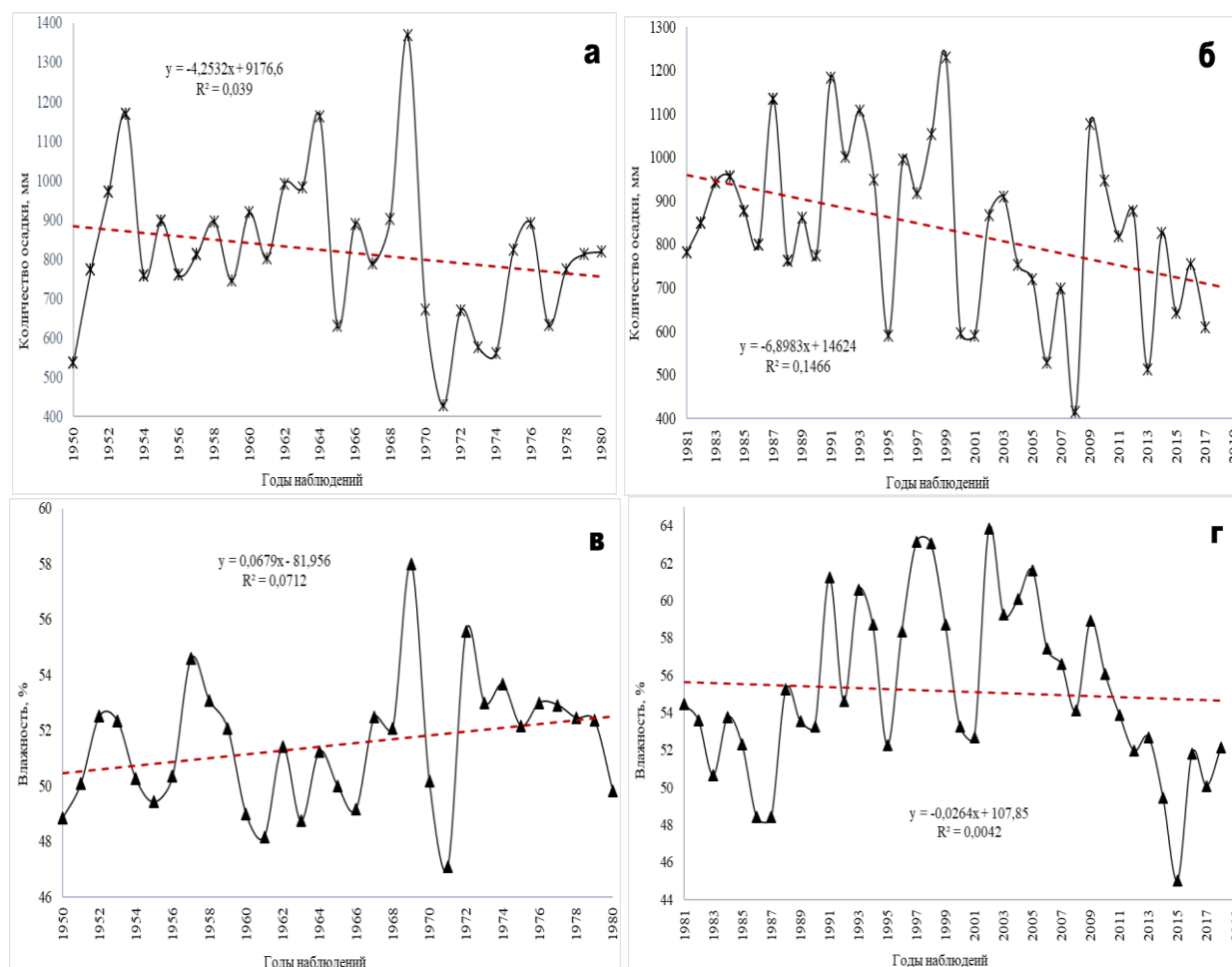


Рис. 2.16. Динамика изменения атмосферных осадков (*а, б*) и влажности (*в, г*) по наблюдениям метеостанции Файзабада до и после возведения Нурекского водохранилища

Совершенно иной характер изменения атмосферных осадков и влажности был выявлен при мониторинге метеопараметров районов Дангары и Явана. На

рис. 2.17 приведены изменения осадков и влажности Дангары до и после возведения Нурекского водохранилища.

Как видно из рис. 2.17 *з* за период после возведения водохранилища, т.е. после 1980 года, наблюдается тенденция резко уменьшения влажности, хотя ее более возрастающий тренд наблюдался до 1980 года. Такой же переход с возрастающего тренда периода 1950 – 1980 гг. на убывающий периода 1981 – 2018 гг. наблюдался и в изменении осадков (рис. 2.17 *а, б*).

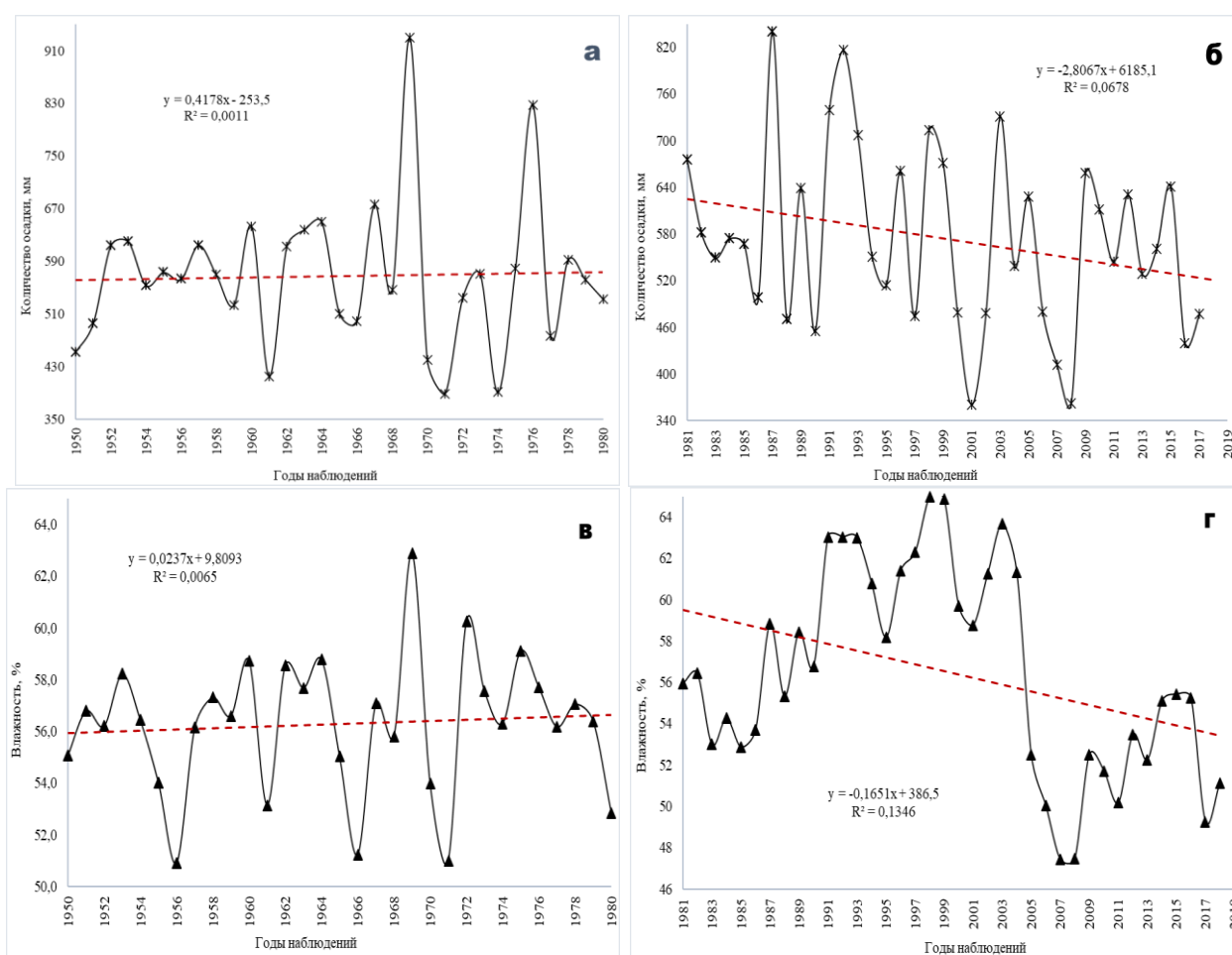


Рис. 2.17. Динамика изменения атмосферных осадков (*а, б*) и влажности (*в, г*) по наблюдениям метеостанции Дангары до и после возведения Нурекского водохранилища

На рис. 2.18 представлена динамика изменения осадков и влажности для другого исследовательского района Явана до и после возведения Нурекского водохранилища.

Из рис. 2.18 ясно, что в районе Яван в период 1950 – 1980 гг. влажность имела более плавное уменьшение (рис. 2.18 *в*), а после возведения водохранилища, т.е. после 1980 года, наблюдается увеличение влажности (рис. 2.18 *г*).

Однако можно отметить, что количество осадков как в годы до возведения водохранилища, так и в период после его возведения уменьшается (рис. 2.18 а, б). Расчёты показывают, что уменьшение атмосферных осадков в Яване за период 1950 – 1980 гг. составляет 4,7 мм.

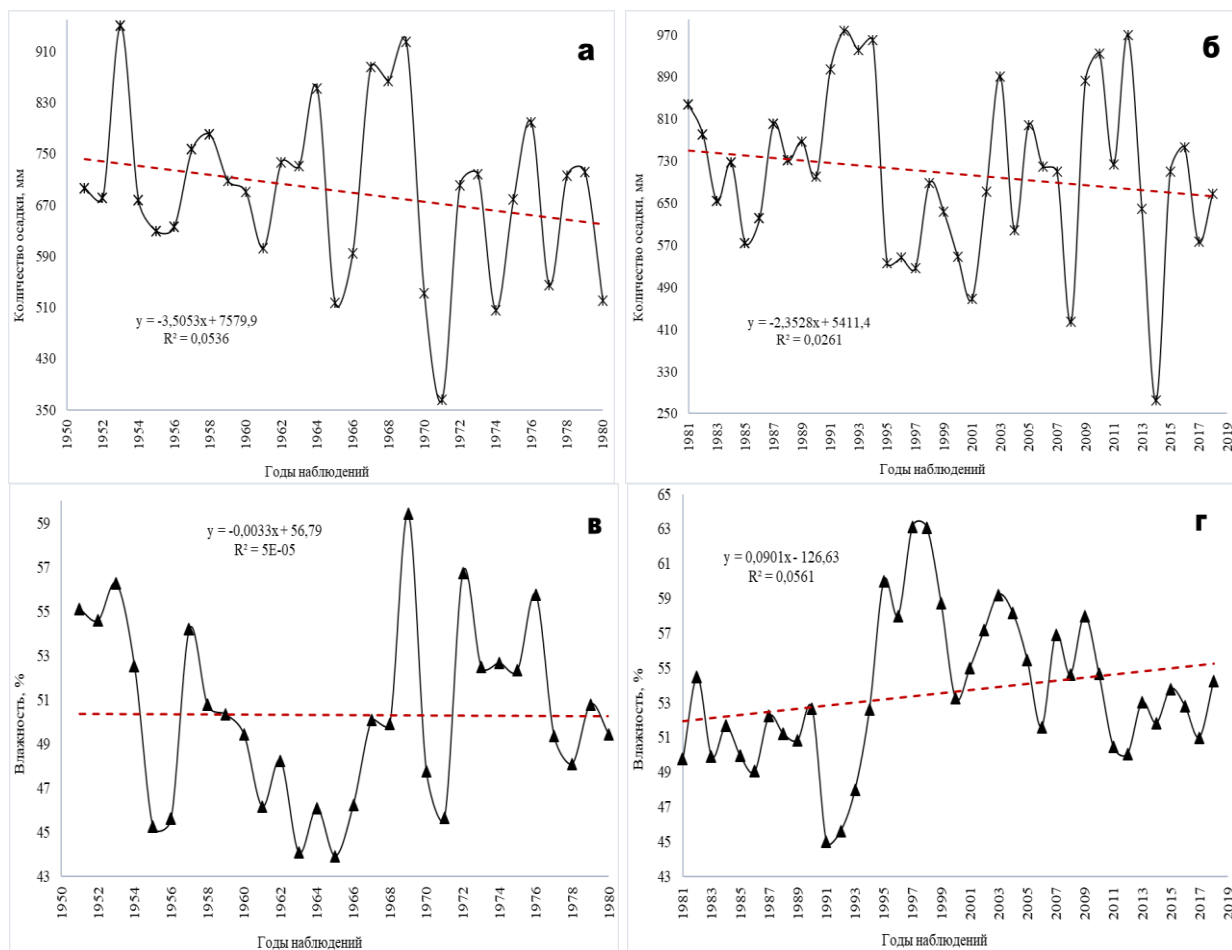


Рис. 2.18. Динамика изменения атмосферных осадков (а, б) и влажности (в, г) по наблюдениям метеостанции Явана до и после возведения Нурекского водохранилища

Еще для установления степени влияния Нурекского водохранилища на микроклимат местности нами проводились анализы климатических параметров трёх районов (Файзабад, Дангара и Яван) с развитым сельским хозяйством, примыкающих к Нурекскому водохранилищу, в 1968 – 2000 гг. Данные, обобщённые в табл. 2.9, показывают, что за 32 года (1968 – 2000 гг.) среднегодовое значение температуры увеличилось на 1,0 – 1,5°C, влажность уменьшилась на 3 – 6 % и испарение возросло на 10 – 26 %.

Таблица 2.9

**Среднемесячные значения температуры, влажности, осадков и испарения
в прибрежных районах до и после возведения Нурекской водохранилищ**

Метеостанция	Индекс	Годы	
		1968 – 1972	1995 – 2000
Дангара	$T, ^\circ\text{C}$	15,3	16,4
	$H, \%$	57,0	56,9
	$F, \text{мм}$	570,5	598,5
	$I, \text{мм}$	1196,7	1438,0
Файзабад	$T, ^\circ\text{C}$	13,2	15,4
	$H, \%$	61,6	55,2
	$F, \text{мм}$	709,0	675,4
	$I, \text{мм}$	1013,0	1258,8
Яван	$T, ^\circ\text{C}$	17,2	16,9
	$H, \%$	47,2	50,4
	$F, \text{мм}$	677,4	677,3
	$I, \text{мм}$	1630,8	1567,5

Примечание: T – температура; H – влажность; F – осадки; I – испарение.

Однако, в Яванском районе наблюдалась противоположная тенденция изменения климатических параметров: температура и испарение уменьшались на 0,5 и 7,2 % соответственно, а влажность увеличилась на 7,2 %.

При разработке режима орошения обычно используют климатические параметры местности за весь период наблюдения. Такой подход часто приводит к существенным ошибкам. На старых орошаемых и перспективных площадях орошения из-за игнорирования процесса глобального режима орошения климата не учитываются растущие потребности в воде.

Например, в Яванском районе использование старых норм орошения и не учёт фактора изменения климата привело к перерасходу водных ресурсов. Согласно спецификации оросительной нормы, Яванский район со средним значением коэффициента увлажнения 0,35 относится к категории засушливых районов. Данные, представленные в табл. 1.9, показывают, что за последние 20 лет испарение в долине уменьшилось почти на 300 мм (17 %), а количество осадков увеличились на 70 мм (11 %) и коэффициент влажности достиг 0,45. Рекомендованные нормы орошения для выращивания тонковолокнистого хлопка и люцерны составляют 1100 и 3000 м³/га. Проведённые нами расчёты показывают,

что непроизводительные потери воды только в двух районах, приграничных к Нурекскому водохранилищу, составляют более 60 млн м³.

Таким образом, проведенный анализ показывает неоднозначное влияние водохранилища на метеорологические условия прибрежных к нему районов. Это прежде всего обусловлено тем, что рассматриваемые районы характеризуются горным рельефом. В горных местностях [39, 40] благодаря влиянию высоких возвышенностей наблюдаются процессы отражения, отклонения и возникновения направленного движения воздушных масс. Исходя из этого наличие развитой сети метеостанций в горных местностях является залогом получения реальной картины сценариев изменения метеорологических условий. Поэтому влияние водохранилищ на микроклимат в различных зонах неодинаково. В зоне недостаточного увлажнения это влияние затухает быстрее и резче, чем в зоне избыточного увлажнения, и распространяется дальше, но с менее резкими переходами. В тоже время абсолютные и относительные показатели изменения микроклимата возрастают при движении с севера на юг.

Необходимо особо отметить, что постоянный мониторинг за метеорологическими параметрами крупных водных объектов важен с точки зрения развития аграрного, экологического и экономического секторов. Своевременное установление вариаций метеорологических условий, и разработка технологий адаптации к установившимся условиям, селекция сельскохозяйственных сортов, устойчивых к изменениям климатических факторов и стрессовых ситуаций, являются залогом обеспечения продовольственной безопасности.

2.5. Особенности теплового режима и влагообеспеченности

Вахшского агроклиматического района в условиях изменения климата

Бассейн реки Вахш включает два географо-экономического района Таджикистана: Рашт (верховья) и Вахш (низовья), часто называемые Раштскими и Вахшскими долинами. Раштская долина включает город Рогун, а также Раштский, Лахшский, Таджикабадский, Нурабадский и Сангворский районы и зани-

мает площадь 17,1 тыс. км². Вахшская долина включает города Бохтар, Леваканд, Нурек, а также районы Н. Хусрав, Шаартус, Кабодиян, Дусти, Джайхун, Дж. Балх, А. Джамы, Кушаниян, Вахш и Пяндж площадью 12,6 тыс. км² (рис. 2.19).

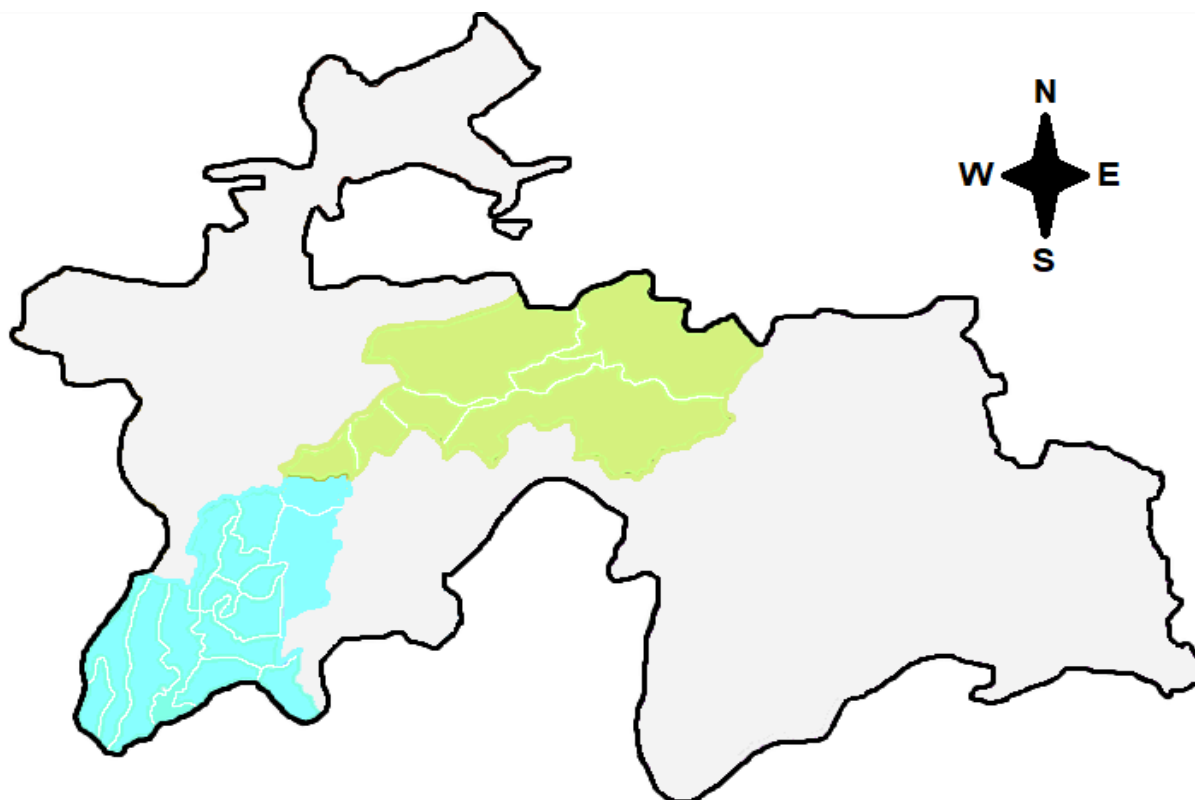


Рис. 2.19. Вахшская (синий) и Раштская (зелёный) долина Таджикистане

Необходимо отметить, что только 7 % территории Таджикистана расположено в равнинах и долинах, а бóльшая часть пахотных и орошаемых земель расположена в Вахшской долине. Эта долина расположена в юго-западной части страны, на высоте 329 – 445 м над уровнем моря. Граница Вахшской долины определяют горные хребты Тераклитау и Каратау (с востока), Рангон (с севера), Актау (с запада), равнины и пески на правом берегу реки Пяндж (с юга).

В агроклиматическом районировании Таджикистана Вахшская долина также называется Вахшским агроклиматическим районом. По условиям увлажнения Вахшский агроклиматический район тоже разделяют на три агроклиматических подрайона – Кафирниганский, Яванский и Бохтарский.

По данным Икромова И.И. и Мирзоева М.М., распределение общих земель, в том числе орошаемых, в административных районах Вахшской долины выглядит следующим образом (табл. 2.10).

Таблица 2.10

Распределение площадей по административным районам Вахшской долины

Административные центры	Территория				Пашня			
	Общая		В том числе орошаемая		Общая		Орошаемая	
	га	%	га	%	га	%	га	%
Н. Хусрав	81849	7,98	14105	7,28	6416	5,15	6416	5,53
Шаартус	131259	12,79	17981	9,28	8978	7,21	8908	7,68
Кабодиён	154648	15,07	23180	11,96	13217	10,61	12817	11,07
Дусти	123582	12,04	22258	11,49	14598	11,72	13843	11,94
Джайхун	90251	8,80	23867	12,32	11978	9,62	11828	10,20
Дж. Балхи	127981	12,47	24679	12,74	17629	14,15	16076	13,87
Кушониён	55573	5,42	24384	12,58	17355	13,93	16142	13,93
Вахш	158629	15,46	22913	11,83	16841	13,52	15663	13,51
Пяндж	86752	8,45	16774	8,66	15308	12,29	11996	10,36
Леваканд	13109	1,28	2393	1,23	1615	1,30	1582	1,36
Бохтар	2457	0,24	1233	0,64	638	0,51	638	0,55
Всего	1026090	100	193767	100	124573	100	115909	100

Широкие долины и равнины являются основными районами земледелия и хлопководства. Для южных долин республики характерна ясная, сухая погода летом и неустойчивая – в холодный период года, когда выпадает основная масса осадков. Южные районы по суммам температур выше 100°C вполне обеспечивают созревание хлопка и многих других теплолюбивых культур. По степени увлажнённости эти районы – сухие. Особенно мало выпадает осадков в период активной вегетации.

Учёт всех метеорологических элементов и принятие соответствующих мер способствуют нормальному развитию сельского хозяйства, промышленности, сокращают масштабы возможного ущерба при возникновении стихийных гидрометеорологических явлений, ЧС. И весьма важным с точки зрения климатических ресурсов, в особенности для агрометеорологии, является количество осадков, выпадающих при определённой температуре воздуха.

Для изучения потепления климата на орошаемой территории Вахшской долины, являющейся основным земледельческим агроклиматическим районом

Таджикистана, выполнен анализ динамики климатических показателей по данным многолетних наблюдений метеостанций Агентства по гидрометеорологии Республики Таджикистан.

На территории Вахшского агроклиматического района расположено несколько метеорологических станций, по данным наблюдений которых и определены термический режим и влагообеспеченность данного района. Для анализа и сравнения со средними многолетними метеорологическими величинами рассмотрены данные метеорологических параметров метеостанциям Айвадж (318 м), Шаартус (378 м), Нижний Пяндж (327 м) и Бохтар (425 м).

В то же время следует отметить, что метеоданные, которые использовали в данной работе, взяты из отчётов метеорологических станций с 1950 до 2016 года). При этом метеостанция Айвадж не работала с 1990 по 2010 год, а метеостанция Нижнего Пянджа – с 1990 года.

На рис. 2.20 – 2.21 показано изменение среднегодовой температуры по данным многолетних наблюдений метеостанций Айвадж, Шаартус, Нижний Пяндж и Бохтар.

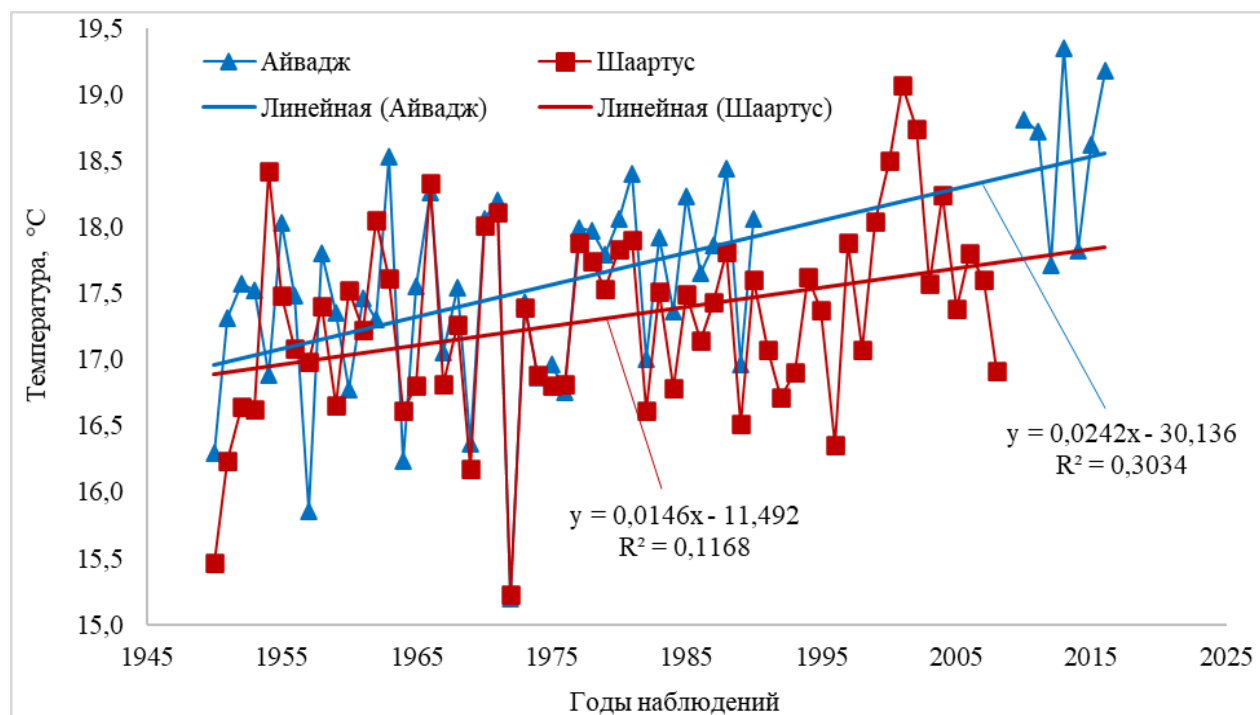


Рис. 2.20. Изменение среднегодовой температуры по наблюдениям метеостанций Айвадж и Шаартус

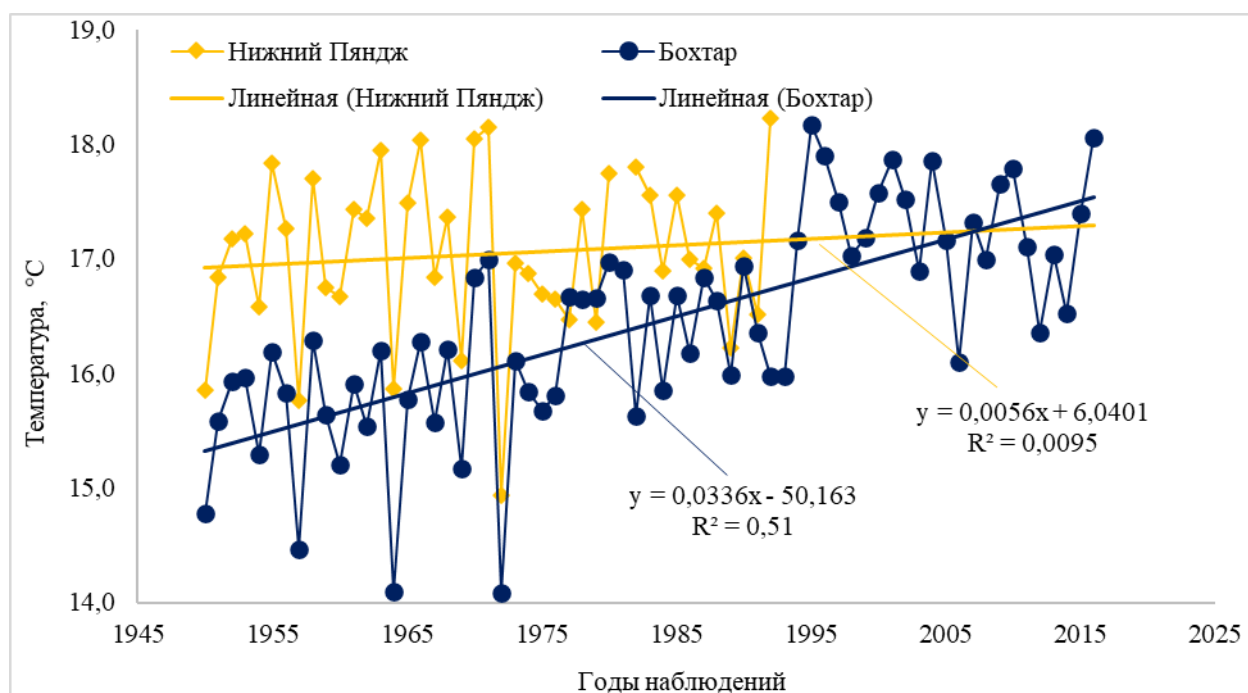


Рис. 2.21. Изменение среднегодовой температуры (метеостанции Нижний Пяндж и Бохтар)

Из анализа рис. 2.20 – 2.21 видно, что за исключением метеостанции Нижнего Пянджа, температура воздуха в других метеорологических станциях Вахшского агроклиматического района имеет тенденцию к значительному повышению. Хотя более низкая температура зафиксирована на метеостанции Бохтар. Именно данные этой станции показывают наибольшую тенденцию роста.

По данным пятилетия выявлено, что период со среднесуточными температурами ниже 0°C в Вахшском агроклиматическом районе отсутствует, а период со средней суточной температурой выше 5°C начинается в середине февраля и продолжается до первой декады декабря. Средняя продолжительность безморозного периода на метеостанции Бохтар составляет 246 дней.

Даты перехода среднесуточных температур через 0 , 5 , 10°C не постоянны, от года к году они могут сдвигаться, в зависимости от того, холодная или тёплая была зима, дружная или продолжительная весна, ранняя или поздняя осень. С высотой начало этого периода запаздывает на $2 - 3$ дня на каждые 100 м подъёма. Период активной вегетации наступает в середине марта и продолжается до середины ноября, в то же время с высотой эти даты сдвигаются на начало марта и первую декаду ноября.

Даты понижения температуры ниже 0°C ограничивают период жизнедеятельности растений. В период между датами перехода через 5°C весной и осенью происходит начало или прекращение вегетации растений. С повышением температуры воздуха выше 10°C начинают сев хлопчатника и других теплолюбивых культур. Также, за период с температурами выше 10°C накапливается в среднем сумма активных температур до $4500 - 5800^{\circ}\text{C}$.

Холодный период очень короткий и составляет $55 - 80$ дней. Настоящей зимы нет до высоты 1200 м, а процент вегетационных зим составляет $70 - 86\%$. Абсолютные минимумы достигают значительных величин, порядка $22 - 27^{\circ}\text{C}$ мороза, 50% зим имеют минимальные температуры $12 - 17^{\circ}\text{C}$ ниже нуля.

Большие запасы тепла позволяют возделывать тонковолокнистые сорта хлопчатника до высоты $700 - 800$ м. Виноград, абрикос и зерновые обеспечены теплом на всех высотах. Безморозный период составляет $220 - 260$ дней.

Это наиболее обеспеченный теплом район республики. Продолжительность тёплого периода здесь $250 - 310$ дней, а периода с температурой выше 10°C $200 - 255$ дней.

Во второй половине июля начинается жаркая, сухая и ясная погода, увеличивается испаряемость почвы, истощаются запасы продуктивной влаги. Вегетация в естественных условиях становится невозможной и спасти положение может лишь искусственный полив.

В среднем в данное пятилетие температурный режим был выше средне-многолетних значений на $0,2 - 0,7^{\circ}\text{C}$.

В феврале термический режим был близок к норме. В течении всего периода зимы были достаточно тёплыми: температуры стояли близкими к норме и выше нормы.

Вегетационность большинства зим характеризуется тем, что средняя температура самого холодного месяца-января в Вахшском агроклиматическом районе была положительная: $3,3 - 3,6^{\circ}\text{C}$. Днем воздух в отдельные дни января прогревался до $20,3 - 20,6^{\circ}\text{C}$, а ночью минимальная температура опускалась до $11,6 - 15,8^{\circ}\text{C}$ ниже нуля.

Заморозки опасны тем, что наблюдаются во время активной вегетации растений и могут вызвать различные повреждения хлопчатника, овощных культур, виноградников, цветущих плодовых культур. Заморозки особенно опасны в период после перехода средней суточной температуры через 10°C, когда начинается вегетация теплолюбивых культур, т.е. для Вахшского района после 15 марта.

На рис. 2.22 – 2.23 показана динамика изменения годовой суммы атмосферных осадков в 1950 – 2016 гг.

Анализ данных рис. 2.22 – 2.23 показывают, что годовое количество атмосферных осадков на всех метеорологических станциях имеет тенденцию к уменьшению.

В Бохтарском подрайоне годовая сумма осадков составляет 300 – 600 мм, в декабре-феврале выпадает 80 – 100 мм, в марте-мае от 100 до 120 мм. Почвенная засуха наступает позже, преимущественно в апреле-мае.

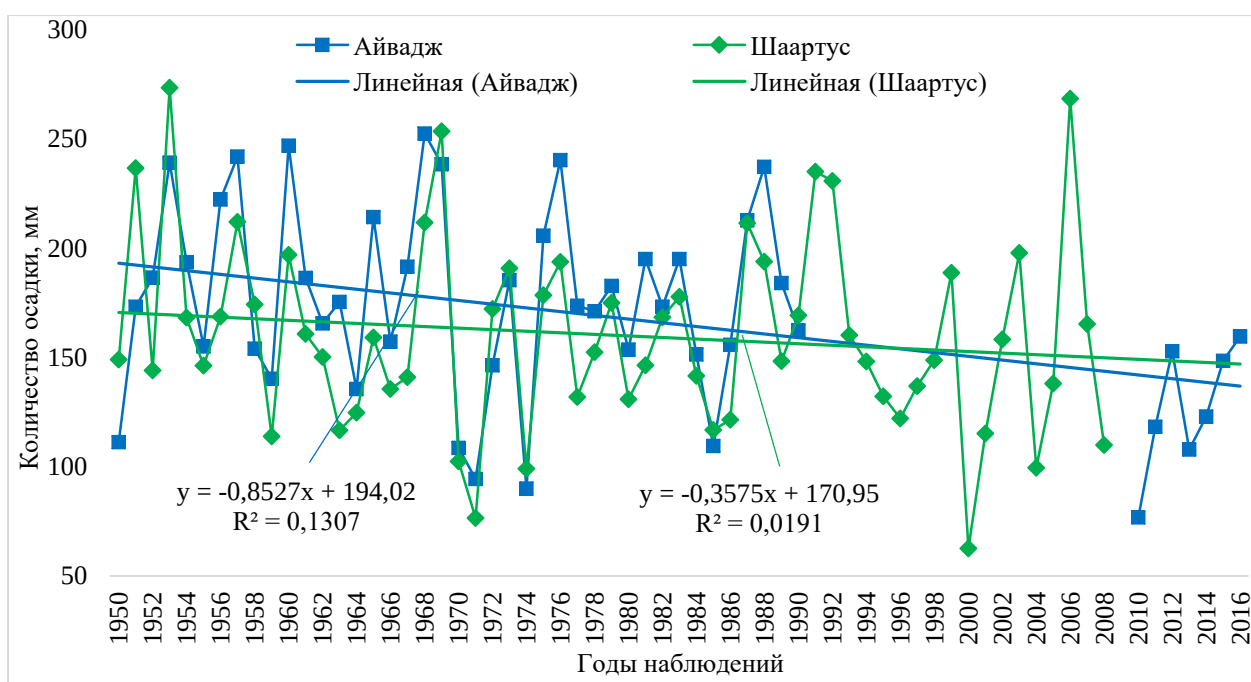


Рис. 2.22. Изменение суммы годовых осадков (метеостанции Айвадж и Шаартус)

За период с декабря по февраль здесь выпадает 60 – 110 мм осадков, а за март-май – от 75 до 140 мм. С июня по август в среднем выпадает 2 – 12 мм осадков. Большое количество тепла обуславливает быстрое испарение влаги и

иссушение почвы, в следствии чего уже в последней декаде марта начинается почвенная засуха.

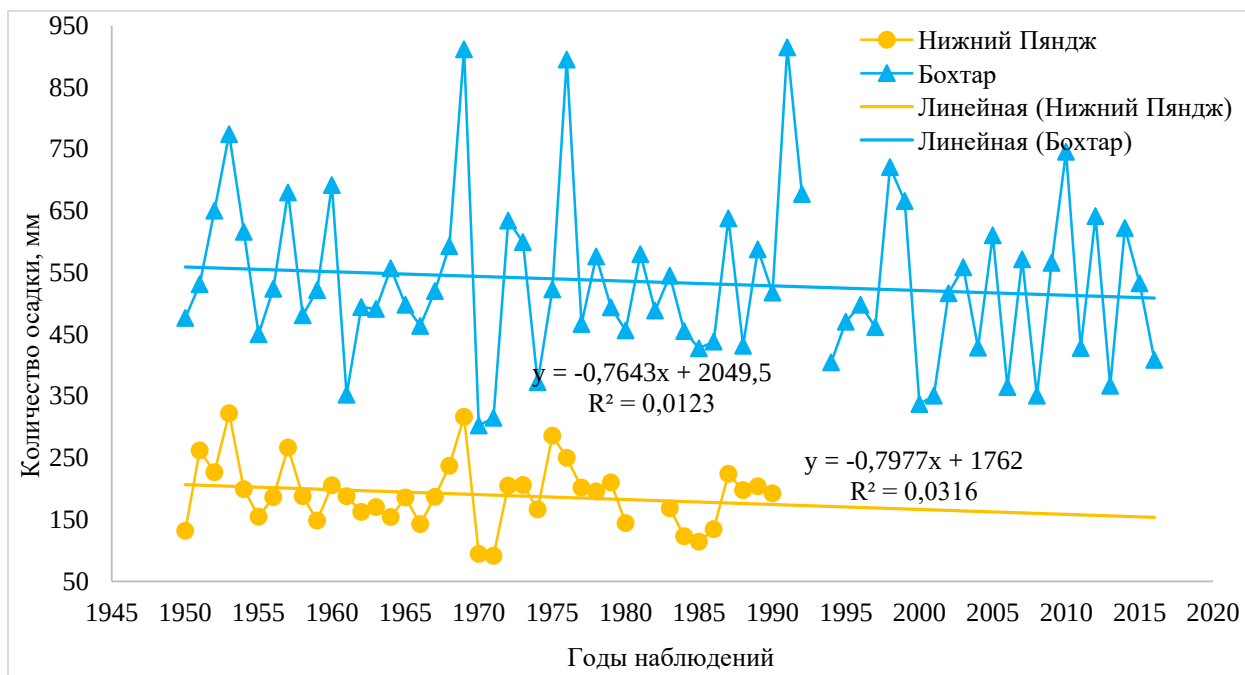


Рис. 2.23 Изменение суммы годовых осадков (метеостанции Нижний Пяндж и Бохтар)

Зима в данном районе наступает в начале декабря и продолжается до начала февраля. С высотой даты наступления и окончания зимы сдвигаются на 3 – 4 дня на каждые 100 м. Так, в Бохтар зимний период продолжается в среднем с 10 декабря по 15 февраля. Устойчивый снежный покров не образуется в 92 – 100% зим, но в течении года в среднем бывает 16 – 17 дней со снежным покровом.

Весной начинается усиление циклонической деятельности. Весна в Вахшском агроклиматическом районе начинается с середины февраля, когда среднесуточные температуры воздуха устанавливаются выше 5°C. С высотой дата перехода сдвигается на более позднее время, и на высотах около 800 м. средняя дата наступления весны – 24 февраля. С этого времени начинается вегетация древесной и травянистой растительности.

Количество выпавших осадков, выраженное в мм, не отражает отношение этого количества к среднему многолетнему значению. Процентное выражение их количества позволяет во время описания влагообеспеченности не сравнивать количество ежегодно выпадавших осадков с нормой. Поэтому в табл. 2.11 пока-

зано распределение многолетних среднесезонных и среднегодовых значений сумм осадков по сезонам и за год за весь период наблюдений.

Таблица 2.11

Распределение многолетней среднесезонной и среднегодовой величины осадков (метеостанции Айвадж, Шаартус, Нижний Пяндж и Бохтар, 1950 – 2019 гг.)

Метеостанция	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Размерность
Айвадж	70,4	83,4	3	15,6	172,4	мм
	40,8	48,4	1,7	9,0	100	%
Шаартус	64,2	78,4	2,7	16,2	161,5	мм
	39,8	48,5	1,7	10,0	100	%
Нижний Пяндж	79,2	89,1	1,1	18,7	188,1	мм
	42,1	47,4	0,6	9,9	100	%
Бохтар	117	129,3	4,7	33,4	284,4	мм
	41,1	45,5	1,7	11,7	100	%

От зимы к весне меняется и характер выпадения осадков. Они становятся более интенсивными, часто сопровождаются грозами и градом.

Лето начинается с ослабления, а затем и прекращения активной циклонической деятельности. Начало лета характеризуется резким уменьшением количества облачности, осадков. Очень быстро прогревается воздух, средняя температура повышается до 27 – 31°C, а максимальная температура достигает 43 – 47°C.

Влагообеспеченность лета практически равна нулю и составляет 1 – 4% от годовой суммы осадков. Лишь в отдельные годы могут пройти кратковременные дожди. В большинстве лет в июле-августе осадки незначительны или не выпадают вообще.

При переходе к осени меняется температурный режим. От начала и до конца осени средняя температура снижается с 21 – 23 до 9 – 10°C. В начале октября на метеостанции Бохтар возможны заморозки в воздухе. В начале ноября прекращается вегетация теплолюбивых культур.

С октября увеличивается количество дней с осадками, их интенсивность, хотя в октябре их выпадение ещё мало и они в основном незначительные. Осенью выпадает 10 – 11% осадков от годовой суммы.

Таким образом, по полученным результатам проведена агроклиматическая оценка Вахшского агроклиматического района выводы таковы.

Вахшский агроклиматический район обладает очень богатыми термическими ресурсами:

- не наблюдается устойчивого перехода среднесуточной температуры ниже 0°C . Это свидетельствует о возможности круглогодичного использования земель;
- суммы температур более 10°C велики (5400 – 6220), что обеспечивает вегетацию теплолюбивых культур;
- не образуется устойчивый снежный покров в 10% зим.

Характерен годовой ход осадков с минимумом в летние месяцы и максимумом – в весенние. В холодный период (октябрь-март) выпадает около $2/3$ годовой суммы осадков. Переувлажнение почвы в апреле-мае может вызвать задержки в проведении полевых работ, а впоследствии – уплотнение верхнего слоя почвы и образование почвенной корки, задержки появления всходов и развития растений.

Агроклиматические ресурсы позволяют возделывать на значительной части территории субтропические плоды и технические культуры. Однако их возделывание в открытом грунте ограничено понижениями минимальной температуры воздуха зимой до губительных для субтропических культур значений (абсолютный минимум – $24 - 27^{\circ}\text{C}$ ниже нуля).

Размещение сельхозкультур, хлопчатника и кормовых культур, проведённое по зонам распределения активных температур выше 10°C учётом характеристик увлажнения территории даёт хорошие и устойчивые урожаи.

Выводы по второй главе

Показаны проблемы изменения климата в зоне формирования водных ресурсов бассейна Аральского моря.

Высокие температуры и уменьшение выпадения снега приведут к таянию ледников на территории Таджикистана и Кыргызстана, что отразится на питании Амударьи, Сырдарьи и их притоков. Снижение общего объёма поверх-

ностного стока может варьироваться от двух до пяти процентов в бассейне Сырдарьи и от 10 до 15% в бассейне Амударьи.

Продемонстрирована динамика изменения метеорологических условий бассейна реки Вахш.

Проанализировано оледенение и состояние ледников верховья бассейна реки Вахш, влияющих на водность реки Вахш в условиях изменяющегося климата, а также влияние климатических изменений годового стока на водно-энергетические ресурсы бассейна реки Вахш. Выяснено, что роль ледников очень похожа на роль водохранилища с сезонным регулированием, которые распределяют годовые накопления (собирают осадки зимой и отдают воду летом) и снижают их изменчивость.

Оценено воздействие каскадных водохранилищ бассейна реки Вахш на изменение климата окружающие среды.

Выявлены особенности термического режима и влагообеспеченности Вахшского агроклиматического района в условиях изменения климата.

ГЛАВА 3. ЗАИЛЕНИЕ НУРЕКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Наиболее длительное наблюдение за гидрологическим режимом реки Вахш, поступающей в Нурекское водохранилище, проводилось в створе с. Туткаул и с. Кишрога, расположенного на 75,5 км выше по течению от Нурекского водохранилища. Сведения о коэффициенте естественной зарегулированности ϕ , среднегодовых притоков и годового объёма воды р. Вахш у села Туткаул в 1932 – 2015 гг. сведены в рис. 3.1, а у села Дарбанд за период наблюдения 2000 – 2015 гг. в рис. 3.2.

Данные о среднемесячных, наибольших и наименьших расходах воды р. Вахш и наиболее ранней концентрации стока δ у названных пунктов в тот же период наблюдения приведены на рис. 3.3, а на рис. 3.4 показаны среднемесячные, наибольшие и наименьшие расходы в процентах от среднегодового стока за выше указанный периоды.

Из рис. 3.3 и 3.4 видно, что сток реки Вахш за период интенсивного таяния высокогорных снегов и ледников (июль-сентябрь) превышает сток за период интенсивного таяния снегов среднего и нижнего яруса гор (март-июнь) у с. Туткаул в 1,31 раза и у с. Дарбанд – в 1,17, т.е. сравнительно немного, если учесть исключительно большую высоту водосбора.

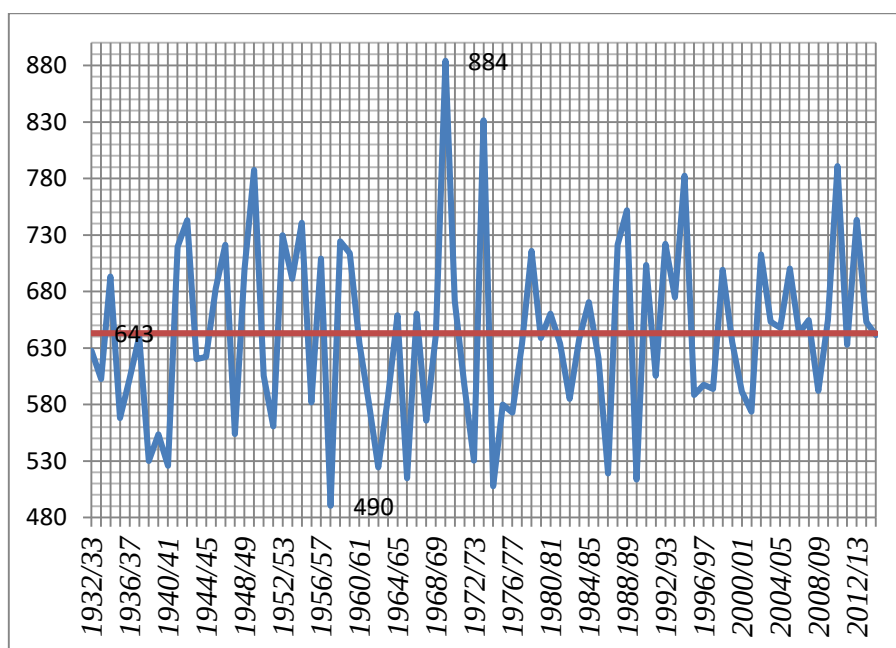


Рис. 3.1. Гидрограф годового расхода р. Вахш у с. Туткаул за 1932 – 2015 гг., км³/год:
----- – фактический годовой расход; ----- – среднегодовой расход

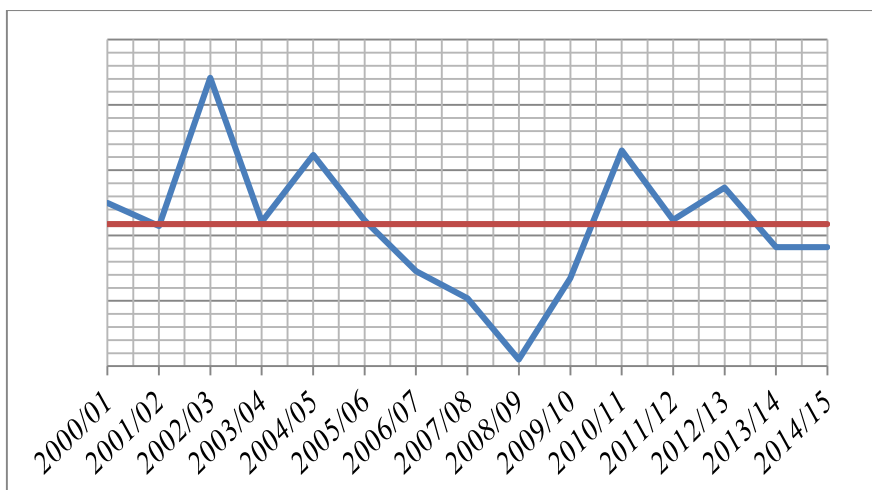


Рис. 3.2. Гидрограф р. Вахш у с. Дарбанд в 2000 – 2015 г., км³/год:
 ----- фактический годовой расход; ----- среднегодовой расход

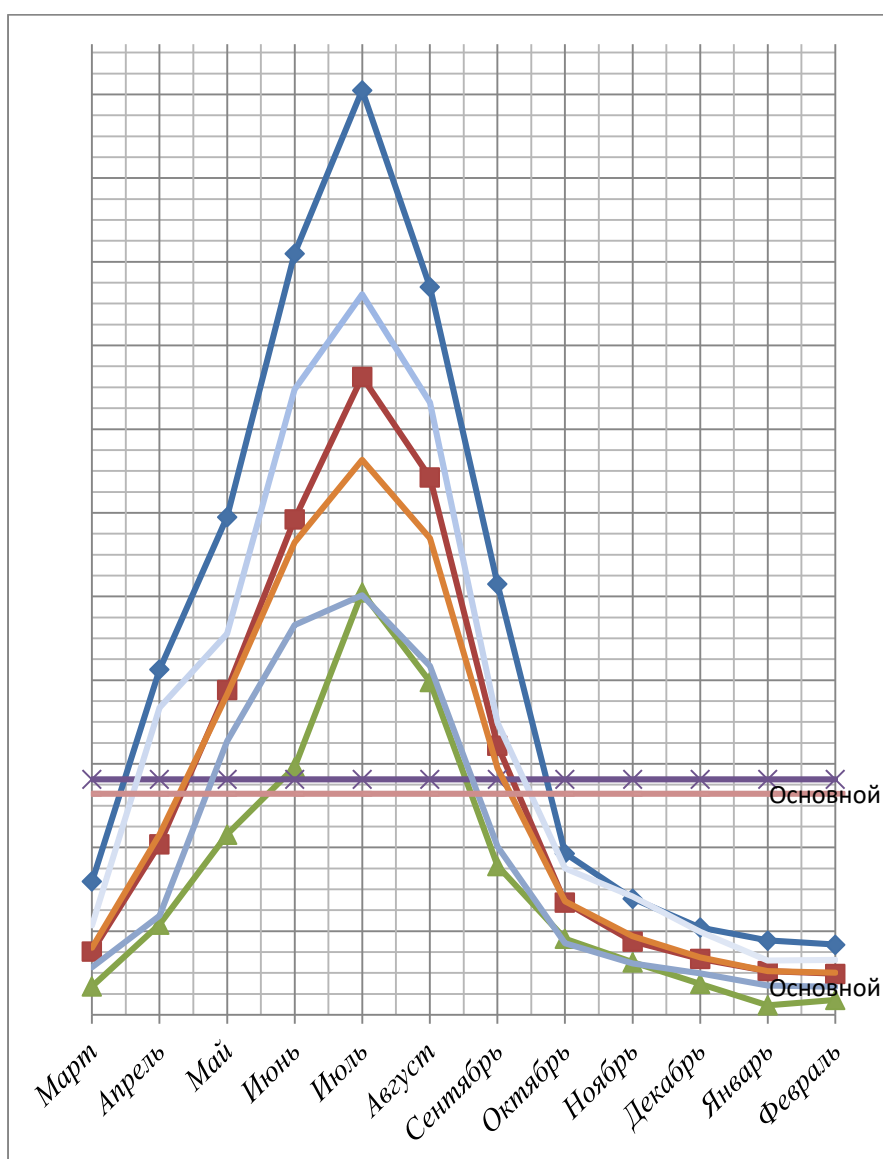


Рис. 3.3. Гидрограф месячный расход воды р. Вахш в 1932 – 2015, 2020 – 2015 гг., м³/с:
 1932 – 2015 гг. ----- наибольший месячный расход; ----- среднемесечный расход;
 1932 – 2015 гг. ----- наименьший месячный расход; ----- среднегодовой расход;
 2000 – 2015 гг. ----- наибольший месячный расход; ----- среднемесечный расход;
 2000 – 2015 гг. ----- наименьший месячный расход; ----- среднегодовой расход

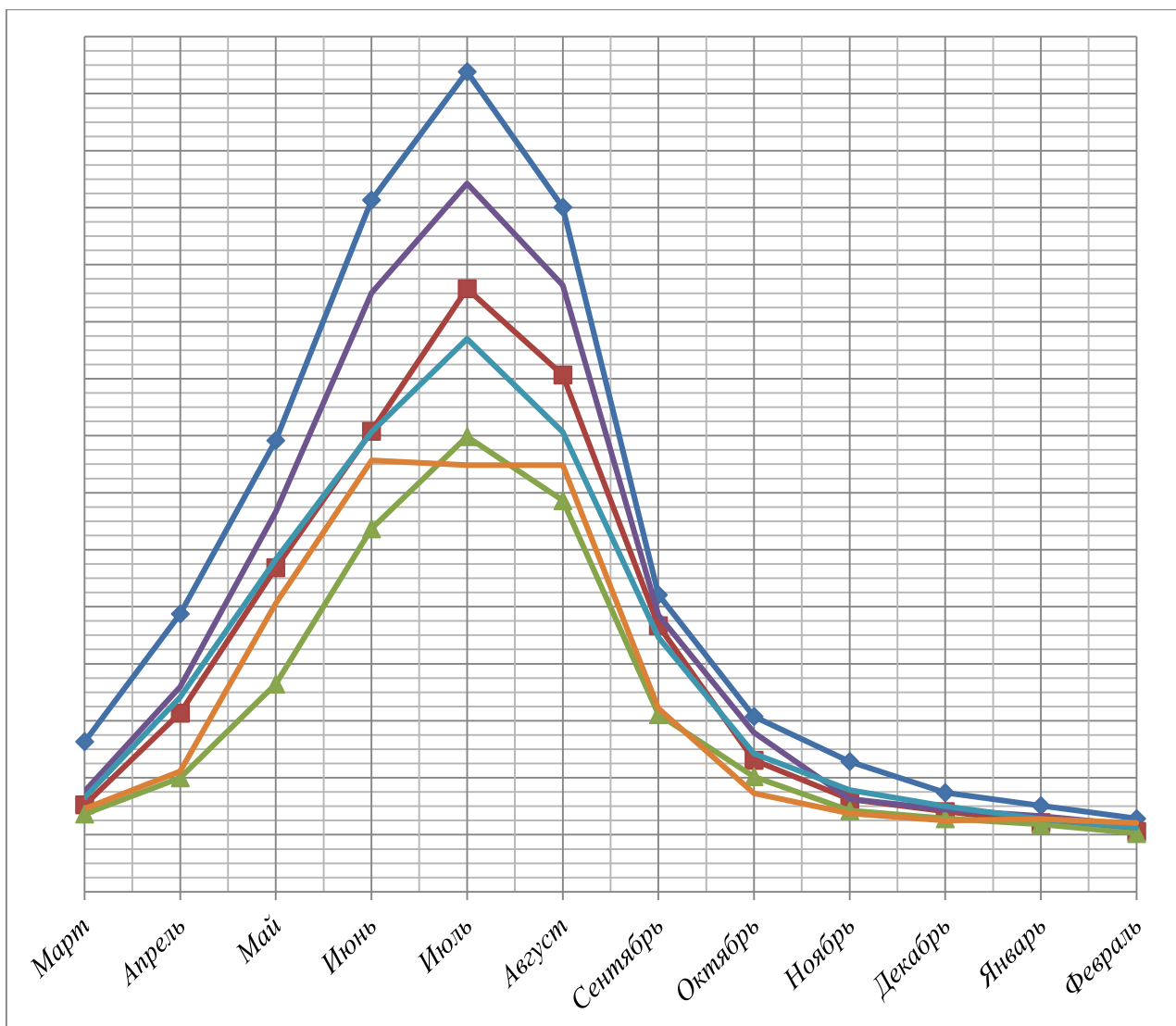


Рис. 3.4. Гидрограф месячного расхода воды р. Вахш в % от годового
 1932 – 2015 гг. ———— — наибольший месячный расход в % от среднегодового, с. Туткаул;
 1967 – 1970 гг. ———— — среднемесячный расход в % от среднегодового, с. Туткаул;
 1932 – 2015 гг. ———— — наименьший месячный расход в % от среднегодового, с. Туткаул;
 2000 – 2015 гг. ———— — наибольший месячный расход в % от среднегодового, с. Дарбанд;
 2000 – 2015 гг. ———— — среднемесячный расход в % от среднегодового, с. Дарбанд

Это явление объясняется высоким расположением снеговой линии на водосборе. Южное положение водосбора и мощный снежный покров даже в нижних поясах гор обуславливает раннее, учитывая высоту водосбора, начало половодья, приходящееся в среднем у с. Туткаул на третью декаду марта, а также большую роль в питании реки дождевыми осадками, которые весной создают ряд временных притоков, накладывающихся на основное половодье.

Из рис. 3.4 видно, что отличия в положениях тыла и фронта снеготаяния и различный тепловой баланс отдельных лет создают довольно значительные различия во внутригодовом распределении стока реки.

Наибольшие значения месячных стоков в некоторые годы может достигать в июле, в другие – в июне. В некоторые годы сток за июль-сентябрь не превышает стока за март-июнь, в другие он может превосходить сток за последний период в два раза. Такие существенные различия во внутригодовом распределении стока реки Вахш в отдельные годы свидетельствуют о необходимости тщательных промеров и анализов этой характеристики стока при водохозяйственных расчетах. Следует отметить тот факт, что год с наиболее ранней концентрацией стока (период наблюдения 1932 – 2015 у с. Туткул, 1969 – 1970 гг.) (период наблюдения 2000 – 2015 гг. у с. Дарбанд 2002 – 2003 гг.) является в то же время одним из наиболее водоносных. Год с наиболее поздней концентрацией стока (период наблюдения 1932 – 2015 гг. у с. Туткаул 1957 – 1958 гг.) (период наблюдения 2000 – 2015 гг. у с. Дарбанд 2008 – 2009 гг.) и является маловодным годом.

Наибольший среднемесячный расход реки Вахш у с. Туткаул равен 2290 м³/с (июль 1973 г.), а у с. Дарбанд 1802 м³/с. (июнь 2002 г.). Наименьший средне месячный расход р. Вахш у с. Туткаул отпускается до 102,9 м³/с (январь 2008 г.), а у с. Дарбанд 147 м³/с (январь 2008 г.).

Наибольший срочный расход воды р. Вахш у с. Туткаул был зарегистрирован в мае – июне 1953 г., который составлял 4290 м³/с, а наименьший был зафиксирован в конце января 2008 г. и составил 89 м³/с. Таким образом, река Вахш является одной из самой нерегулированных рек Средней Азии.

Было установлено, что такой большой коэффициент неравномерности внутригодового распределения и наиболее поздней концентрацией стока реки Вахш зависит от морфометрических, климатических и ландшафтных условий расположения верхней части водосборного бассейна реки [49].

Вместе с тем, процессы глобальных изменений климата для конкретных условий Таджикистана мало изучены и налицо неоднозначный процесс, нуждающийся в более детальном изучении и в организации регулярных наблюдений, в основном, в зоне формирования стока.

Совершенствование систем мониторинга поможет в составлении краткосрочных, долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов водности рек, деградации или подвижки ледникового покрова.

3.1. Поступления осадочного материала из верховьев реки Вахш и абразионный процесс берегов водохранилища

Средний расход взвешенных наносов реки Вахш при выходе его с гор (ст. Сарбандская) равен 2740 кг/с. Таким образом, в среднем ежегодно Вахш выносит 86,3 млн т взвешенных наносов, которые составляют 32 % стока наносов Амударьи у г. Керки за последние годы. Если этот сток отнести к 1 км² водосбора, то окажется, что смыв с его поверхности составляет 2680 т в год. Столь интенсивный смыв оказывается пока рекордным для всей территории Средней Азии.

О чрезвычайной эффективности работы жидкого стока в водосборе реки Вахш наглядно свидетельствует большая мутность воды, которая при выходе её с гор равна 4,16 кг/м³, т.е. несколько превышает мутность р. Амударья у г. Керки.

Распределение стока взвешенных наносов в течение года приведено в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Средние расходы взвешенных наносов реки Вахш при выходе из гор, кг/с

III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	Год
888	2230	4810	4910	10200	7920	1830	266	130	117	44,8	91,4	2740

Фракционный состав взвешенных наносов колеблется в очень широких пределах. Так, при выходе реки Вахш с гор содержание частиц больше 0,25 мм изменяется от 0,0 до 15,4 %; 0,25 – 0,05 мм от 1,7 до 58,6 % и < 0,05 мм – от 35,9 до 98,3 %.

Средний за 1960 г. расход взвешенных наносов реки Вахш в урочище Тигровая балка был равен 3570 кг/с, а мутность воды составляла 5,45 кг/м³. В

этом же году у с. Туткаул расход взвешенных наносов был равен 3100 кг/с (95% расхода в урочище Тигровая балка), а мутность воды 5,34 кг/м³.

Ледовые образования. Ледовые образования на реки Вахш у с. Туткаул и при выходе его с гор развиты слабо и представлены главным образом шугой. Самое раннее появление шуги у с. Туткаул зафиксировано 01.12.944, самое позднее очищение реки от льда 24.11.1957. Наибольшая продолжительность ледовых образований равна 28 суткам (1944 – 1945 гг.), наименьшая – одни сутки (1960 г.).

Процесс переформирования берегов происходит в два этапа – становление новых берегов и их стабилизация. В первый период наблюдается интенсивное разрушение берегов, формирование аккумулятивных форм и замедление переформирования берегов.

Примерно такая пропорция долей источников наносов наблюдается в Нурекском водохранилище.

Наиболее сильно загрязнены центральная и приплотинная части водохранилища, что связано с инженерно-хозяйственной деятельностью: функционированием многочисленных предприятий горнопромышленного, химического и аграрного комплекса.

Рельеф района Нурекского водохранилища характеризуется резко выраженной асимметрией долины, чётко видной на аэро- и космических снимках. Левый борт чаши водохранилища, сложенный суглинками, лёссовидными суглинками с линзами супесей и песков, имеет уклон 2 – 6°.

Правый борт, представленный песчаниками, аргиллитами, конгломератами, сравнительно крутой – 18 – 48°, в среднем 26 – 32°. С поверхности левого склона сильно развитая эрозия сносит в водохранилище огромный объём тонкообломочного материала.

Донные осадки формируются упорядоченно, соразмерно гранулометрическому составу, от крупных – валуны, галька, гравий, песок, к тонким – песчаным и глинистым.

Состав донных почво-грунтов характеризуется сравнительным постоянством: глинистые минералы – 82 – 84 % (Кайраккумское водохранилище), 79 – 83 % (Нурекское водохранилище), кварц – соответственно 8 – 10 и 11 – 14 %, полевые шпаты – 6 – 10 и 3 – 7 %.

Будучи тонкодисперсными, они обладают высокой адсорбционной способностью. Давно замечено, что донные почвы как сорбент могут удалять разные токсичные вещества из воды водохранилищ, тем самым улучшая её качество.

Высокие концентрации химических элементов в донных грунтах Кайраккумского водохранилища связаны с тем, что в него поступает загрязнённый (за счёт отходов горнопромышленной деятельности, ядохимикатов) седиментационный материал как по руслу р. Сырдарья, так и по пологим бортам.

Водосборная площадь водохранилища, характеризующаяся очень высокой плотностью размещения рудных месторождений, также способствует водной миграции этих элементов в резервуар.

Выше створа Нурекской ГЭС отсутствуют крупные промышленные предприятия или другие техногенные источники загрязнения воды и поэтому, вероятно, и донные грунты имеют невысокие содержания элементов.

Использование донных почво-грунтов на опытных участках размером 10x10 м на левом борту Нурекского водохранилища показало, что они могут быть отнесены к новому для Таджикистана типу почв.

По предварительным оценкам, на дне водохранилищ Таджикистана находится около одного млн кубометров донных почв, что в условиях ограниченности почвенных ресурсов представляется дополнительным, чрезвычайно востребованным ресурсом. Например, проблема осветлённой воды в нижнем бьефе, отрицательно влияющей на урожайность сельхозкультур, может быть решена дозированным выпуском воды, содержащей донные почвы, ниже уровня мёртвого объёма.

Виды нарушений геологическую среду, которые характерны для водохранилищ:

- регулируемое изменение уровня воды в водохранилище;
- изменение условия обитания биоты периодически или скачкообразно (по сезонам) и независимо от жизненных циклов организмов:
- частое увеличение массы биоты, приводящее к ухудшению качества воды;
- уменьшение самоочищающейся способности водоёма;
- масштабное разрушение берегов.

Например, после строительства Нурекского водохранилища в рядом расположенном заповеднике наблюдалось временное засоление почв и исчезновение растительности.

Одной из геэкологических проблем района является интенсивный снос материала с южного борта и его поступление в рабочую зону водохранилища.

Левый (южный) борт водохранилища, которым служит надпойменная терраса, лежащая на неогеновых конгломератах, сложен суглинками, лёссовидными суглинками с линзами супесей и песков мощностью свыше 35 м.

Правый борт, состоящий из конгломератов, песчаников, аргиллитов, глин, сравнительно крутой – 18 – 48°, в среднем 26 – 32°.

Изучение геологических и геэкологических условий района водохранилища позволило выделить на южном борту чашеобразную форму рельефа размером около 12х17 км, представляющую собой область сноса (рис. 3.5).

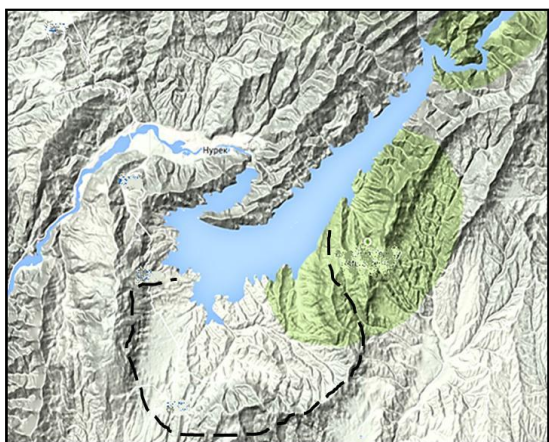


Рис. 3.5. Контуры чашеобразной лощины на левом борту водохранилища

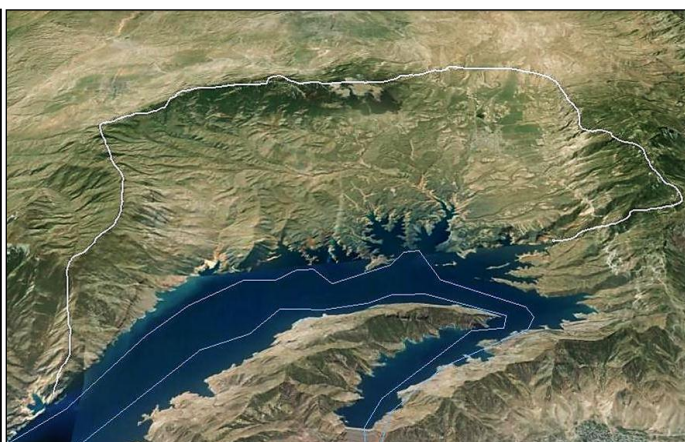


Рис. 3.6. Кули Суфиён-Себистонский цирк. Оконтурирована площадь водосбора

Площадь выделенного на рис. 3.5 штрихпунктиром, сегмента левого борта составляет 190 км² и представляет собой широкую пологую ложину с чётко выраженными бровками на восточной, юго-восточной и западной частях. Близкой к ней формой рельефа является цирк. Эта территория названа нами условно Кули Суфиён-Себистонским цирком (рис. 3.6).

Уклоны склона слабые, в среднем – 2 – 6°. Зона в последние 20 лет осваивается интенсивными темпами, сильно развито богарное и поливное земледелие (вспахано около 85 % территории), что стало причиной масштабного развития эрозии. По нашим расчётам, ежегодно эрозией с поверхности склона сносится в водохранилища около 1,3 млн м³ материала, который на 99,8 % представляет собой мелкую фракцию (< 0,05 мм). Этот объём составляет всего 1,2 % проектного стока взвешенных наносов (88,7 млн м³/г), поступающего по руслу. Однако он поступает непосредственно в рабочую зону (полезный объём) водохранилища, в то время как туда поступает лишь около 8 % русловых наносов.

Кроме того, сток взвешенных наносов равен 11400 т/км², что более чем в 6 раз превышает среднее его значение для реки Вахш в целом.

В связи с этим этот обломочный материал представляет большую угрозу для эффективного функционирования водохранилища. Для борьбы с угрожающей эрозией на левом борту, способствующего росту заиления Нурекского водохранилища, нами на основе учёта опыта реализации подобных средоохранных мер в других регионах мира и его творческого применения, предлагается осыпание и устройство дамб обвалования, которые должны оградить зону эрозии и постепенно её остановить (рис. 3.7).

На рис. 3.8 на уровне 1000 м линией показана дамба обвалования с лесонасаждением, полная длина которой составляет 54,2 км. На начальном этапе средоохранных мер следует закладывать дамбу исключительно на тальвегах, а использование местных стройматериалов позволит провести защитные работы с минимальными расходами.

Предлагаемая на рис. 3.7 конструкция представляет собой упорную призму из камня в основании с засыпкой пазухи материалом, драгированным со дна

водохранилища. Её преимуществом является простота, доступность стройматериалов и, самое главное, засыпание за счёт драгирования дна водохранилища, что заодно способствует его очищению. Водопроницаемость каменной кладки позволяет драгированному песчано-илистому материалу обезводиться, а воде – поступать обратно в водохранилище.

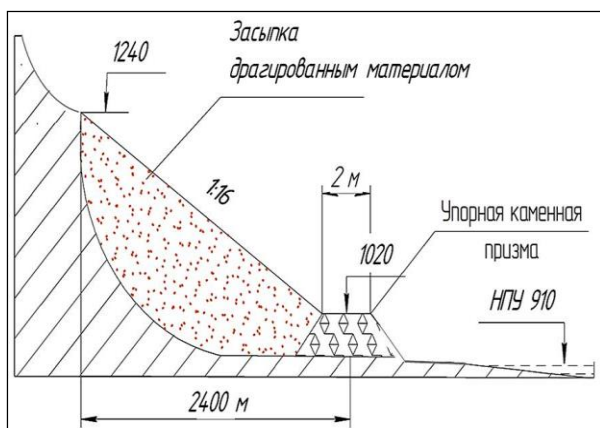


Рис. 3.7. Конструктивная схема осыпания и устройство дамб обвалования



Рис. 3.8. Линия устройства дамбы обвалования на левом борту Нурекского водохранилища

3.2. Динамика интенсивности заиления водохранилища наносами

Изложенный метод расчёта заиления водохранилища позволяет определить изменение полезного объёма водохранилища и положение кривой подпора с учётом влияния тела заиления.

В процессе отложения наносов в водохранилище, в нижний бьеф сбрасывается осветлённая вода, мутность которой меньше мутности S' , что ведёт к размывам русла реки ниже подпорного сооружения. В результате размыва русла снижается положение поверхности воды в нижнем бьефе, что ведёт к снижению общей устойчивости сооружения в результате возрастания напора, вызывает затруднения при заборе воды из нижнего бьефа, понижается глубина на королях шлюзов, правда, несколько возрастает выработка энергии. С течением времени по мере заиления водохранилища транзит наносов повышается, происходит отложение наносов в нижнем бьефе, если мутность сбрасываемой воды будет больше S'' , и ложбина размыва начинает заноситься.

При значительном заборе воды из водохранилища, транспортирующая способность потока в нижнем бьефе оказывается недостаточной, и происходит повышение уровня дна, что влечёт за собой рост отметки поверхности воды со всеми вытекающими из этого последствиями. Следует иметь в виду, что процесс отложения наносов в нижнем бьефе идёт особенно интенсивно, когда происходит промывка отстойников водозаборов в верхнем бьефе со сбросом воды в нижний бьеф.

Отложение. Отмечено, что отложение в водохранилище имеет тенденцию к формированию плоского дна. С другой стороны, если предполагается полностью смешанный поток, то скорость отложения пропорциональна глубине потока (рис. 3.9). В монографии предполагается использование двух математических моделей, вследствие чего скорость отложения пропорционально глубине ниже средней глубины. Это заставляет грунт откладываться в самых глубоких частях поперечного сечения.

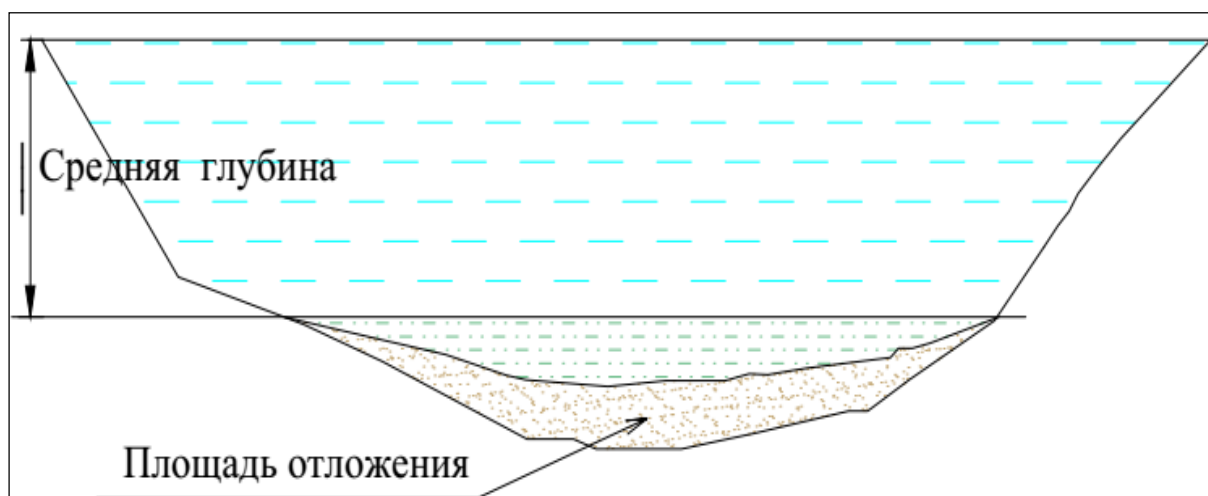


Рис. 3.9. Распределение отлагаемых наносов

Эрозия. Эрозия в определённой точке k поперечного сечения распределяется согласно весу e_k , т.е.

$$e_k = (b h_k + (1 - b)h_{mean})^c, \quad (3.1)$$

где h_k – глубина воды в точке поперечного сечения k -th; h_{mean} – средняя глубина в поперечном сечении; b – коэффициент; c – показатель степени.

При $b = 0$ или $c = 0$ скорость эрозии в сечении равномерна, таким образом, все точки сечения эродируют в одинаковом объёме. При $b = 1$ и $c = 1$ эрозия пропорциональна глубине. Исходными значениями являются $b = 1$ и $c = 0,5$.

Необходимо принять к сведению, что неравномерная эрозия (и отложение) могут привести к неустойчивости численного решения. Некоторые моделей (например, HEC-RAS 4.1, USACE-HEC 2010) поддерживают только равномерную эрозию и равномерное отложение.

Смывание. При смывании промывной канал размывается в существующих наносах. Ширина дна промывного канала W (рис. 3.10) в этом случае равна

$$W = wQ^{0,5}, \quad (3.2)$$

где Q – промывной расход, м³/с; m – откос.

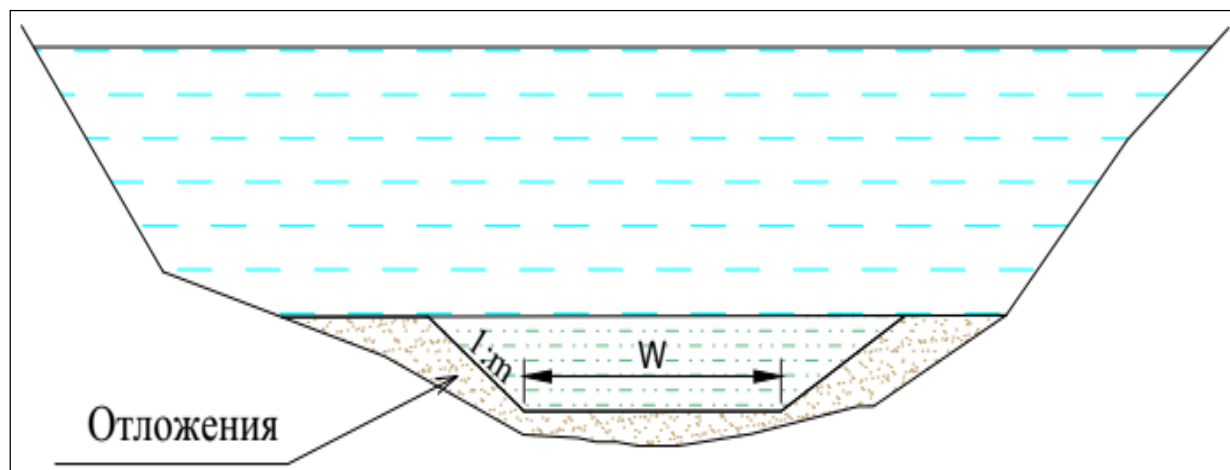


Рис. 3.10. Структура промывного канала в отложениях водохранилища

Мутные плотностные потоки имеют место в больших и глубоких водохранилищах. В определённой точке поступающий поток с высоким уровнем концентрации наносов погружается вглубь и достигает плотины как погружённый подрусловый поток (рис. 3.11).

Пример расчётных уровней погружённого мутного подруслового потока (МПП) и мутного озера показан на рис. 3.12 – 3.14. Из этих рисунков следует,

что площадь сечения потока с учётом погружённого подруслового потока, явно отличается от площади зеркала водохранилища на полную глубину.

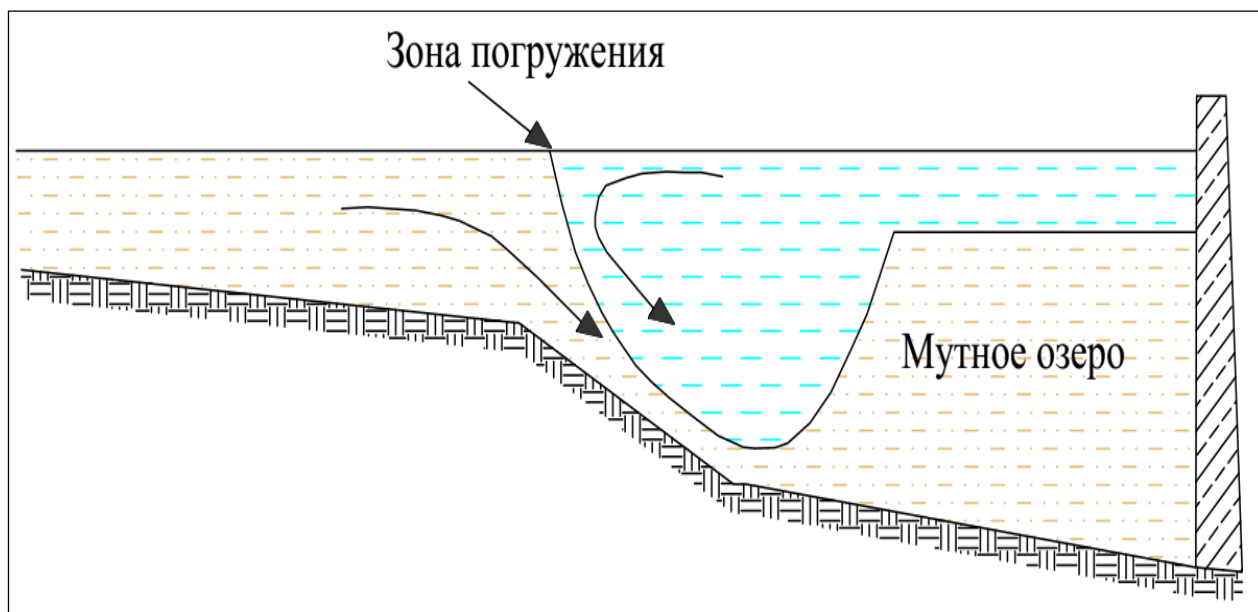


Рис. 3.11. Изображение плотностных потоков, смоделированных в программе



Рис. 3.12. Погружение мутного потока в Нурекском водохранилище

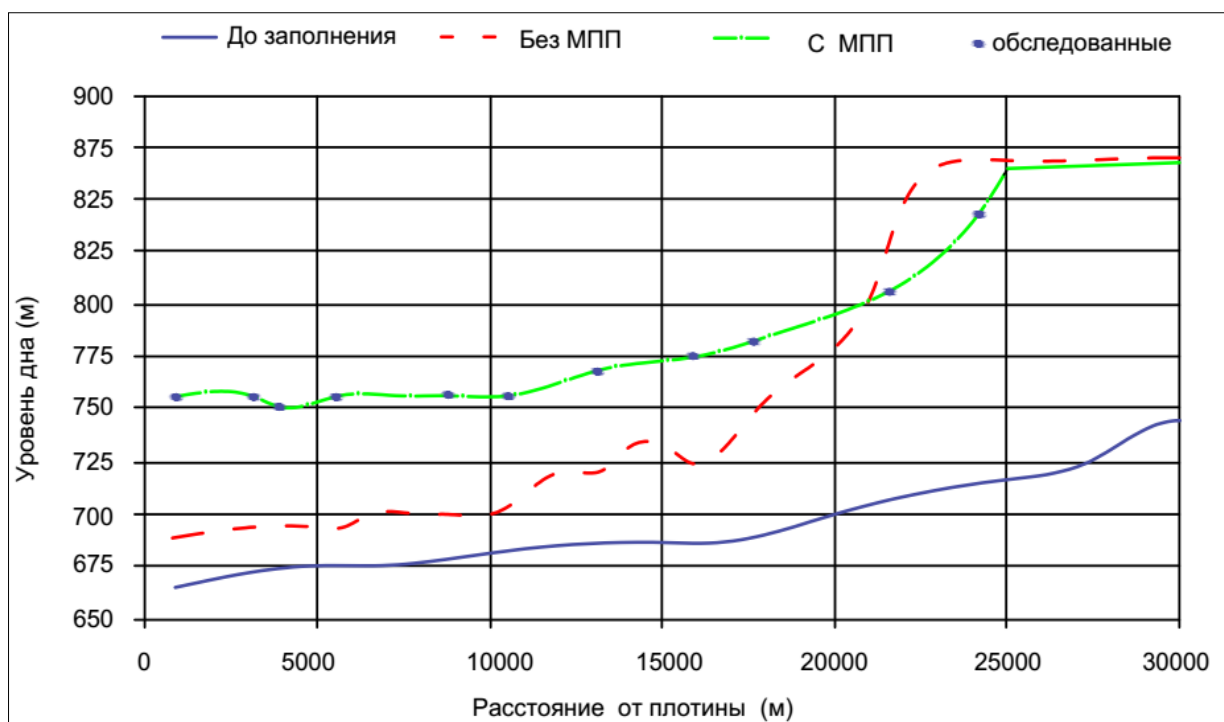


Рис. 3.13. Сравнение результатов модели с моделированием мутных плотностных потоков и моделирование без мутных плотностных потоков

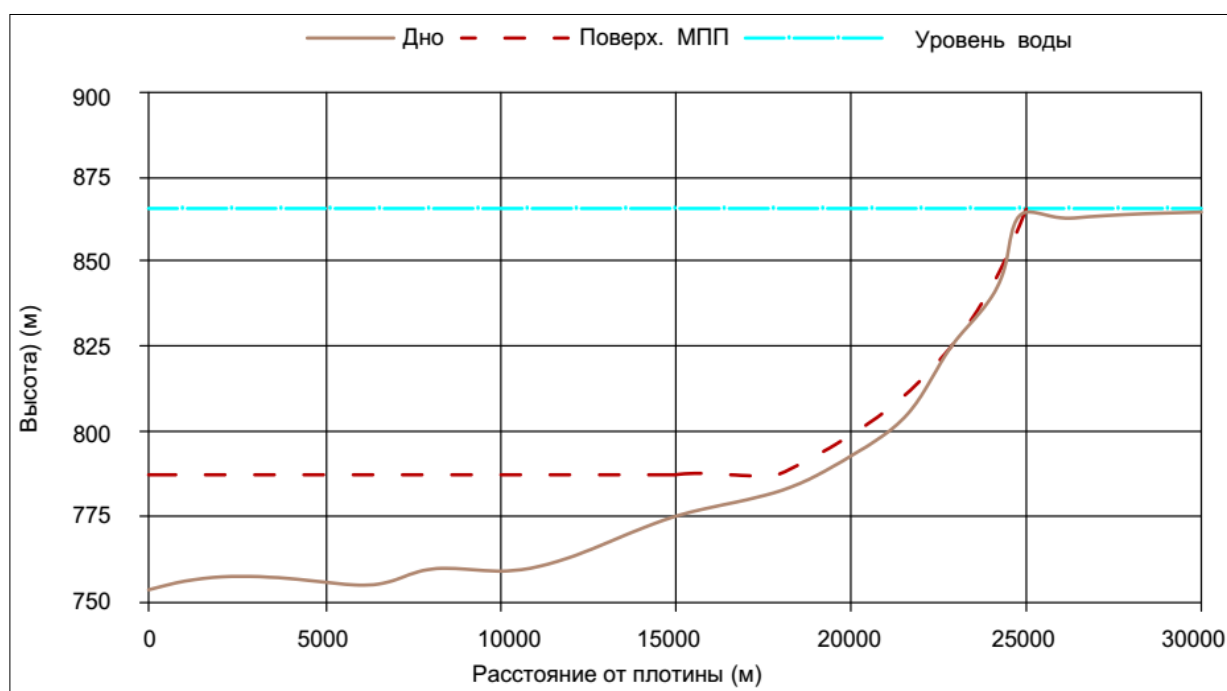


Рис 3.14. Расчётный уровень погружённого мутного подруслового потока

Вводимые данные. Продольные и поперечные сечения водохранилища были предоставлены в форме сканированного документа в программе pdfs для 21 поперечных сечений из всех 25 поперечных сечений, отмеченных в предшествующие годы 1972 (до затопления), 1994 и 2001 года.

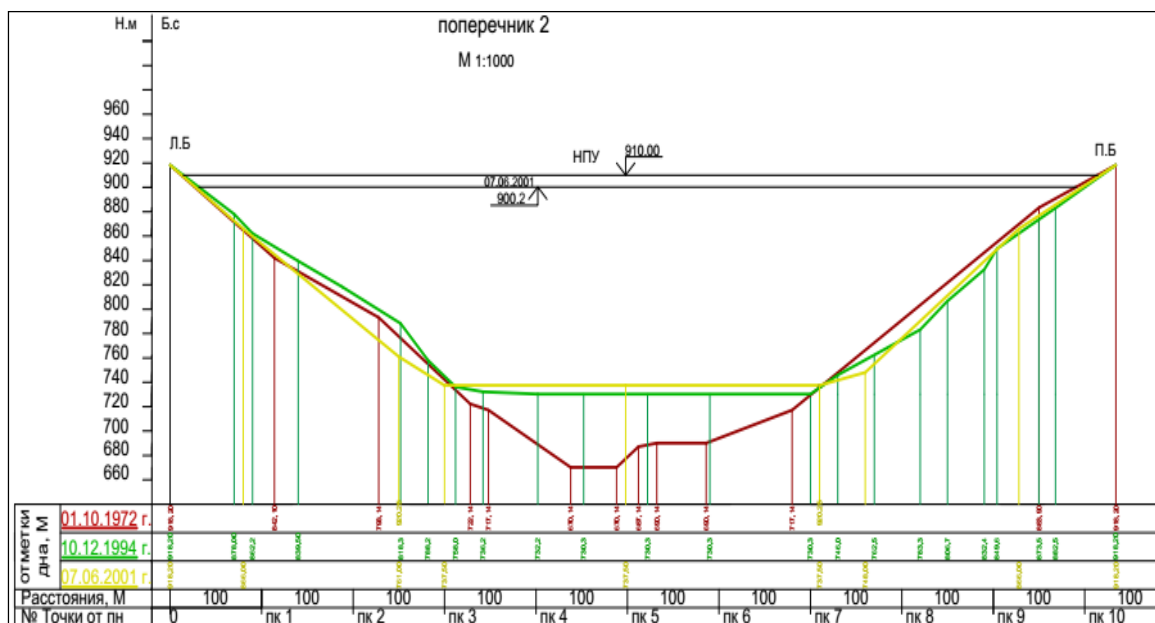


Рис. 3.15. Образец предоставленных сканированных поперечных сечений

Выводы по третьей главе

Монотонное наращивание тела заиления происходит в озеровидной части, в т.ч. в приплотинной зоне водохранилища Нурекской ГЭС.

Процесс заиления в основном происходит за счёт взвешенных частиц, где определяющую роль играют гидродинамические и турбулентные процессы температурной стратификации потока.

Проведено математическое моделирование заиления Нурекского водохранилища.

Максимальная величина скорости роста тела заиления зафиксирована в 1989 – 1994 гг. и составляла около 6 м/год, а в 1995 – 2000 гг. – около 3 м/год, т.е. наблюдается снижение темпов роста тела заиления, что связано с V-образной формой поперечного сечения водоёма.

Учитывая, что взвешенные наносы и мутность воды влияют на нормальную работу гидротурбин, следует провести натурные измерения параметров мутности вблизи плотины.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА СОСТАВА ВОДЫ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ЗАИЛЕНИЯ НУРЕКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

4.1. Распределение взвешенных веществ в воде Нурекского водохранилища

Гидрологическая станция Нурабад, расположенная на будущем водохранилище Рогунской ГЭС, является основной станцией проекта для мониторинга качества воды. Качество воды в реке Вахш в Нурабаде контролировалось с 1980 года (с перерывами в 1981 году и в 1994 – 1997 гг.). Из-за малой плотности населения, недостатка растительности и отсутствия крупномасштабной сельскохозяйственной или промышленной деятельности в бассейне реки Вахш выше по течению от Рогунской ГЭС, на биохимический состав воды в основном оказывают воздействие геохимические природные процессы и эрозия бассейна водосбора.

Анализ качества воды проводили шести – восемь раз в год. В связи с отсутствием необходимых средств условия пробоподготовки не соблюдаются и образцы транспортируют в обычных пластиковых бутылках или контейнерах без контроля их температуры. Некоторые несоответствия наблюдаются между данными до и после периода перерыва в работах на объекте с 1994 до 1997 год. Таким образом, результаты анализа должны быть тщательно продуманы и обоснованы, в частности, в отношении параметров, связанных с кислородом (кислород и БПК более не контролируют).

Анализы качества воды, сделанные в Нурабаде, показывают, что вода имеет низкое содержание питательных веществ и ХПК (табл. 4.1).

Как и большинство рек бассейна Амударьи, река Вахш в Нурабаде имеет довольно высокую концентрацию карбоната $C_{\text{HCO}_3} = 105$ мг/л. Концентрация сульфатов регулярно превышает требования Таджикистана к поверхностным водам, концентрация хлора также является довольно высокой, что в совокупности указывает на коррозионную воду.

Таблица 4.1

Качество воды в реках Вахш и Амударья

Параметры	Единица измерения	Вахш Нурабад 1998 – 2010 средний показатель	Амударья Термез 1996 – 2001 средний показатель	Амударья Саманбай 1996 – 2001 средний показатель	Требования Таджикистана для поверхностных вод
O ₂	мг/л		10,5	10,8	4,0 в зимний период 6,0 в летний период
	%		99,7	98,7	
БПК	мг/л	–	0,8	1,4	3,0
ХПК	мг/л	0,6	4,5	15,1	
Солёность	мг/л		551,4	1170,0	
pH		7,6	7,6	7,6	
PO ₄ ³⁻	мг/л	0,06	0,75	0,60	
NO ₃ ⁻	мг/л	1,6	0,6	0,5	40
HCO ₃ ²⁻	мг/л	105,4	131,1	142,9	
Cl ⁻	мг/л	85,4	73,3	213,9	300
SO ₄ ²⁻	мг/л	169,6	176,6	433,6	100
Температура	°C	7,6	16,7	13,6	

Только два тяжёлых металла находятся под наблюдением в Нурабаде: хром Cr VI и свинец Pb. Оба металла показывают концентрации, которые ниже ПДК, но близки к ним. Эти высокие концентрации, скорее всего, являются результатом геохимического состава каменистых пород водосбора и интенсивных процессов эрозии.

Вода реки Амударья в нижнем течении характеризуется постепенным ухудшением качества, в основном связанным с солёностью и с ионами сульфата, хлора, натрия и калия.

Многолетнее увеличение концентрации загрязняющих веществ, выводящих или отделяющих свободный кислород, может главным образом рассматриваться в качестве индикатора потери органического вещества из орошаемых земель, что в сочетании с засоленностью способствует основным процессам деградации, влияющим на земельные ресурсы бассейна реки Амударья.

Вклад городских сточных вод в общий уровень загрязнения можно не учитывать, поскольку их плотность мала и локализована. Влияние регулярного

загрязнения сточными водами невелико, учитывая потенциал самоочищения реки Амударьи.

Таким образом, основным фактором ухудшения водопользования в нижней части реки можно считать процессы вторичного засоления, связанные с литологическим составом водосборного бассейна, которые происходят и увеличиваются за счёт возвратных вод и ирригационной деятельности.

Актуальность такой проблемы можно доказать сравнением среднегодового значения солёности в Керки (625,7 мг/л) и в Дарганате (1023,7 мг/л) со среднегодовым значением, рассчитанным для станции вверху по течению, расположенной в месте слияния рек Пяндж и Вахш (500 мг/л). Эти данные позволяют оценить прирост в 25 и 100 %, после 350-го и 800-го км соответственно.

Две основные движущие силы участвуют в формировании сезонных колебаний солёности реки Амударьи: низкая плотность природного дренажа водосбора, что ограничивает солевую нагрузку, вызванную естественными процессами стока, и таяние снега и ледников в верхней части водосбора, что способствуют разбавлению растворённой соли во время периода высокого потока (весной и летом). В периоды низкого потока солёность сильно зависит от возвратных вод, используемых для промывки земли и орошения. Однако, проведённые исследования других авторов показывает, что промывку применяют в низовьях – в Узбекистане и Туркменистане. Рогунская ГЭС не окажет никакого влияния на это, т.к. каскад с Рогунской ГЭС будет эксплуатироваться, сохраняя структуру потока реки Вахш без изменений [49].

Удельная плотность в сухом состоянии проанализированных субобразцов керна с использованием стандартных методов равна, за исключением одного аномального значения, 1,0 – 1,72 т/м³, а во влажном состоянии 1,59 – 2,25 т/м³.

Значения удельной плотности наносов ила и глины равны 1,0 – 1,2 т/м³, а песчаных наносов – 1,6 т/м³. Существует также общее увеличение в удельной плотности вертикально вниз каждого керна в результате консолидации наносов под действием гравитации.

Характер изменения удельной плотности отложений тесно связан с продольным распределением частиц по размерам и показывает значения, возрастающих от 1,1 близко к плотине до 1,63 т/м³ в песчаных отложениях дельты на расстоянии 26 км вверх по течению.

Распределение частиц по размерам наносов были выделены из кернов и проанализированы с помощью лазерного классификатора частиц в флокулированном и дефлокулятивном состояниях, хотя добавление дефлокулирующего реагента (гексаметафосфат натрия) относительно немного влияло на распределение частиц по размерам.

Вертикальные колебания размера частиц внизу керна наблюдались как в области ближе к плотине, так и в отложениях самого района дельты. Изменение в размере частиц наблюдается в ближайшей области к плотине и отражает эпизодическую активность крупного масштаба мутности потоков, которые несут осадок от дельты к основному телу водохранилища. В месторождениях наносов дельты увеличивается последовательность, огрубления увидены в некоторых кернах, они соответствуют расширению дельты вниз по течению, так что со временем фракции наносов в осаждённых отложениях постепенно становятся грубее, т.к. дельта расширяется вниз по течению.

Анализ образцов, полученные при помощи оборудования захвата, показывает, что небольшие вариации в размерах частиц осадка наблюдаются выше 26 км от плотины, кроме той части дельты выше по течению, где речные гравии могут смешиваться с песком, которые преобладают в дельтовых отложениях.

Некоторые боковые изменения размера частиц были зафиксированы в районе дельты с грубыми фракциями песка, найденными на дне основных каналов, а более мелкие пески составляют естественный береговой вал канала и отложения на берегу. Однако никакого материала размером более 500 мкм не было обнаружено ни в одном из анализируемых образцов.

4.2. Гранулометрический состав донных отложений

Поступления наносов. Водомерный пост в Кишроге, расположенный в верхнем течении Нурекского водохранилища, проводит мониторинг поступления наносов. В 1985 – 1987 гг. средний объём поступления наносов составил 53 Мт/год, а в 2005 – 2014 гг., средний объём поступления наносов составлял 46 Мт/год. В отдельные годы, он колебалось в пределах от 21 до 68 Мт.

По данным Гидропроекта, в 1942 – 1944 и 1948 – 1972 гг. средний объём наносов равен 78,6 Мт/в год. Другие исследования сообщают о наносах в пределах 79 – 95,9 Мт.

Зависимость между сбросом воды Q_w и скоростью переноса взвешенных наносов Q_{ss} при коэффициенте корреляции $R > 0,8$ описывают уравнением

$$Q_{ss} \sim Q_w^{2,6}.$$

Состав взвешенных наносов представлено в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Состав взвешенных наносов реки Вахш в 1979 году

Фракция, мм	< 0,01	0,01 – 0,05	0,05 – 0,1	0,1 – 0,25	0,25 – 0,5	0,5 – 1
Процентное соотношение, %	33,0	28,1	30,6	7,4	0,78	< 0,01

Данные Гидропроекта (2009 г.) указывает на то, что объёмы и состав наносов переносятся как донные наносы. Долгосрочный среднегодовой показатель составляет 9,2 Мт в створе Рогуна и колеблется в пределах 3,6 – 28,8 Мт в год. Состав донных наносов представлен в нижеследующей табл. 4.3.

Таблица 4.3

Состав влекомых донных наносов реки Вахш

Фракция, мм	< 1,2	1,2 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 40	40 – 80	80 – 120	120 – 250	> 250
Процентное соотношение, %	8,0	3,3	2,9	4,1	19,6	27,1	14,2	17,8	3,0

Моррис (2011 г.) определил расход воды Нурекского водохранилища в пределах 62 – 115 млн м³/год. Наносы размером меньше 0,01 мм составляют

примерно 30 % и наносы меньше 0,05 мм – около 45 %, при этом имеется незначительное количество наносов более 0,25 мм. Моррис также пришёл к выводу о том, что в наносах почти отсутствуют пески среднего и крупного размера и мелкозернистый гравий в реке Вахш.

Рис. 4.1 иллюстрирует зависимость концентрации взвесей в воде от расхода воды в Нурекском водохранилище.

Различные данные говорят о поступлении наносов в диапазоне 50 – 100 Мт/год. Поэтому, окончательный объём поступления наносов подлежал проверке.

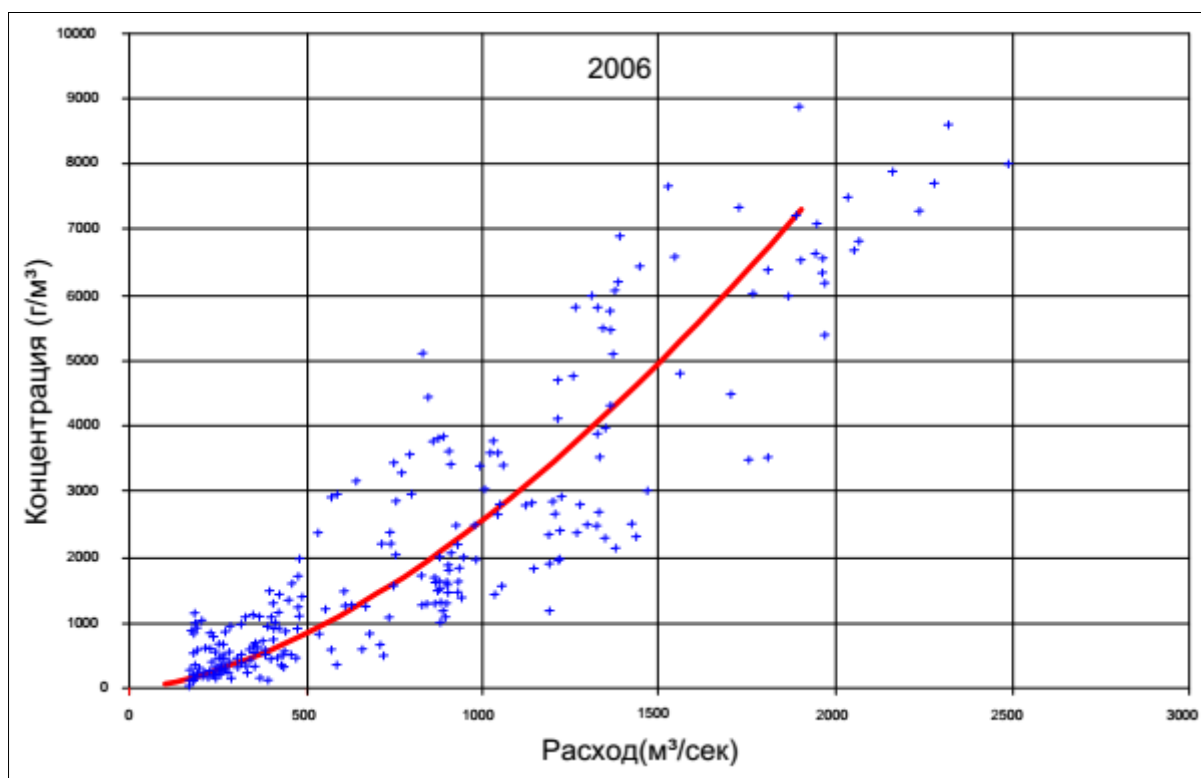


Рис. 4.1. Зависимость концентрации взвесей в воде от её и аппроксимирующая кривая

4.3. Состав и объёмная плотность отлагаемых наносов

Было установлено, что средняя сухая объёмная плотность глубинных проб на глубине больше 2 м колеблется в пределах между 1,15 т/м³ возле плотины, где отложения в основном состоят из глины и мелкозернистых наносов, и 1,63 т/м³ в зоне верхних пластов дельты, где в основном имеются пески. В верхней части некоторых из извлечённых кернов был обнаружен слой чистой воды. Одним возможным объяснением является то, что имело некоторое

уплотнение во время транспортировки кернов в лабораторию, в этом случае, фактические плотности являются отчасти ниже полученных в лаборатории. Дополнительно некоторое уплотнение могло иметь место во время извлечения проб наносов их кернов в лаборатории из-за мягкой и жидкой природы проб, взятых возле плотины. Следовательно, результаты для сухой объёмной плотности должны рассматриваться как верхние предельные значения.

Размеры частиц 50 % отложений по массе меньше d_{50} , и колеблются в пределах от 0,004 мм возле плотины до 0,11 мм в верхнем пласте дельты. Размеры частиц 90 % отложений по массе, меньше, d_{90} , колеблются в пределах от 0,014 мм возле плотины до 0,2 мм в дельтовых верхних частях наносов. Были взяты пробы из дельтовой верхней части во время низких уровней в водохранилище до зоны, где было возможно подплыть лодкой. Было установлено, что состав наносов относительно фракций песка в Кишроге на верхнем течении водохранилища является схожим с пробами на дельтовой верхней части. Это свидетельствует о постоянном составе наносов на всей верхней части дельты.

Зависимость зернистости размерами d_{50} и d_{90} и сухая объёмная плотность по длине водохранилища показана на рис. 4.2.

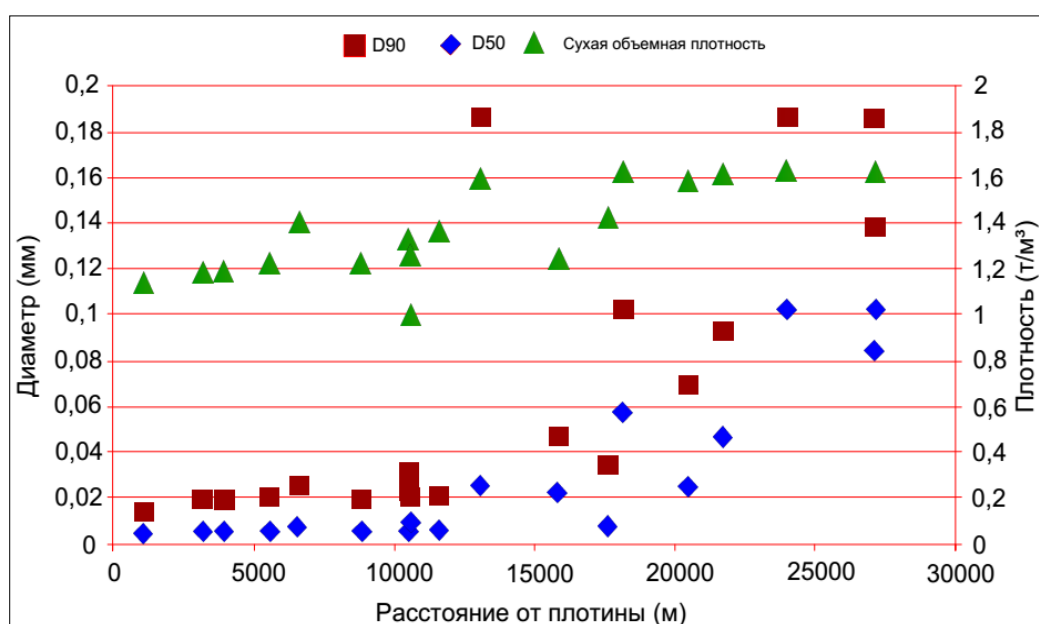


Рис. 4.2. Зернистость и сухая объёмная плотность наносов

4.3.1. Распределение частиц по размерам

Анализ распределения частиц по размерам образцов, взятых из наносов керна, проводили с использованием лазерного классификатора частиц Frotch (рис. 4.3), т.к. природа осадка была такова, что ситовой анализ не требовался.



Рис. 4.3. Лазерный измеритель размера частиц

Основными причинами широкого использования этого метода являются:

- широкий динамический диапазон – от долей микрона до миллиметров;
- быстрые измерения – результаты менее чем за минуту;
- повторяемость – большое число частиц, отобранных в каждом измерении;
- высокая пропускная способность – сотни измерений в день;
- нет необходимости в калибровке – легко поверяется с помощью стандартных справочных материалов;
- методика проведения измерений соответствует ISO13320:2009.

Всего были проанализированы 135 образцов на размер частиц и насыпной плотности каждого образца, который представляет различные уровни в 19 кернах.

В табл. 4.4 приведена информация об образцах из 19 кернов.

Таблица 4.4

Образцы, взятые из кернов

ИН керна	Количество уровней образцов	Первый образец с минимальной глубиной, м	Последний образец с максимальной глубиной, м
GC001	11	0,00	2,08
GC002a	11	0,00	2,20
GC003a	10	0,00	1,89
GC004a	9	0,00	1,74
GC005	11	0,00	2,21
GC006	11	0,00	2,17
GC007a	8	0,30	1,82
GC008	1	0,00	0,20
GC008a	6	0,53	1,44
GC009a	11	0,00	1,98
GC010b	4	0,35	0,97
GC011	1	0,00	0,20
GC012	12	0,00	2,19
GC013b	2	0,00	0,41
GC014a	5	0,00	0,65
GC015	1	0,00	0,20
SA001	9	0,00	2,00
SA002	3	0,00	0,63
SA003	9	0,00	1,76

Результаты анализа объёмной плотности образцов во влажном и сухом состоянии, взятых из кернов (см. табл. 4.5).

Таблица 4.5

Значения объёмной плотности образцов во влажном и сухом состоянии

	Объёмная плотность во влажном состоянии, т/м ³	Объёмная плотность в сухом состоянии, т/м ³	Содержание влаги, %
Минимум	1,5862	1,0008	14,86
Максимум	2,6045	2,0470	81,44
Среднее	2,0156	1,3594	49,59
Итог	135	135	135

Для образцов, взятых с песчаных наносов, которые представляют участок дельты, сухая насыпная плотность равна 1,6 т/м³, а иловые отложения глины, полученные ближе к плотине, имеют объёмную плотность в сухом состоянии 1,0 – 1,2 т/м³.

На рис. 4.4 приведено распределение объёмных плотностей во влажном состоянии на глубине 0,5 м наноса от расстояния Нурекской плотины.

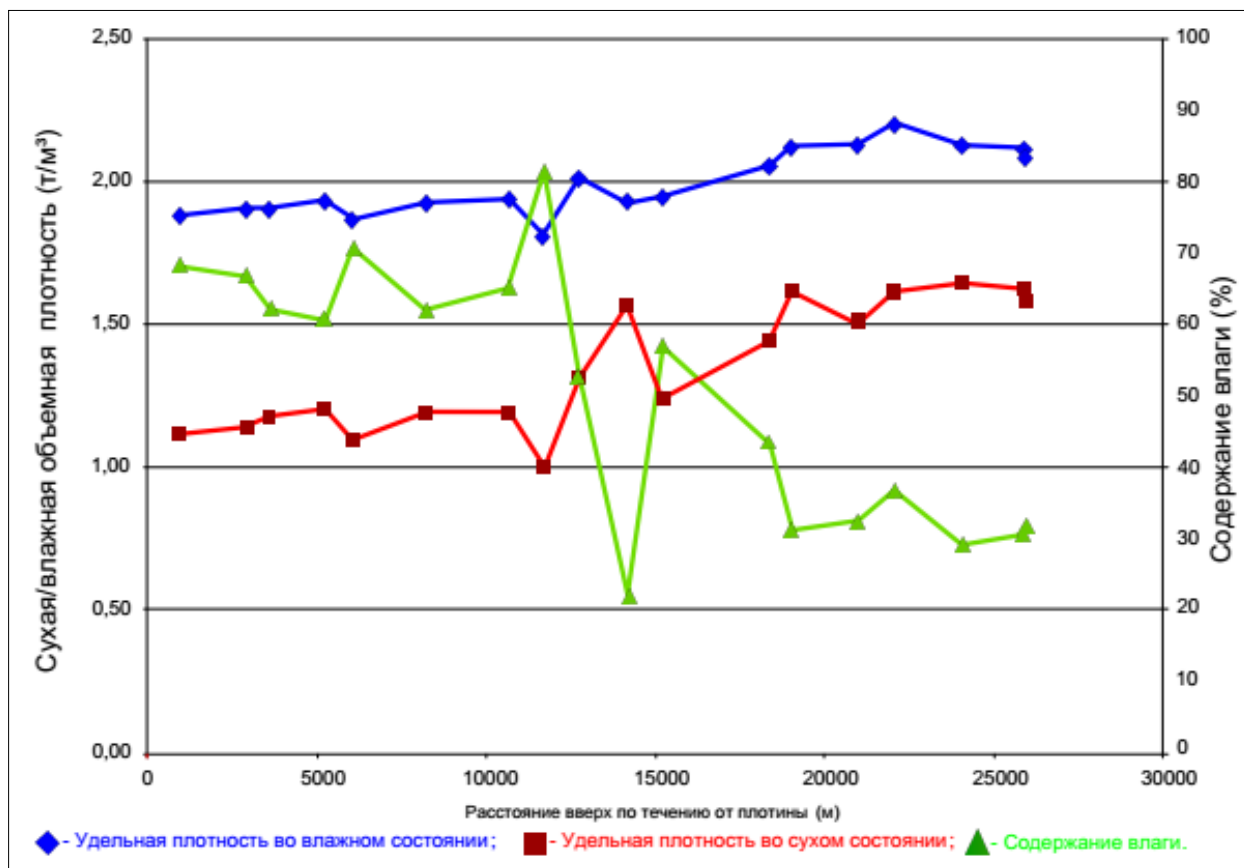


Рис. 4.4. Зависимость средней влажной и объёмной плотности в сухом состоянии, содержание влаги на глубине 0,5 м наноса от расстояния до плотины

На рис. 4.5 и 4.6 показаны вертикальные профили объёмной плотности, полученные из кернов в районе дельты и в регионе, где мелкие отложения откладываются близко к плотине

Изменения плотности по всем кернам показывает постепенное её увеличение в результате уплотнения наноса под действием силы тяжести. Шаг в плотности взят 1,0 м глубины и связан с увеличением размера частиц на этой глубине, а не уплотнение керна последующим восстановлением.

Высокая плотность минералогического компонента в песчаных отложениях приводит к снижению содержания влаги по сравнению с показателями тонко глиняных отложений, лежащих ближе к плотине.

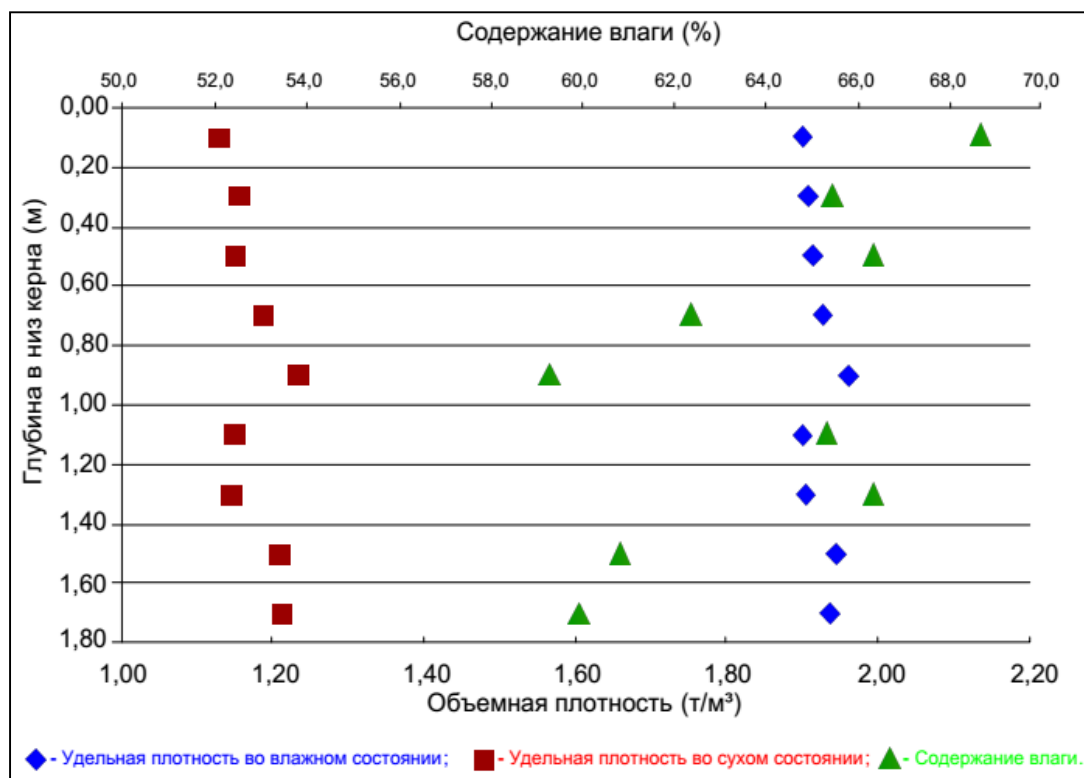


Рис. 4.5. Вертикальные профили удельной плотности (влажные и сухие) и содержание влажности, %, от керна: GC0002a –наносы глины в 3 км вверх от плотины)

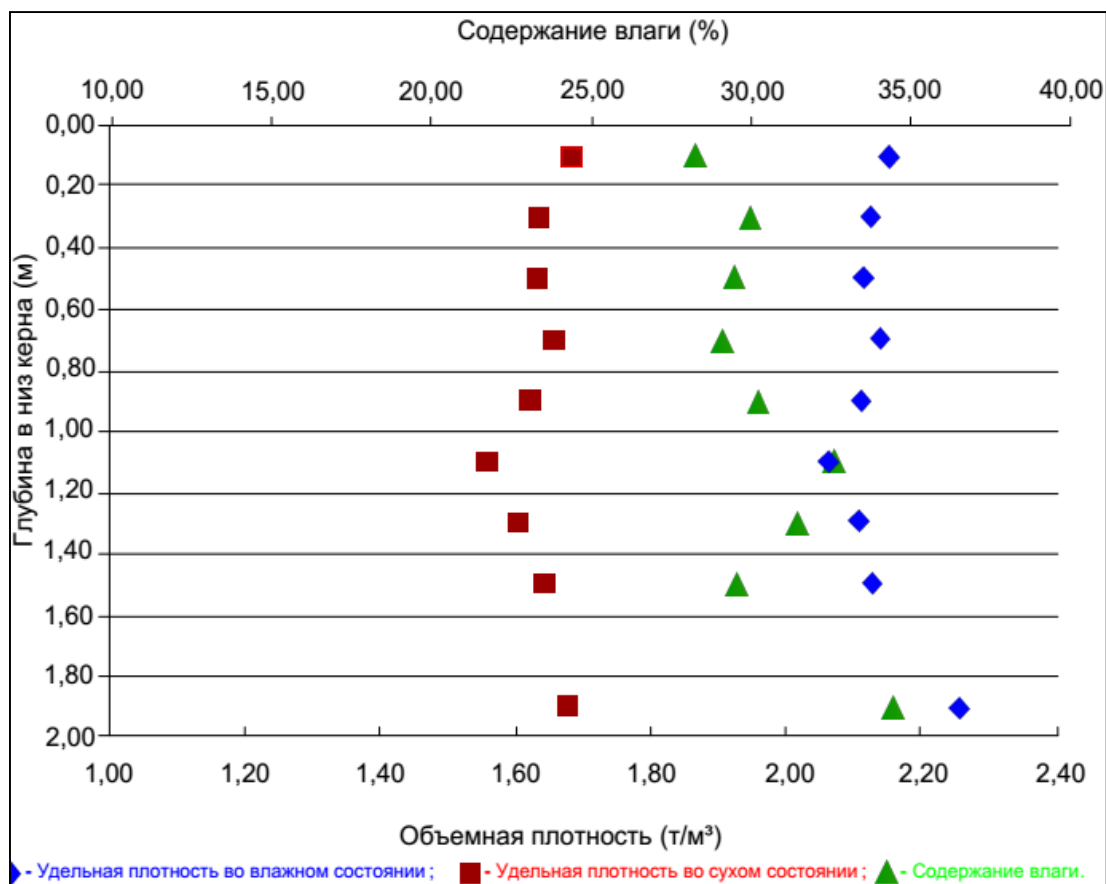


Рис. 4.6. Вертикальные профили удельной плотности (влажные и сухие) и содержание влажности, %, от керна: SA0001 – песчаный нанос на участке дельты в 24 км вверх от плотины

Распределения частиц по размерам. Структура продольной вариации наносов дна резервуара, как можно было бы ожидать, тесно связаны с градицией наносов дельты в основной резервуар.

На рис. 4.7 показано d_{50} и d_{90} распределение частиц по размерам (в микронах) на глубине 0,20 м керна наносов, залегающим по батиметрическому профилю водохранилища.

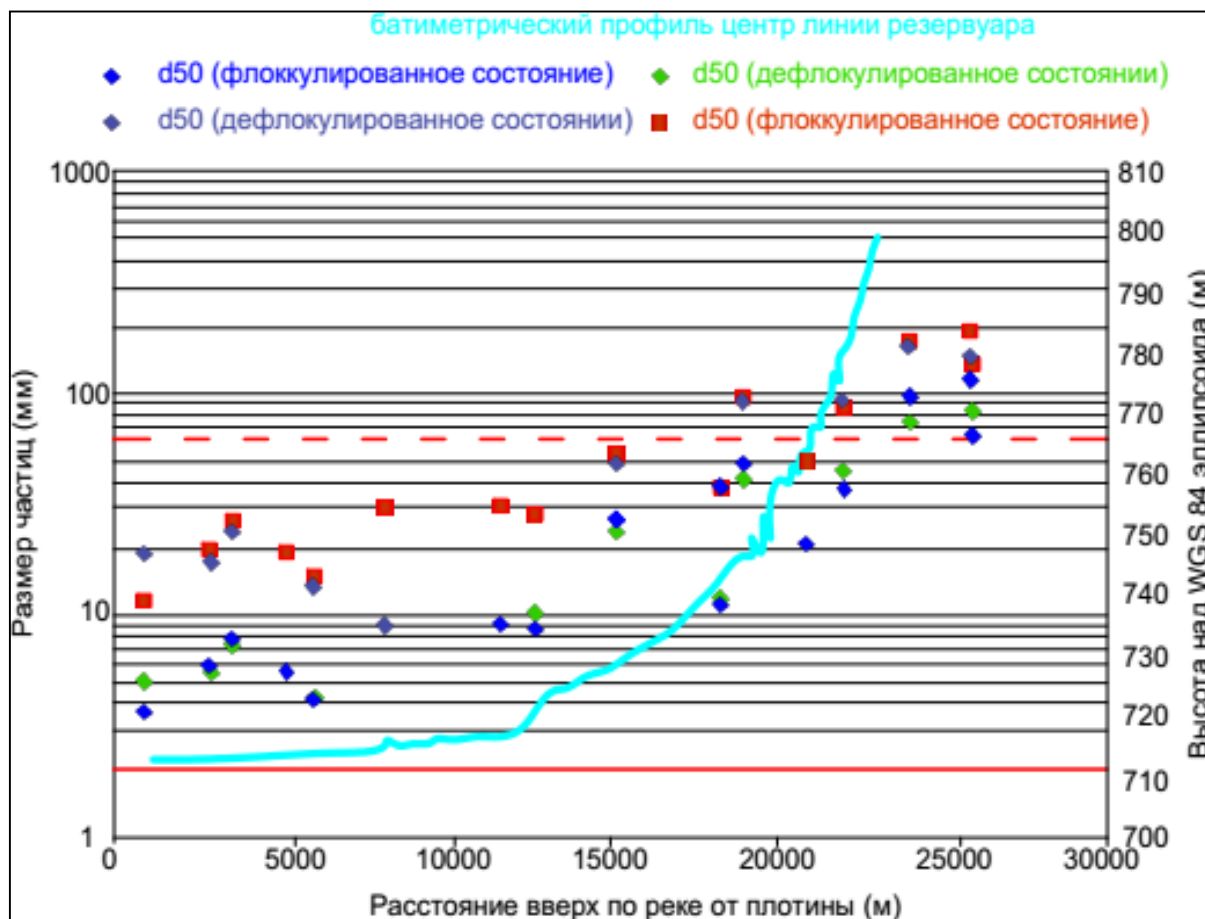


Рис. 4.7. Продольная вариация размеров частиц поверхностных наносов, извлечённых из кернов наносов, показанных как процентильное значение $d_{50} - d_{90}$

Из рис. 4.7 следует, что выше по течению наблюдается увеличение размера частиц по длине основного резервуара.

Отметим также небольшое изменение размеров частиц, наблюдавшихся в субаэральных наносах на участке дна дельты. Эти изменения связаны с боковыми колебаниями в распределении размеров отложений, образованных русловыми процессами, таких как формирование грубых наносов, образованных на местах распределения каналов и наносами на берегах.

Последовательность отложений, присутствующих в водохранилище, соответствует модели поверхности дельты для типичного преобладания дельты реки, как показано на рис. 4.8, с грубыми песчаными отложениями поверхности, классифицирующими вниз по течению тонких илов и глин, которые характеризуют подстилающий слой поверхности седиментации.



Рис. 4.8. Модель фракций для преобладающей дельты реки: последовательность осадочных фракций, связанных с различными регионами системы дельты

С целью расширения результатов исследований по заилению Нурекского водохранилища и влияния на динамику жидкого и твердого стока реки Вахш были обработаны данные до 2014 г. По состоянию на 24.04.2014 г. основные параметры, установленные гидротехническим цехом Нурекской ГЭС, следующие: полный объем водохранилища $7,19 \text{ км}^3$; полезный объем воды – $3,896 \text{ км}^3$; годовой сток наносов – $0,094 \text{ км}^3$. Как видно, полезный объем водохранилища Нурекской ГЭС при проектном полезном объеме $4,5 \text{ км}^3$, сократился до $3,9 \text{ км}^3$.

На рис. 4.9 приведена динамика заиления и занесения профиля дна Нурекского водохранилища за период 1977 – 2014 гг. [68].

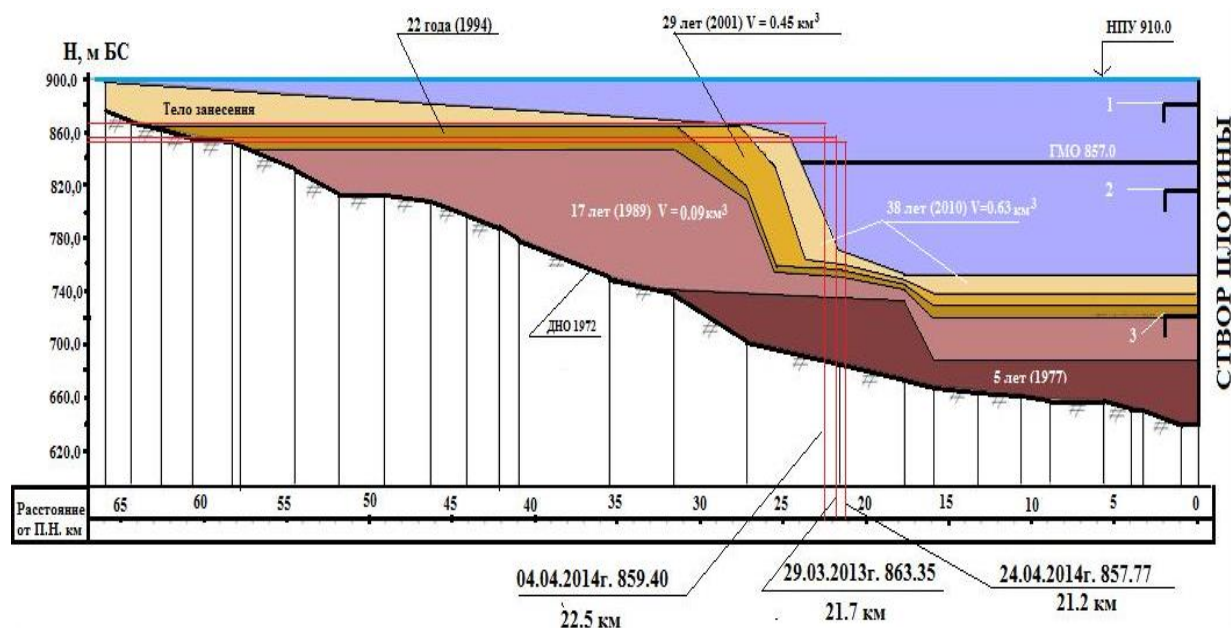


Рис. 4.9. Динамика заиления и занесения профиля дна Нурекского водохранилища в 1977 – 2014 гг.:
1 – порог поверхностного катастрофического сброса (897,0 м); 2 – порог турбинных водоводов (837,0 м); 3 – порог туннеля III яруса

Рис. 4.10 и 4.11 иллюстрируют примеры вертикального распределения размера частиц для керна, взятого из донных отложений дельты (GC002a) и керна из дельты отложений (SA001).

Образцы, извлечённые из керна GC002a, представлены в их естественном (флокулированном) состоянии и показывает вариацию вертикалей, представляющие отклонение от 2,0 микрон до d_{50} .

Керн показывает небольшое уменьшение размера частиц по сравнению с первым 0,70 м керном с последующим незначительным ростом на глубине 0,90 м. Причина этого увеличения размера частиц не известна, но, возможно, представляют собой конкретное событие, например, сильная мутность, связанная с сейсмической активностью в регионе.

Результаты изменения размера частиц над вертикалью керна, взятого из наносов дельты (рис. 4.11) снова представлены только флокулированным состоянием и показывают постепенное укрупнение материала над низом 1,2 м керна. Данное возрастающее укрупнение осадков связано вниз по реке дельты с увеличением скорости потока, который несёт материал на участок керна. Таким образом, с течением времени постепенно крупнозернистый материал был оса-

ждён, т.к. скорость потока возросла с уменьшением доступной глубины потока, которое произошло в отложениях дельты, расширено вниз по течению.

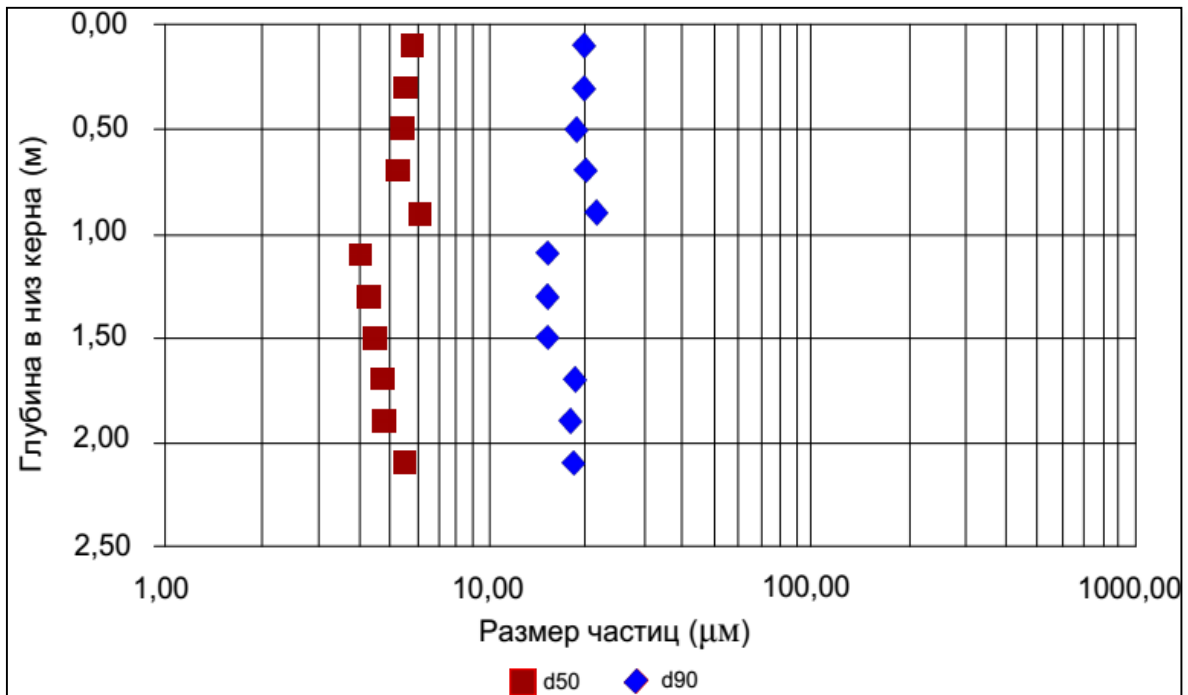


Рис. 4.10. Вертикальное распределение размера частиц d_{50} и d_{90} процентильных значений образцов керна, взятых из донных отложений дельты. Керна GC002a

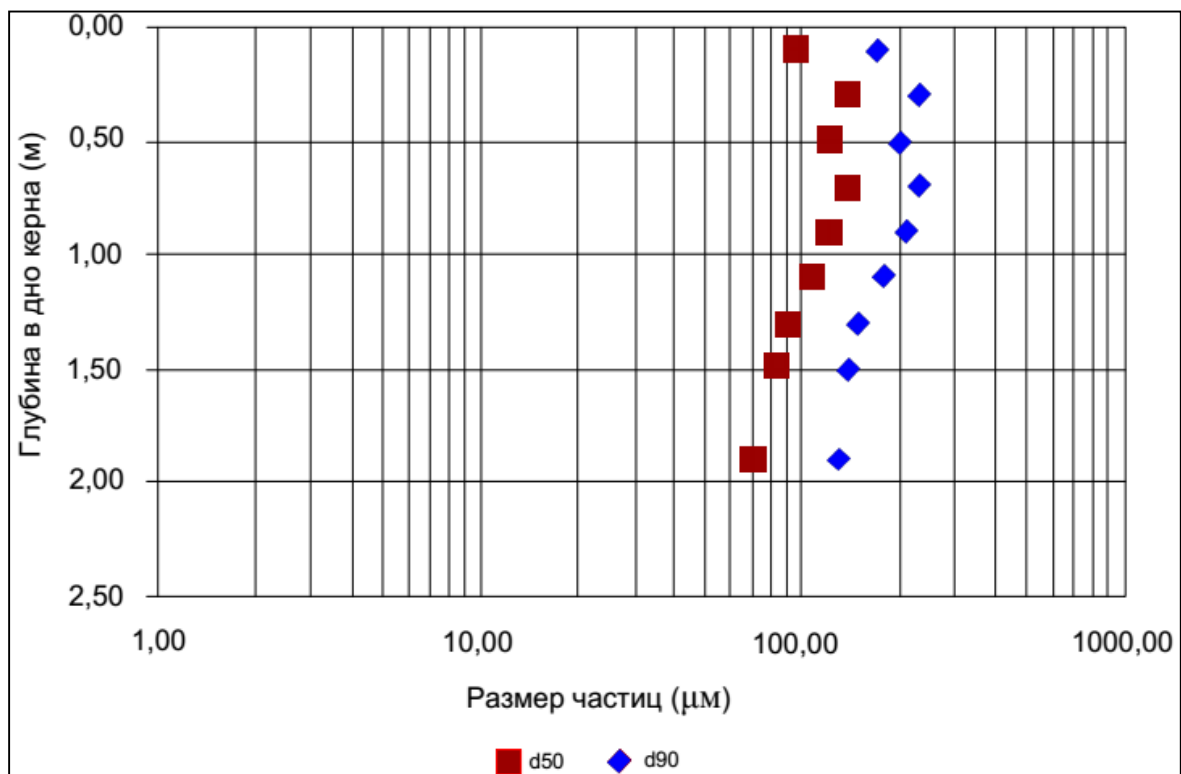


Рис. 4.11. Вертикальное распределение размера частиц d_{50} – d_{90} и процентильных значений образцов, взятых из кернов с участка дельты. Керна SA001

Над глубиной 0,70 м ниже поверхности керна изменение видно по размеру частиц, которое, вероятно, отражает боковые вариации в осадочной среде, как канал мигрирует назад и вперёд по дельте одновременно участка керна, пересекающей основным каналом реки и в других случаях, находясь в области, участка берегов, где только мелкие фракции присутствуют в суспензии и, следовательно, подходящие для осаждения.

По всей длине керна d_{50} диапазоне частиц 235 – 131 мкм, тогда как в части керна над глубиной 0,7 м 235 – 173 мкм.

Как было отмечено ранее, ряд дополнительных разовых проб были собраны из обоих участков с дельты и на участке гидропоста Кишрог, который расположен в 50 км вверх по течению и который является частью области дельты; доступ к которым может быть получен при низком уровне воды.

Целью анализов этих образцов была попытка определения боковых вариации в характере осадков, поступающих в резервуар.

Два образца, собранных с площади дельты, представляют собой две различных осадочных среды. Первый образец (SC0011) представляет наносы, накапливающиеся в нижней части главного русла реки, пересекающей осадки дельты. Второй образец (QS) был взят из наносов берега, которые происходят, когда уровень воды в резервуаре высокий и край канала повышен как случай, когда площадь дельты полностью погружена в воду. Распределение частиц по размеру, полученное из анализа этих образцов, приведено на рис. 4.12, 4.13 и в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Значения процентильных (d_{50} и d_{90}) взятых образцов с участков дельты и Кишрог

Место нахождения	Условия осадко-накопления	Образец ID	Расстояние от плотины, м	d_{50} , мкм	D_{90} , мкм
Дельта	Канал	SC0011	26966	174.2	329.0
Дельта	Над берег	QS	25875	95.0	175.1
Кишрог	Берег реки-погруженный	K1	67819	119.7	337.9
Кишрог	Берег реки-сухой	K2	67819	127.2	299.6

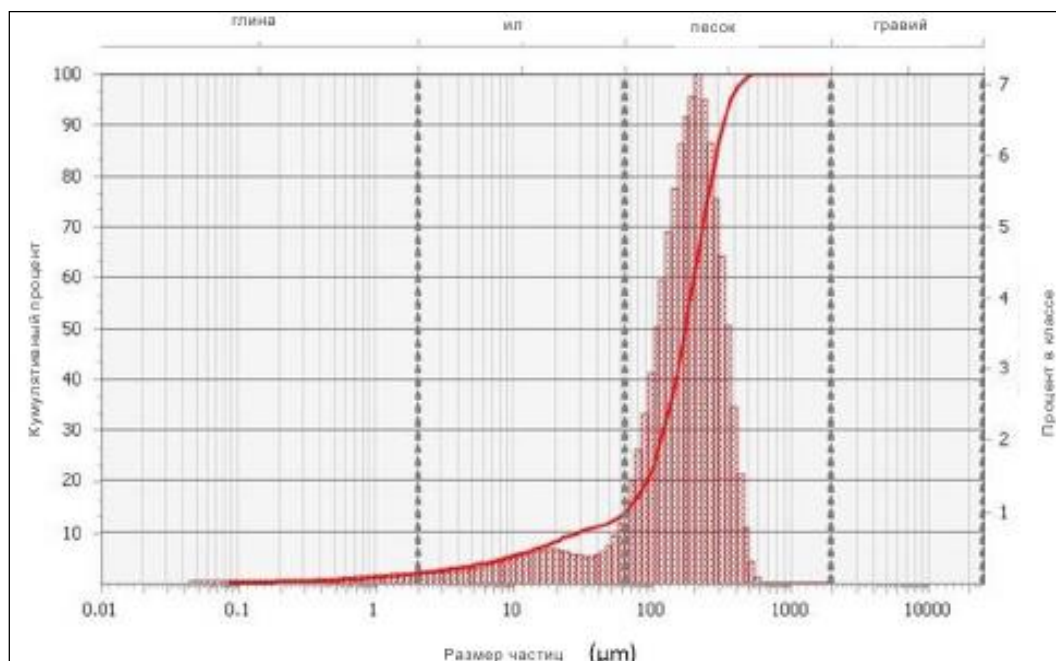


Рис. 4.12. Распределение размера частиц определяется из размера лазерного анализа выборочной пробы GC0011 – время добегания руслового стока от главного русла реки в районе дельты

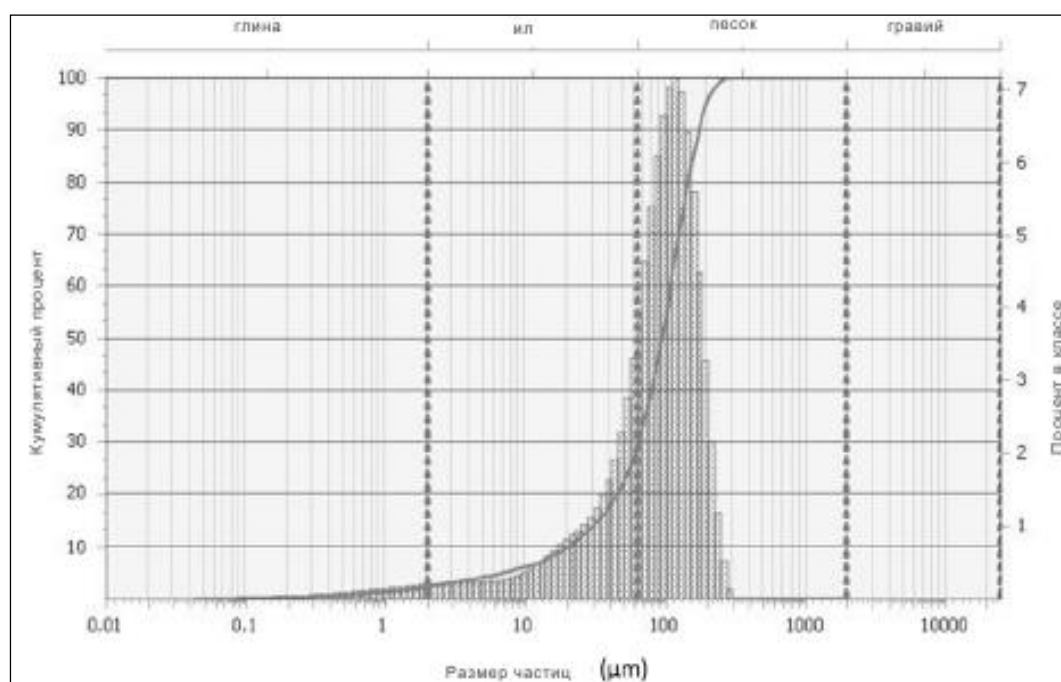


Рис. 4.13. Распределение размера частиц выборочного образца QS наносов главного канала в районе дельты

Два образца, собранные в Кишроге, были взяты выше (K2) и ниже (K1) в преобладающего уровне воды и представляли собой ловушку песка вдоль кромки воды на месте участка Кишрога (рис. 4.14 и 4.15). Распределение размера частиц этих образцов с d_{50} и d_{90} процентилях, приведены в табл. 4.6.

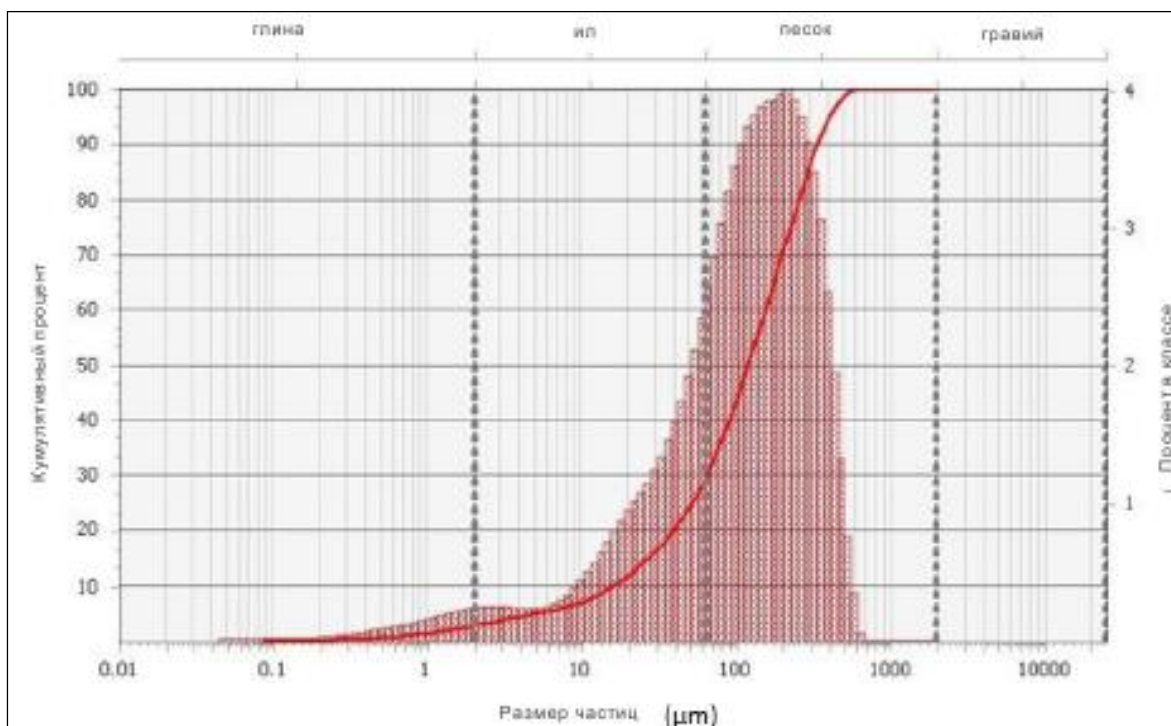


Рис. 4.14. Распределение размера частиц выборочной пробы в К-1 Кишроге с берега 1 – захваченный песок с чуть ниже кромки воды в Кишроге

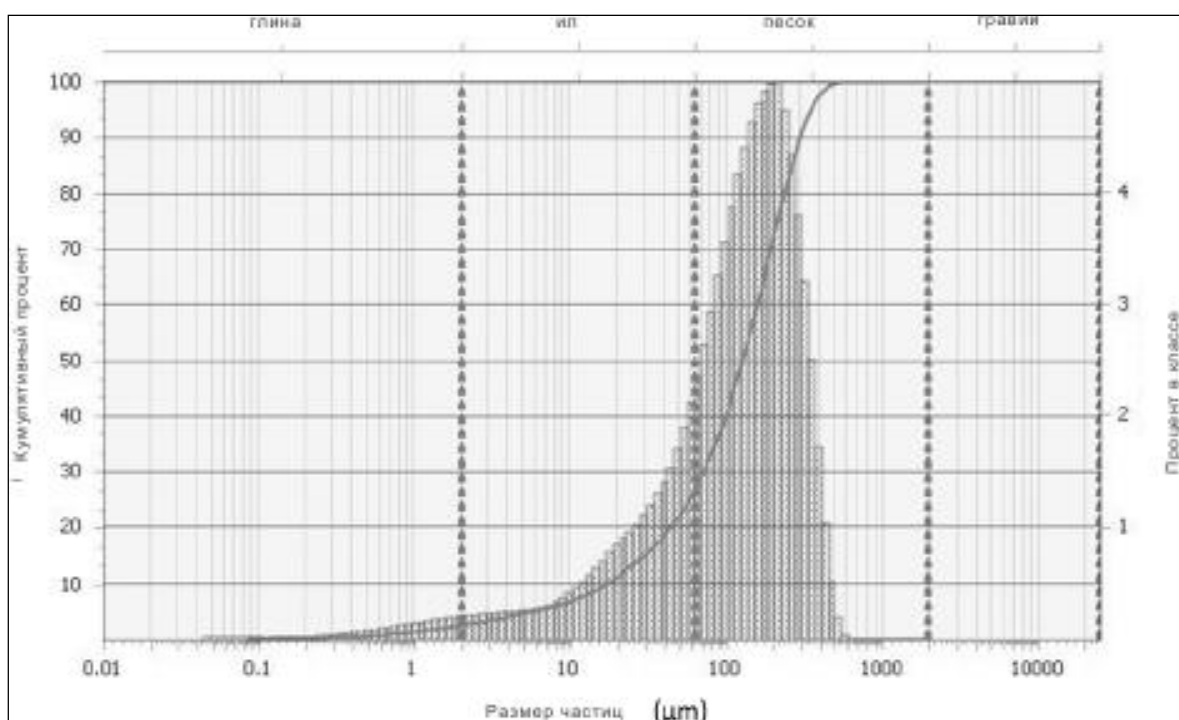


Рис. 4.15. Распределение размера частиц выборочной пробы в К2 – захваченного песка выше кромки воды в Кишроге

Сравнение образцов дельты с образцами песка, захваченных вдоль кромки воды у гидропоста Кишрог, показывает размер d_{90} , который транспортируется по реке, и представляет собой почти точно распределение частиц d_{90} образца,

собранный в Кишроге. Значения d_{50} песка, взятого в Кишроге, немного тоньше, чем те, что в отложениях дна канала в районе дельты.

Рис. 4.16 показывает тенденцию распределения частиц d_{50} и d_{90} от всех поверхностных образцов, собранных во время первой полевой кампании, включая оба образца керна и проб, полученных при помощи оборудования захвата.

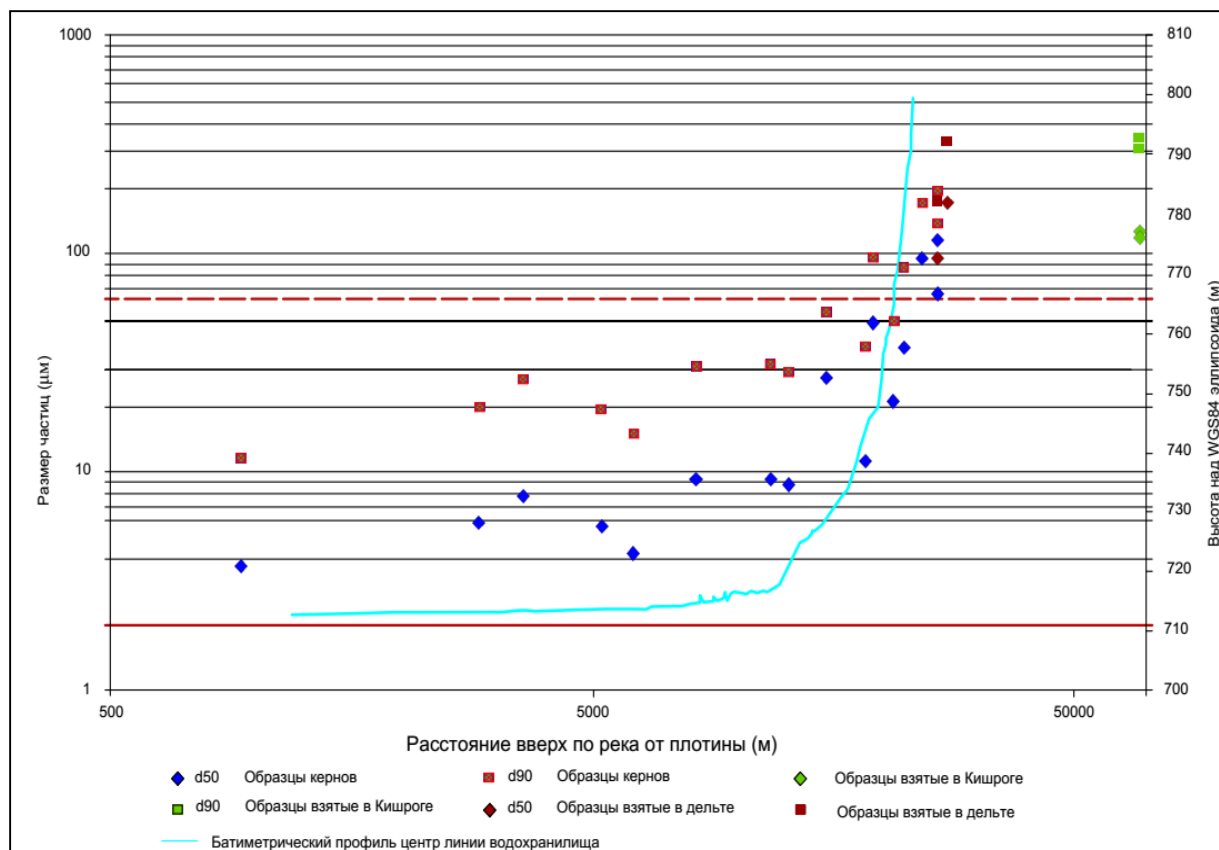


Рис. 4.16. Продольные изменения размера частиц поверхностных отложений в флоккулированном состоянии d_{50} и d_{90} процентиля распределения частиц по размерам из основных образцов

Основным является то, что размер частиц материала в дельте значительно различается по её длине, хотя боковые вариации размера частиц наблюдались в основном из-за миграции канала. Отсутствуют отложения грубее 500 мкм (средний песок). Некоторые грубые материалы могут присутствовать вблизи верхнего предела дельты, что является пределами доступа.

4.3.2. Разработка и калибровка модели

Математическая модель была разработана, чтобы охватить период с 01.01.1973 на сто лет вперёд. Результаты были представлены в пятилетних ин-

тервалах, соответствующему концу сезона интенсивного потока, а также, когда будут проводить исследования.

Геометрия. Для калибровки были использованы первоначальные профили до затопления для разработки модели и данные за 2015 год. На всём протяжении водохранилища (около 67 км) были взяты 25 сечений реки, из которых 21 были доступны для полной геометрии.

Для моделирования было установлено, что расстояние между первоначальными сечениями было очень разным, так что были добавлены дополнительные сечения для достижения среднего расстояния между сечениями приблизительно в 1000 м.

Помимо последнего, 21-го сечения, сечения были проведены, исходя из его очертания, и скорректированы в вертикальном направлении, чтобы получить уклон, рассчитанный из продольного профиля (3,2 м/км).

Модель была продлена до 72 км, т.е. за пределы водохранилища для того, чтобы свести к минимуму влияние граничного условия на результаты модели. Таким образом, общее количество сечений, используемых для моделирования, составило 76.

Перечень первоначальных, интерполяционных и расширенных сечений, используемых для моделирования, представлен в табл. 3.8. Сечения с дополнениями $s-i$, $-j$, $-k$ и $-l$ являются сечениями с дополнениями -1, -2 и так далее являются копиями сечения 21, расширенными до конца расчётной области и учитывающими вертикальную корректировку.

Характеристики наносов. Было рассмотрено восемь фракций наносов, исходя из состава взвешенных наносов (табл. 4.7).

Таблица 4.7

Характерные диаметры фракций, использованных для моделирования

Фракция	1	2	3	4	5	6	7	8
Диаметр, мм	0,004	0,008	0,015	0,034	0,063	0,084	0,16	1

Первая фракция охватывает как глину, так и мелкозернистый нанос (мелкозернистое илистое отложение). Диаметр этой фракции колеблется в пределах

мелкозернистого наноса, но с учётом формы хлопьев глинистых фракций. Фракции 2 – 4 охватывают другие илистые фракции.

Таблица 4.8

Перечень сечений, используемых для моделирования

Сечение	Расстояние от плотины, м	Сечение	Расстояние от плотины, м,	Сечение	Расстояние от плотины, м	Сечение	Расстояние от плотины, м
Плотина	0	9	17670	13-j	37730	20-j	56799
1	925	9-i	18645	13-k	38830	21	57906
1-i	2050	9-j	19620	13-I	39930	21-1	58873
2	3175	9-k	20595	14	41030	21-2	59839
3	3925	10	21570	15	42230	22-1	60806
3-i	4750	10-i	22690	15-i	43194	22-2	61756
4	5575	10-j	23810	16	44158	23-1	62706
4-i	6658	10-k	24930	16-i	45263	23-2	63606
4-j	7742	10-I	26050	17	46367	24-1	64506
5	8825	11	27170	17-i	47292	24-2	65500
5-i	9710	11-i	28270	17-j	48217	25-1	66500
6	10595	11-j	29370	18	49142	25-2	67500
6-i	11470	11-k	30470	18-i	50067	25-3	68500
6-j	12345	12	31570	18-j	50991	25-4	69500
7	13220	12-i	32560	19	51916	25-5	70000
7-i	14103	12-j	33550	19-i	52806	25-6	70500
7-j	14987	12-k	34540	19-j	53696	25-7	71000
8	15870	13	35530	20	54586	25-8	71500
8-i	16770	13-i	36630	20-i	55693	25-9	72000

Фракция 5 представляет переход между илом и песком, а фракции 6 и 7 охватывают фракции мелкозернистого песка, которые в основном переносятся как взвешенные наносы. Фракция 8 представляет размеры, которые достигают водохранилища, но преимущественно перемещаются как донные наносы. Фракции бóльшего размера не рассматривались, поскольку они отлагаются в конце верхнего течения водохранилища.

Первоначальный расчёт среднегодового объёма поступления каждой фракции основывался на приведённых данных. Тем не менее, фактический объём был определён калибровкой модели.

Кривая расходов поступления наносов для каждой фракции i , $Q_{s, i}$, была определена из уравнения

$$Q_{s,i}[t/s] = b_i Q_w[m^3/S]^{2,6}, \quad (4.2)$$

где b_i – коэффициент, определяемый для соответствия калиброванному объёму среднего поступления наносов фракции i -th.

Плотность отложения фракций песка равна $1,65 \text{ т/м}^3$ и была выше верхней предельной сухой объёмной плотности осадочных кернов, которые были взяты из дельтовой верхней части, где наносами преимущественно являются пески.

4.4. Управление рисками ЧС Нурекского водохранилища

Современное состояние геоэкологической ситуации района характеризуется наличием многих серьёзных проблем. Одной из них является управление ЧС. В мировой практике существуют два основных подхода к вопросам управления ЧС природного и природно-техногенного характера, один из которых ожидающий, т.е. следует ждать, пока ЧС не произойдёт, а затем реагировать; а второе, это активный, когда можно предвидеть возможные последствия ЧС предварительно и попытаться их предотвратить или смягчить.

Однако на местах этот закон практически не работает, т.к. для местных органов власти выжидающий подход – более удобная позиция. Зачастую это обусловлено тем, что управление при решении этих задач осуществляется в условиях жёсткого лимита времени, отсутствием необходимых запасов материальных, недостатка финансирования и других средств, отсутствия должной организации взаимодействия различных по составу и предназначению сил.

Система управления ЧС на уровне района функционирует на трёх основных уровнях: локальном, местном и территориальном.

При рассмотрении требований, предъявляемых к плану реализации намеченных мероприятий по решению проблем сокращения ЧС (табл. 4.9 – 4.11), рассмотрены основные требования, к которым относят: реальность, целеустремленность и конкретность. Реальность – одно из главных требований к

планированию. Оно обеспечивается глубоким и всесторонним анализом вопросов ЧС на соответствующем уровне, правильной оценкой обстановки, которая может сложиться на той или иной территории.

Таблица 4.9

План реализации намеченных действий по сокращению ЧС в Нурекском районе

№	Наименование мероприятия	Форма реализаций	Ответственные исполнители	Партнёры
Краткосрочные (первоочередные в течение 5 лет)				
1	Разработка целевых программ по предупреждению ЧС с включением в них наиболее важных мероприятий, требующих существенные материальные и финансовые затраты, обеспечивающие достоверного требуемого уровня приемлемого риска ЧС	Рабочие встречи	Хукумат района	КЧС и ГО РТ, НПО
2	Оценка местных рисков, уязвимости и потенциала	Паспортизация населённых пунктов по готовности и реагированию на ЧС	Хукумат района	КЧС и ГО РТ, ИССС АН РТ, ГКОПО, «Геологияи Точик», НПО
3	Информирование населения о потенциальных природных и техногенных угрозах на территории их проживания	Семинары и встречи с населением	Хукумат района	КЧС и ГО РТ, НПО
4	Определение приоритетных направлений, мероприятий по управлению ЧС	Семинары с участием ответственных лиц местности, лидеров и других сторон	Хукумат района, условные доноры (фермеры, предприниматели)	КЧС и ГО РТ, НПО, Международные организации
5	Мониторинг окружающей природной среды и состояния техногенных объектов			Саридораи «Геологияи Точик», КЧС и ГО РТ
6	Прогнозирование возможных последствий возникновения источников ЧС на территории района в планируемый период времени	Создание прогнозных карт		Саридораи «Геологияи Точик», КЧС и ГО РТ
7	Предотвращение в возможных пределах некоторых неблагоприятных и опасных природных явлений и процессов путём систематического снижения их накапливающего потенциала	Подготовка плана и реализация превентивных мероприятий инженерно-технического и технологического характера (профилактика)	Хукумат района	ММВХ РТ, НПО, предприниматели, фермеры, предприятия
Долгосрочные (перспективные от 5 до 10 лет)				
8	Разработка перспективных планов предупреждения возникновения источников ЧС с включением программных мероприятий, планов предупреждения и ликвидации возникновения источников ЧС	Рабочие встречи, консультации	Хукумат района (местный штаб КЧС и ГО РТ, охрана природы)	КЧС и ГО РТ

9	Проведение государственной экспертизы в области защиты населения и территорий от возникновения источников ЧС	- выявление возможных источников природного и техногенного характера; - формирование банка данных потенциально опасных объектов и территорий, кадастров, катастроф и ЧС; - определение степени опасности выявленных объектов для населения и территорий; - выявление объектов и территорий, представляющих существенную опасность для населения. Составление перечня этих объектов и территорий	Хукумат района (местный штаб КЧС и ГО РТ, охрана природы)	КЧС и ГО РТ, НПО
10	Организация работы по реализации программ, планов и мероприятий в области предупреждения ЧС	- созданию систем оповещения об угрозе возникновения ЧС; - создание и подготовка сил реагирования (поисково-спасательные команды) ЧС; - создание фондов средств коллективной и индивидуальной защиты; - подготовка мест временного размещения эвакуируемого населения	Хукумат района (местный штаб КЧС и ГО РТ, охрана природы)	Министерство мелиорации и водного хозяйства, КЧС и ГО РТ, НПО, предприниматели, фермеры, предприятия

Таблица 4.10

Анализ управления ЧС

Аспекты исследований	Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности улучшения
Персонал, обучения	- традиция работать сообща, всегда найдётся лидер; - молодёжь с энтузиазмом воспринимает возможность обучения; - предмет ГО в программе средней школы; - семинары, тренинги по реагированию на ЧС; - подготовка к управлению ЧС ведётся через структуры КЧС и ГО на местах; - КЧС и ГО РТ, НПО проявляют инициативу по организации и управлению группы реагирования в районах, которые подвержены риску	- местное население важнейший ресурс в управлении ЧС, хотя его часто не воспринимают должным образом. - отсутствия институтов местных наблюдателей; - кратковременные, непродолжительные семинары; - ресурсы частного сектора, слабо задействованы в управлении ЧС	Местный потенциал укрепляется различными формами их подготовки: - встречи и семинары с представителями местных властей, лидерами на местах, группами, занимающимися оценкой риска ЧС и разработкой планов реагирования; - тренинг по реагированию на ЧС, нацеленный на развитие навыков по оказанию доврачебной и первичной помощи или оценке ущерба и потребностей; - обучение и ознакомление населения с действиями, которые будут приняты до-, в- и после ЧС; - усиление системы мониторинга, анализа и прогнозирования ЧС; - специальные программы обучения для профессионалов в администрации, органах планирования экономического развития

Аспекты исследований	Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности улучшения
Финансовые Ресурсы	- республиканский бюджет; - местные бюджеты; - бюджеты соответствующих учреждений, ведомств и министерств, общественные пожертвования и вклады международных организаций и НПО	- имеющиеся у местных властей ресурсы недостаточны для проведения в большом объеме работ, направленных на стабилизацию ЧС; - недостаточное финансирование из государственного бюджета; - неадекватные нормативы платежей за ущерб, наносимый природе и природным ресурсам.	- выявить и лучше использовать ресурсы для борьбы с ЧС, имеющимися в районе, объектах экономики; - определить приоритеты капиталовложений в сокращение ЧС в уязвимых населённых пунктах; - внедрять в микрофинансовый сектор положения о гибких схемах возврата кредитов, в случае если должник пострадает от ЧС; - разработка целевых программ по предупреждению ЧС с включением в них наиболее важных мероприятий, требующих существенных затрат материальных и финансовых ресурсов и обеспечивающих достижение требуемого уровня приемлемого риска ЧС
Материально-техническое обеспечение	Инженерное обеспечение, медицинское обеспечение, транспортное обеспечение, дорожное обеспечение, обеспечение связи	Нехватка тяжёлой техники, низкий охват и качество связи; не постоянство энергообеспечение	Меморандумам о взаимопонимании, являются формой взаимного уведомления о том, какие ресурсы будут предоставлены каждой стороной при реагировании на ЧС
Природо-охранные мероприятия	-стремление к рациональному размещению производительных сил и населённых пунктов на территории района, инженерная защита территории и населённых пунктов, локализация зон воздействия поражающих факторов источников ЧС, подготовка объектов и систем жизнеобеспечения населения к работе в условиях ЧС	- населения предпринимает действия, в результате которых себе причиняется вред; - повышается урожайность земли, подверженные затоплению, половодью, строительство жилых домов в опасных зонах. Зачастую такие факторы как бедность, вынужденное переселение, экологические проблемы, нехватка земли или же интеграция совокупности вышеназванных факторов и причин вынуждают населения поселиться и работать в опасных зонах	- продвигать использование национальных строительных норм, которые имеют особые положения по улучшенным стандартам строительства в районах, подверженным ЧС; - внедрять оценку воздействия риска бедствий как часть процесса планирования до начала строительства новых дорог, мостов, домов; - продвигать эффективные программы диверсификации культур, включая использование угрозостойких культур, для решения проблем изменения характера климата
Правовые рамки	- Конституция РТ; - нормативные правовые акты КЧС и ГО и др.; - Закон РТ «О защите населения и территорий при ЧС природного и техногенного характера»; - Закон о гидрометеорологической деятельности;	Слабое изучение и отсутствия полноценного анализ законодательной и нормативной правовой базы по организации и осуществлению мероприятий в области предупреждения ЧС.	- продвигать эффективные схемы страхования и кредитования для компенсации ущерба урожаю и потерь средств, к существованию из-за ЧС; - определение мероприятий и практических мер на местах касательно реализации Закона Республики Таджикистан «О защите населения и территорий при ЧС природного и техногенного характера»;

Аспекты исследований	Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности улучшения
	- Государственная экологическая программа, Госпрограмма об экологическом образовании и информации населения; - справочник ЧС природного и экзогенного характера; - Закон о защите населения; - Закон о статусе спасателя и др.	Реализация Закона РТ «О защите населения и территории от ЧС природного и техногенного характера». Дома и имущество населения на случай ЧС не застрахованы	- организация заблаговременных работ касательно реализации программ, концепции, планов и мероприятий по предупреждению ЧС на должном уровне
Потенциал района по предупреждению и реагированию на ЧС	Правительство создало систему реагирования и действий при ЧС. Нижеследующие группы и организации играют определённую роль в распространении и передаче предупреждений: население, СМИ, местные и региональные власти, аварийные службы, объекты экономики и отрасли, НПО и Общество Красного Полумесяца Таджикистана	Неподготовленность населения, нехватка средств оповещения и связи	Необходимо провести анализ системы на всех уровнях: районном, местном, и этапах прогнозирования и интерпретации, разработки и распространения. При этом учитывается мнение пользователей, т.е. населения, которые должны оценить пути передачи сообщения, их эффективность и полезность. Анализ можно проводить в форме встреч или дискуссионных групп, или более формально в виде семинаров
Уязвимость и потенциал района	- уровень доступности к ЧС; - уровень мобильности, если потребуется эвакуация; - разработаны и апробированы планы на случай ЧС; - распределение и местонахождение жизненно важных объектов и служб (милиция, пожарная охрана)	- близость к источникам угроз; - существования вторичных угроз, которые могут быть спровоцированы основной угрозой; - слабые конструкции жилых домов и неудачные места их строительства; - изолированность некоторых нас. пунктов	- детальная комплексная оценка всех населённых пунктов зоны возможного поражения ЧС и степень их опасности; - обучение местных строителей и населения технологиям строительства; - улучшить пути эвакуации; - привлечение внимание официальных властей и НПО к проблеме; - создание механизма оповещения
Информация и технологии	Нет	- мониторинг в области защиты от наводнений, разработка защитных систем, обучение населения готовности к ЧС. Системный подход для изучения и прогнозирования возможных катастроф и их последствий с использованием современных дорогостоящих высоких технологий: использование спутниковых навигационных приборов	- наиболее эффективное применение одновременно нескольких методов передачи информации общего и специфического характера. Общие методы включают различных СМИ – радио, телевидение, периодические издания (газеты, журналы), а также и доски объявлений. К специфическим методам можно отнести звуковые сирены, факсы, телефоны и др. - продвигать использование информации о риске угроз в планирование землепользования и программы районирования; - разработка, обновление и распространение карт риска для населения, особенно для тех, кто живет или работает в зонах высокого риска

Совместное планирование обуславливает определение возможных рисков, полномочия различных учреждений и их потенциал, мероприятия по реагированию на ЧС и ответственных за их исполнение (табл. 4.11).

Меморандум о взаимопонимании может отражать взаимную договорённость о предоставлении помощи несколькими различными ведомствами или правительственными структурами, которые помогут в транспортировке и обеспечении срочной помощи. Желательно заключение подобных меморандумов между районным штабом по ЧС и ГО, Министерством мелиорации и водного хозяйства РТ, Министерством транспорта и коммуникации РТ, местными НПО и Общества Красного Полумесяца.

Общий перечень приоритетных потенциальных мероприятий направленных на решения проблем защиты населения Нурекского района от воздействия экзогенно-геологических процессов, выглядит следующим образом.

Таблица 4.11

Потенциальные мероприятия по предотвращению ЧС

Образование и обучение	Общинные действия	Технологические меры	Правовые действия	Положительные воздействия
Передача технических навыков населению с помощью проведения семинаров и тренингов	- сотрудничать с местными родительскими комитетами и организовать семинар по подготовке к ЧС; - проводить очистка русла рек от мусора и камней для предотвращения наводнений и селевых потоков, засыпка выемок и промоин на горных склонах, облесение склонов и т.д.	Сооружение – защитных дамб и каналов для снижения риска затопления, террасирование склонов и высадка зеленых насаждений для снижения эрозии почвы. Технические работы – очистка русла рек от ила и камней для предотвращения наводнений и селевых потоков	- осуществить подготовку и содержание в готовности необходимых сил и средств, для защиты населения и территорий от ЧС, обучения населения способом защиты и действиям в указанных ситуациях; - осуществить в установленном порядке сбор и обмен информацией касательно защиты населения и территорий от ЧС, обеспечить своевременное оповещение и информирование населения об угрозе возникновения ЧС	- чувство безопасности побуждает людей к экономической деятельности, которая приведёт к снижению уровня бедности и повысит уровень жизни; - в настоящее время пахотные земли, расположенные в устье оврагов, подверженные риску селевого паводка, лежат невостребованными. Посредством строительства защитных сооружений в близлежащих оврагах и предупредительных мер, эти земли будут использованы для выращивания зерна, овощей и фруктов, улучшая питание жителей

1. Изучение и анализ законодательной и нормативно правовой базы по организации и осуществлению мероприятий в области предупреждения ЧС. Определение практических мер по реализации Закона Республики Таджикистан

«О защите населения и территории от ЧС природного и техногенного характера».

Таблица 4.12

Разработка плана действия по управлению экзогенными геологическими процессами

Экологические проблемы	Цели	Задачи	Индикаторы
1. Воздействия паводков на местность (подтопление территории, затопление подвалов и огородов, заболачивание), нарушения устойчивости береговых массивов с образованием запруд и волн прорыва	Защита населения жилищам, которых угрожают экзогенно-геологические процессы	1. Разработать план по инженерной защите территории, который включает в себя план управления обвально-оползневые процессы (мониторинг), план борьбы с селевыми и другими видами водных процессов, а также план предупреждения и эвакуации населения жилищам которых угрожают экзогенно-геологические процессы.	Уровни грунтовых вод в норме
2. Образование мутьд проседания, трещин и провальных воронок на поверхности земли, в лессовых грунтах		2. Исходя из местных особенностей, составляют инженерно-геологический план местности, на котором выделяют категории земель, в разной степени подверженных воздействию гравитационных и водных процессов	Залеживание и стабилизация количества трещин на склонах. Естественное облысение склонов
3. Антропогенные сейсмические оползни и обвалы, вызванные взрывами и подрезкой склонов при строительных работах		2. Поиск и определение эффективных технологий по инженерной защите территории, проверенных на практике. Критерии отбора технологий: простота, доступность, новизна, эффективность и экологическая безопасность	

2. Определение органов исполнительной власти, учреждений и организаций, которые могут быть задействованы в планировании и проведении мероприятий по предупреждению ЧС.

3. Выявление возможных источников ЧС природного и техногенного характера. Формирование банка данных потенциально опасных объектов и территорий, катастроф. Определение степени опасности выявленных объектов для населения и территорий.

4. Выявление объектов и территорий, представляющих существенную опасность для населения. Составление перечня этих объектов и территорий. Оценка риска ЧС. Определение значения индивидуального и социального рисков. Прогнозирование возможных последствий возникновения источников ЧС на территории района в планируемый период времени.

5. Выбор и обоснование рационального комплекса мероприятий по основным направлениям смягчения последствий ЧС, в том числе (табл. 4.12): рациональное размещение производительных сил и населённых пунктов на территории района; инженерная защита территории и населённых пунктов; локализация зон воздействия поражающих факторов источников ЧС; подготовка объектов и систем жизнеобеспечения населения к работе в условиях ЧС.

6. Выбор и обоснование рационального комплекса мероприятий по основным направлениям снижения риска ЧС: мониторинг ОС и диагностика состояния зданий, сооружений и потенциально опасных объектов; прогнозирование ЧС.

7. Разработка целевых программ по предупреждению ЧС с включением в них наиболее важных мероприятий, требующих существенных материальных и финансовых ресурсов и обеспечивающих достижение требуемого уровня приемлемого риска ЧС.

8. Разработка перспективных и годовых планов предупреждения ЧС с включением в них программных мероприятий, планов предупреждения и ликвидации ЧС соответствующих подсистем и звеньев, а также предложений в программу и планы социально-экономического развития территорий [68].

Выводы по четвёртой главе

Нурекское водохранилище – пока самое верхнее в каскаде Вахшских действующих гидроузлов и с 1972 г. практически полностью аккумулирует сток наносов р. Вахш.

В период отсыпки и наращивания плотины Рогунской ГЭС с 1988 г. и до её смыва в мае 1993 г. только часть влекомых наносов откладывалась в формирующемся выше плотины бьефе. После смыва плотины Рогунской ГЭС весь сток наносов реки Вахш поступает и задерживается в Нурекском водохранилище, включая отложения верхнего бьефа и продукты размыва самой Рогунской плотины.

Установлено, что прекращение строительства Рогунской ГЭС, приведёт к постепенному заполнению ёмкости водохранилища Нурекской ГЭС наносами и в среднесрочной перспективе под вопросом окажутся отдельные сооружения гидроузла. В долгосрочной перспективе, встанет вопрос о безопасности данного гидроузла в целом и причиной невозможности регулирования стока р. Вахш.

Возведение Рогунского гидроэнергетического комплекса значительно снизит скорость заполнения водохранилища Нурекской ГЭС, тем самым обеспечит регулирование стока на значительный период времени, а также отсрочит необходимость реконструкции системы пропуска паводков с учётом проблем отложений, а также позволит продлить срок эксплуатации Нурекской ГЭС на срок эксплуатации Рогунской ГЭС.

В течение 115 лет эксплуатации работы Рогунской ГЭС её водохранилище будет заполнено наносами. По окончании данного цикла, водохранилище Рогунской ГЭС будет эксплуатироваться как русловая электростанция и всё регулирование будет осуществляться на Нуреке, предполагая, что общий консервативный ежегодный расход наносов будет равен 100 млн. м³.

Анализ стоков наносов реки Вахш для расчётов заиления Нурекского водохранилища показал, что надёжность определения стока наносов р. Вахш у плотины Нурекской ГЭС не соответствует нормативным требованиям методов его оценки.

Взвешенные наносы, поступившие за весь период его эксплуатации в Нурекское водохранилище, в расчётах заиления с некоторым запасом принят по стоку наносов за близкий к среднему по водности 1960 год. Расчётная величина стока наносов, принятая в расчётах заиления, равна 108,2 млн т.

Среднемесячные и среднегодовые расходы воды реки Вахш в створе плотины Нурекской ГЭС за период 1932 – 1991 гг. взяты из проработок прошлых лет за период 1992 – 2002 гг. восстановлены по той же схеме. Расход воды р. Вахш за паводковый период получен 1040 м³/с, мутность воды на входе в Нурекское водохранилище – 5,3 кг/м³.

Согласно расчётам, потери полезной ёмкости (4,6 млрд м³) Нурекского водохранилища в результате заиления за 29 лет эксплуатации (уровень 2001 г.) составляют 0,452 млрд м³, к 2010 г. – 0,631 млрд м³ (это 10 и 14 % от объёма полезной ёмкости); потери мёртвого объёма возрастут до 35 % к 2001 г. и до 45% к 2010 г. от первоначального (5,9 млрд м³). Отметки дна у плотины повысятся до 759 м (2001 г.) и 772 м (2010 г.). К 2010 г. полный объём воды Нурекского водохранилища, свободный от наносов при НПУ 910 м, составит 7,19 км³.

Сопоставление результатов расчётов заиления с материалами инструментальных съёмок за одинаковые периоды показало их несовпадение. Например, в 2001 г. объём воды в Нурекском водохранилище при НПУ 910 м равен 8,54 км³ и, примерно, такой же объём воды (8,66 км³.) получен после промеров 1989 г.

Объём водохранилища, полученный расчётным путём при НПУ 910 м в 2001 г. – 7,97 км³, оказался близким к объёму воды по промерам 1994 г., когда тот составлял 7,965 км³.

Для подтверждения правильности расчётных значений и значений, полученных путём инструментальных съёмок, полного и полезного объёмов Нурекского водохранилища, а также прогнозных расчётных характеристик тела заиления необходимо на следующем этапе работ выполнить промеры глубин по акватории Нурекского водохранилища с использованием высокоточного измерительного оборудования для глубоководных водохранилищ.

Сформулированы мероприятия по управлению рисками ЧС Нурекского водохранилища.

ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ЗАИЛИВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОХРАНИЛИЩА

5.1. Пути уменьшения процесса заиливания

На рис. 5.1 показано влияние заиливания на объём водохранилища Нурекской ГЭС.

В горных реках процесс заиливания водохранилища в основном происходит относительно быстро и особенно с хвостовой части, который и составляет полезный объём. Анализ данной ситуации проведён на основании данных, предоставленных ПТО Нурекской гидроэлектростанции. Однако, достоверность этих данных оставляют желать лучшего. Используя данные [2] и другие характеристики реки Вахш, предварительно определили объёмы водохранилища (как полезный, так и мёртвый) по состоянию на 2009 год.

В табл. 5.1 приведены проектные значения параметров Нурекского водохранилища и их реальные значения по годам (с 1989 по 2009 г.).

Таблица 5.1

Объём водохранилища, км³

Отметки, м	Проект	1989 г.	1994 г.	2001 г.	2009 г.
645	0	0	0	0	0
680	0,0147	0	0	0	0
700	0,0977	0	0	0	0
720	0,32	0,169	0	0	0
740	0,68	0,471	0,255	0,0696	0,1
760	1,22	1,027	0,75	0,355	0,36
780	1,91	1,7	1,41	0,8444	0,8
800	2,724	2,45	2,09	1,5788	1,35
820	3,7	3,35	2,92	2,3518	2,1
840	4,84	4,36	3,86	3,244	3,0342
860	6,17	5,45	4,92	4,393	4,045
880	7,72	6,63	6,025	5,8325	5,25
900	9,464	8,01	7,295	7,5274	6,55
910	10,5	8,66	7,965	8,5439	7,369

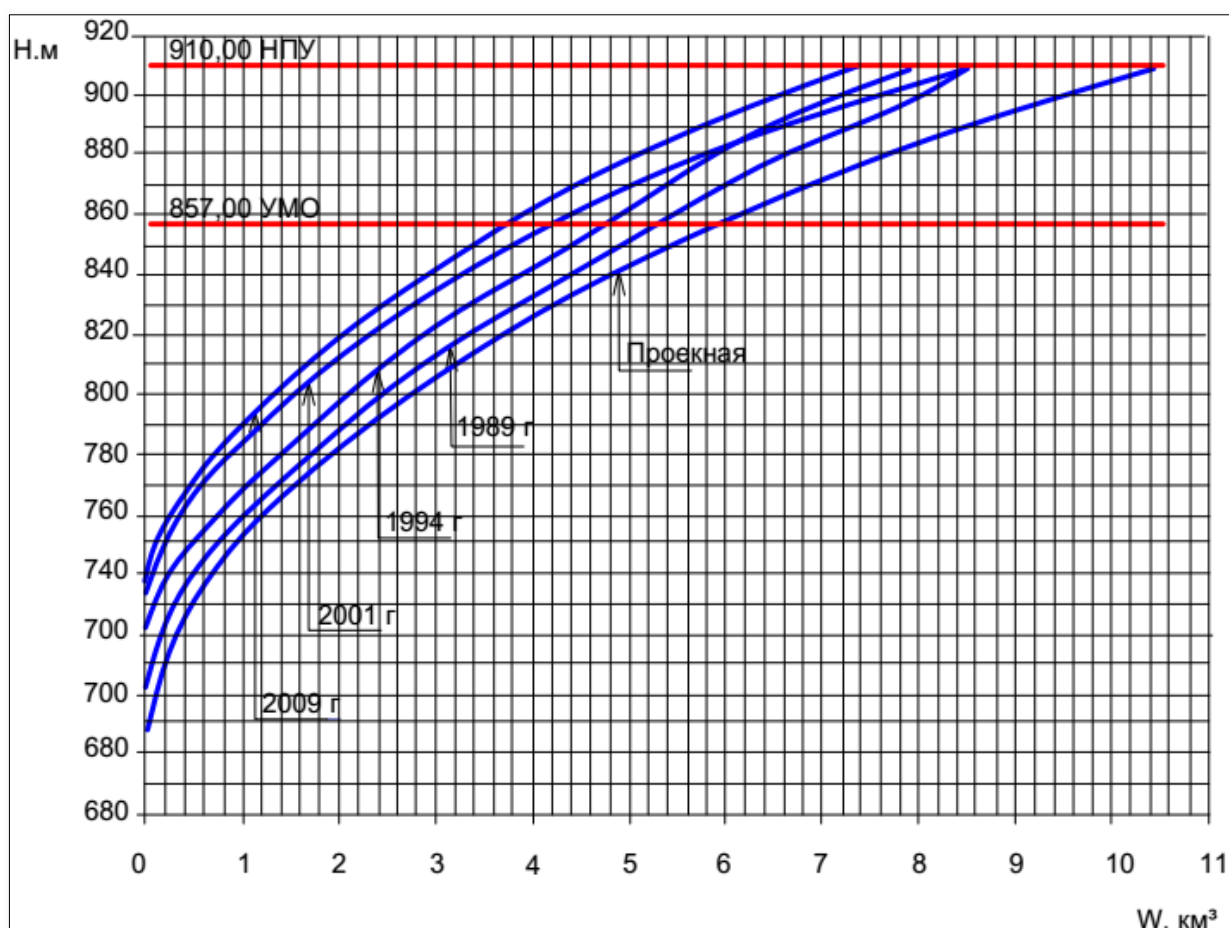


Рис. 5.1. Влияние заиления на объём Нурекского водохранилища

Однако следует отметить, что процесс заиления водохранилища может произойти намного быстрее из-за переформирования берегов, когда сработает мёртвый объём. Процесс заиления также ускоряется из-за строительства водохранилища Рогунской ГЭС, т.к. именно строительный период и большой объём земляных пород, которые используют для сооружения плотины, а также операции, связанные с изменением русла реки, приводят к заилению водохранилища Нурекской ГЭС [9, 17, 57, 67].

5.2. Методы расчёта заиления и занесения в водохранилище

Для выполнения расчётов по динамике и срокам отложений наносов в водохранилище использованы топографические, проектные и гидрологические материалы.

Топографические – продольный и поперечные профили реки Вахш 25-и километрового участка Нурекского водохранилища (от плотины), по промерам 1972 г., далее вверх по водохранилищу, включая зону его выклинивания по картографическим материалам съёмок М 1: 25000 (с 25 по 50 км от плотины) и М 1:100000 (с 51 по 70 км от плотины); результаты промерных работ предыдущих лет (1972, 1977, 1989, 1994 и 2001 гг.).

Проектные – режим работы и отметки порогов водосбросных сооружений (входной портал туннеля 2 яруса находится на отметке 670 м, 3 яруса – на отметке 740 м) и водоводов ГЭС 827 м, кривая зависимости ёмкости воды Нурекского водохранилища от уровней.

Гидрологические – расчётные отметки уровней воды в водохранилище (средние по каждому расчётному периоду – 770, 870, 890 м); среднемноголетние стоковые характеристики воды и наносов реки Вахш, фракционный состав взвешенных и влекомых наносов, температура воды на входе в водохранилище [43].

Среднемноголетний расход воды за паводковый период принят равным 1040 м³/с (табл. 5.2).

Таблица 5.2

**Среднемноголетние характеристики жидкого и твёрдого стока
р. Вахш в створе плотины Нурекской ГЭС**

Мутность воды за период IV – IX, кг/м ³	Расход воды за период IV – IX, м ³ /с	Расход взвешенных наносов за период IV – IX кг/с	Сток наносов за период IV – IX, млн т	Годовой сток наносов млн т
5,3	1040	5500	102	108,2

В расчётах заиления водохранилища использован годовой сток наносов реки Вахш по фактически близкому к среднему по водности 1960 г. – 108,2 млн т или 94,0 млн м³.

Фракционный состав взвешенных наносов р. Вахш представлен в табл. 5.3.

Таблица 5.3

**Фракционный состав взвешенных наносов р. Вахш - кишлак Туткаул
и русловых отложений в Нурекском водохранилище**

d , мм		1,0 – 0,25	0,25 – 0,05	0,05 – 0,01	< 0,01
р. Вахш – кишлак Туткаул					
P , %		3,2	34,2	20,4	42,2
русловые отложения у проб на поперечник 11 (2004 г.)					
P ,%	Дно	1,6	16,8	73,3	8,3
	Берег	1,2	36,2	51	11,6
	Литораль	2,4	67	30,6	0

Температура воды на входе в водохранилище равна средней за период прохождения основного стока наносов (апрель-сентябрь) – 13,1 °С по аналогии с температурой воды на участке сооружений Шуробской ГЭС.

Фракционный состав влекомых наносов р. Вахш приведён в табл. 5.4.

Таблица 5.4

**Фракционный состав влекомых наносов р. Вахш – кишлак Туткаул
(Саригузар) за период 1958 – 63, 68 и 70 гг.**

d , мм	500 – 250	250 – 120	120 – 80	80 – 40	40 – 20	20 – 10	10 – 5	5 – 1
P , %	3,0	17,8	14,2	27,1	19,6	4,1	2,9	11,3

Расчёты заиления в период нормальной эксплуатации Нурекского гидроузла проведены из условия полного осаждения стока наносов р. Вахш в Нурекском водохранилище и без учёта их осаждения в Рогунском водохранилище.

Описания результатов расчётов заиления по пяти расчётным периодам показаны на продольном профиле (рис. 5.2).

Заиление за 1-й расчётный период (1973 – 1977 гг.): отметка уровня 770 м.

При отметке подпора 770 м водохранилище распространяется на 33 км вверх от плотины. Согласно расчётам, основной сток частиц диаметром частиц более 0,01 мм, отложился в пределах отметок 700 – 770 м, на расстоянии 15 – 33 км от плотины. У плотины осели наносы диаметром менее 0,01 мм, дно на этом участке находится на отметке 708 м. Оставшаяся часть частиц через водосбросные сооружения, расположенные на отметках 670 и 740 м, поступила в

Заиление за 2-й расчётный период (1978 – 1989 гг.): отметка уровня 870 М.

Заиление за 3-й расчётный период (1990 – 1994 гг.): отметка уровня 890 м.

165

риод мелководная часть в зоне выклинивания подпора заиливается полностью, остаётся небольшая ёмкость под сформированное русло. Отметки тела заиления у плотины достигают 748 м. Поступление взвешенных частиц в нижний бьеф не ожидается.

Заиление за 4-й расчётный период (1995 – 2001 гг.): отметка уровня 890 м.

При той же отметке подпора, что и в предыдущем периоде, объём заиления формируется и смещается вниз по водохранилищу к его глубоководной зоне в пределах отметок 890 – 770 м. Отметки дна водохранилища на приплотинном участке возрастают до 759 м.

Заиление за 5-й расчётный период (2002 – 2010 гг.): отметка уровня 890 м.

За последний (прогнозный) период зона заиления на верхних отметках приблизилась к плотине на расстояние примерно 25 км. Подошва тела заиления наносами диаметром 0,01 мм находится в 22 км от плотины. Отметки дна на приплотинном участке поднялась на 13 м относительно предыдущего периода и составляют 772 м.

По полученным в результате расчётов тела заиления за каждый отрезок времени проведено сопоставление его с параметрами тела заиления, приведённого в технического проекте и измеренного инструментальным способом (в 1977, 1989, 1994 и 2001 гг.), путём графического наложения отметок наименьшего дна на продольные и поперечные профили.

При близких стоковых значениях, поступающих в водохранилище наносов, сопоставление результатов расчётов и промерных работ показало следующее:

– на конец 1-го расчётного периода (к 1977 г.) отметки дна у плотины получены на 8 м выше, чем по результатам промеров. Возможны две причины расхождения расчётных и промерных данных: первая – это погрешность промерных работ; вторая, – в расчётах недостаточно полно учтена работа донных водосбросов и в нижний бьеф поступило больше наносов;

– за 2-й расчётный период тело заиления по длине водохранилища повторяет контуры тела, показанного на продольном профиле после промерных работ 1989 г. Различие в отметках дна у плотины и на прилегающих к ней участках увеличилось в сторону расчётных значений от 24 м (поперечный профиль 5) до 38 (поперечный профиль 1) м;

– за 3-й расчётный период (уровень 1994 г.) в зоне водохранилища тело заиления по промерным данным имеет более сглаженные очертания, чем полученное расчётным путём. Расчётная отметка отложений наносов у плотины (748 м) приблизилась к полученным по промерам (725 – 730 м);

– за 4-й расчётный период на продольном профиле водохранилища по промерам 2001 г. отметки дна с учётом заиления не согласуются с отметками дна по промерам 1994 г.: ложатся то выше, то ниже относительно друг друга. С расчётными данными отметки дна 2001 г. близки лишь в глубоководной зоне. У плотины превышение отметок дна (высота слоя отложений) за период между съёмками 1994 и 2001 гг. совпадает с расчётными и составляет 8 – 12 м.

Одновременно с заилением в верхней части водохранилища происходит занесение русла влекомыми наносами. Расчёт занесения водохранилища при отметке 890 м проводился на 29 год его эксплуатации (уровень 2001 г.).

Влекомые наносы приняты равным 10 % от величины стока взвешенных наносов. При годовом стоке 3,3 млн м³, наибольший подъём отметок дна русла отмечается в 4 км выше сала Боляндсево (в 63 км выше плотины) и относительно дна составляет около 15 м. Объём отложений при занесении достигает 66 млн м³ [9].

5.3. Результаты промеров водохранилища

Результаты промерных работ апреля 2001 г. представлены в виде поперечных профилей, совмещённых с аналогичными поперечниками съёмки 1994 (18 поперечников). Кроме того, на поперечниках 1 – 10 нанесены результаты промеров 1972 г., характеризующие состояние водохранилища до его наполне-

ния. На поперечные профили 11, 18 – 21 нанесены поперечники, снятые в 1989 г. с карт масштаба 1:25000 съёмки 1954 года, на поперечные профили 12-17 с карт масштаба 1:1000000 съёмки 1964 г.

Представленные совмещённые поперечные профили позволяют сделать следующее заключение:

1. Мощность осевших наносов в период 1994 – 2001 гг. по всей длине чаши водохранилища неравномерны.

2. На поперечниках 1 – 9 (предположительно и 10) мощность слоя отложения примерно одинаковая и колеблется от 7 до 10 м и около створа плотины – до 12 м.

3. На поперечнике 11 наблюдается увеличение мощности наносов в период 1994 – 2001 гг., т.е. образовалась «линза» наносов высотой до 24 м.

4. Выше по течению (от плотины) с поперечника 12 по поперечник 17 за период с 1994 – 2001 гг. просматривается картина сильного размыва тела наносов (до 20 м и более), поверхность которого была нанесена на поперечные профили в декабре 1994 г. Такая картина вызывает сомнение. Кроме того, при разговоре с гидрологами, проводившими промеры, выяснилось, что действительно в промерах 1994 года возможна ошибка – завышенные отметки верха наносов, т.к. работы проводились в сложных условиях нестабильной политической обстановки декабря 1994 г.

5. По поперечникам 19, 20, 21 в 1994 г. не было произведено промеров и при подсчете объема отложения наносов за 1994 – 2001 гг. условно был принят слой наносов по аналогии с поперечником 18.

6. Суммарный объём отложения наносов в 1994 – 2001 гг. составил $V_H = 0,4893 \text{ км}^3$, что привело к уменьшению полезного объёма водохранилища.

7. В пределах мёртвого объёма отложилась основная масса наносов

$V_{H \text{ по}} = 0,422 \text{ км}^3$. В пределах полезного объёма объём наносов составил $V_{H \cdot \text{по}} = 0,0673 \text{ км}^3$.

8. Переработано (размыто) всего $V_{\Pi} = 0,2973 \text{ км}^3$, в том числе в пределах полезного объёма $V_{\Pi \cdot \text{по}} = 0,196 \text{ км}^3$.

Учитывая вышеприведенные доводы, был проведён анализ отложения наносов с начала заполнения водохранилища, т.е. за период 1972 – 2001 гг. За этот период в нижней части водохранилища на участке поперечников 1 – 9 наносы отложились довольно ровным слоем мощностью $h_n = 57 - 70$ м и на приплотинном участке достигли отметки 737,5 м (поперечники 1 – 3).

За период с 1972 по 2001 год основная масса наносов осела в средней части водохранилища на участке между поперечниками 5 – 14. Наибольшая мощность слоя наносов – между поперечниками 10 – 16. Площадь заиления на поперечнике 11 достигла 94269 м².

На участке между поперечниками 1 – 12 (протяжённостью 31,6 км) отложения наносов, в основном, происходило в пределах границы уровня мертвого объема (УМО) водохранилища. Далее, выше по течению осаждения наносов частично произошло в пределах полезного объёма водохранилища.

Суммарный объём отложения наносов в водохранилище за период с 1972 по 2001 годы составил $V_H = 2,0066$ км³, что привело к уменьшению его полного объёма со дня эксплуатации. Полный объём водохранилища в 2001 г. составил $V = 8,5439$ км³ (с учётом размыва $V_p = 0,0505$ км³).

В пределах мертвого объёма водохранилища, т.е. ниже отметки 857,0 м объём отложений составил $V = 1,80$ км³. В пределах полезного объёма водохранилища объём отложившихся наносов составил $V_H = 0,2066$ км³.

В табл. 5.5 приведён расчёт толщи отложений наносов в Нурекском водохранилище в периоды 1972 – 2001 гг. и 1994 – 2001 гг., позволяющий косвенно характеризовать динамику процесса заиления водохранилища.

Предполагается, что эти исходные профили будут повторяться каждый раз, когда будет проводиться исследование водохранилища, и результаты будут сравниваться в отношении батиметрических профилей, полученных во время текущей кампании исследования. Батиметрические профили, полученные из этих исходных профилей, будут приложены к основным документам исследования.

Таблица 5.5

Расчётная толщина отложения наносов в Нурекском водохранилище в 1994 – 2001 гг.

№ поперечников	Минимальная отметка дна, м			Мощность отложений h за период, м	
	проектная	1994 г.	2001 г.	1972 – 2001 гг.	1994 – 2001 гг.
1	664,30	725,5	737,50	73,2	12
2	670,14	730,3	737,50	67,36	7,2
3	672,14	730,0	737,50	65,36	7,5
4	676,14	730,5	738,00	61,86	7,5
5	678,14	729,5	739,50	61,36	10,0
6	681,14	730,2	740,90	59,76	10,7
7	685,64	734,2	741,20	55,56	7,0
8	687,57	740,2	749,50	61,93	9,3
9	693,62	752,2	757,40	63,78	5,2
10	706,68	780,3	776,40	69,72	-3,9
11	722,70	813,3	832,4	109,7	19,1
12	759,00	872,2	858,30	99,3	-13,9
13	771,00	871,5	862,00	91	-9,5
14	799,00	880,1	862,00	63	-18,1
15	808,00	881,0	868,50	60,5	-12,5
16	818,00	882,5	876,30	58,3	-6,2
17	830,00	885,0	875,30	45,3	-9,7
18	831,00	878,0	885,10	54,1	7,1
19	833,00	нет проме-	888,90	55,9	по аналогу 7,3
20	852,00	нет проме-	896,80	44,8	по аналогу 5,9
21	871,00	нет проме-	899,00	28,0	по аналогу 3,67

План дальнейших исследований. Представляем рекомендуемый план дальнейших исследований. Согласно данного плана, исследование включает в себя получение данных на протяжённости примерно 650 км трассы исследования с 291 поперечными линиями и двумя продольными сечениями. Данные также будут получены вдоль 21 профилей, которые были определены ранее.

Для того чтобы обеспечить ровную плотность охвата, 36 дополнительных точечных линий будут охвачены с данными, собранными из дополнительных 11 линий, определённых вокруг островков, имеющих на водохранилище. В общей сложности 28 профилей скорости звука будут также собраны в течение исследовательских работ.

С логистической точки зрения, группа исследования разделяется на две группы. Первая будет работать на исследовательском судне, сопровождаемая

двумя стажёрами со стороны НГЭС, а вторая группа остаётся на берегу также с двумя стажёрами, которые будут обрабатывать данные, полученные на месте работы, и выполняет сопутствующие работы.

5.3.1. Исследуемые поперечные профили

Было также проведено сравнение данных о поперечных сечениях, собранных во время исследовательской кампании в 2015 году, с предшествующими данными, зарегистрированных с 1972 года (до наполнения водохранилища), наборами данных батиметрического исследования в 1994 и 2001 годах. Эти 21 поперечных сечений относятся к профилям, описанным ниже.

Как и в случае со сравнением наборов данных по продольному сечению, основным препятствием было отсутствие каких-либо координат для начала и конца этих выверок, за исключением схематической диаграммы, показывающей примерное расположение и направления этих участков (рис. 5.6).

При этом была выполнена привязка отсканированного изображения со всей надлежащей точностью. Погрешности, составляющие до 200 м, возможны и не могут контролироваться. Также дело в том, что линии, указанные на диаграмме, не простираются поперёк всей ширины русла, и, следовательно, имеется неопределённость, куда должна быть установлена исходная точка.

Тем не менее, поскольку графические изображения, преобразованные в цифровой вид, представляют данные как из исследований за 1994 год, так и за 2001 год, охватывающим первоначальную топографию до наполнения водохранилища, имеется неопределённость только между данными за 2015 год и предшествующими наборами данных. Путём смещения величины между осью X данных поперечного сечения за 2015 год и данных предшествующего исследования, было возможно произвести выверку этих двух наборов данных, в основном, основываясь на ширине и морфологии поперечного сечения.

Тем не менее, следует отметить, что, предшествующие показатели поперечного сечения также формируют основной источник данных, который используется для получения продольного профиля. Данные по поперечному сечению подвержены таким же недостаткам, как было определено ранее, а именно

несоответствия данных высотной отметки, исходя из исследования за 2001 год, относительно высотных отметок свыше 780 м.

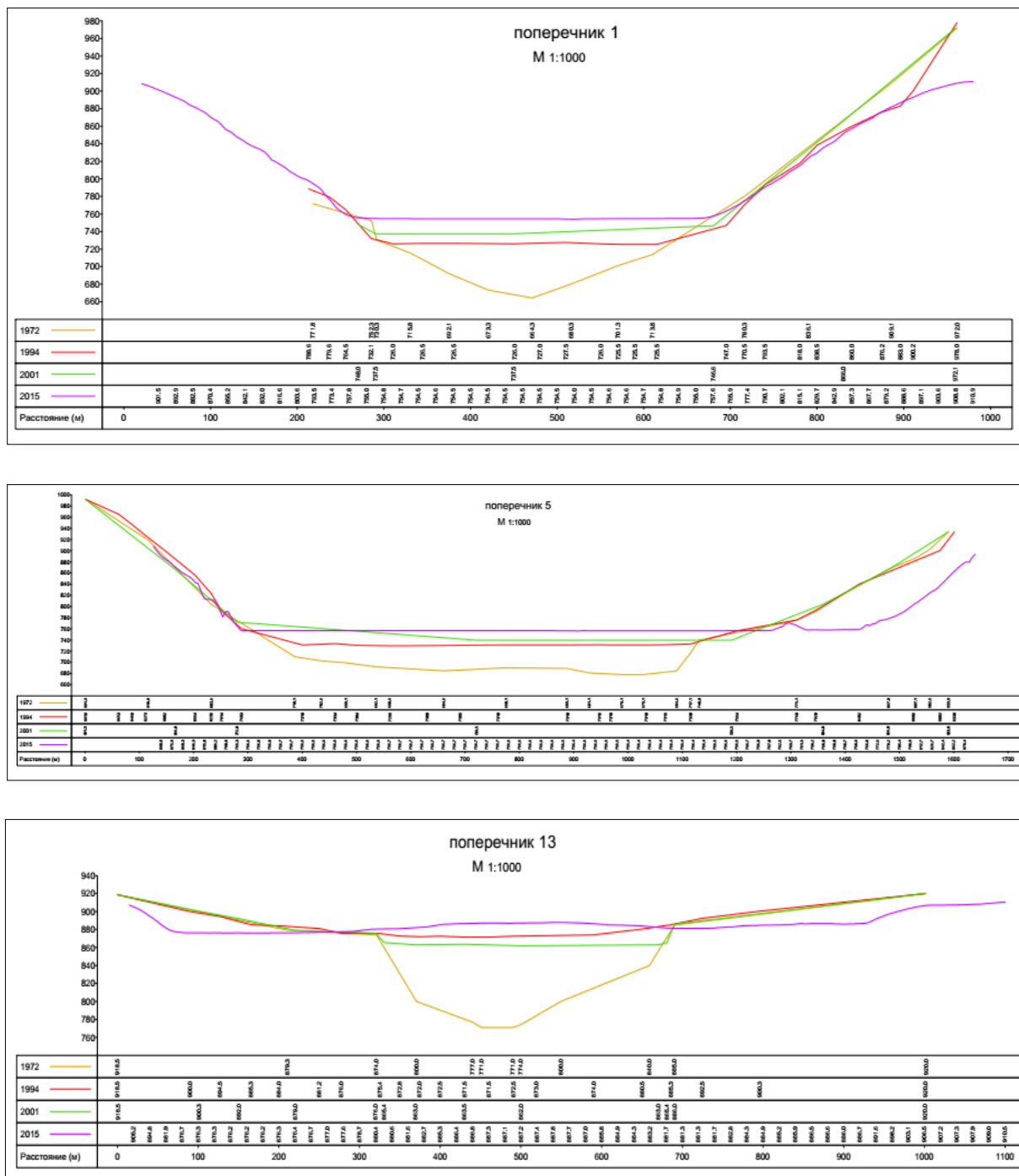


Рис. 5.3. Сравнение отобранных поперечных сечений (СР1 – дно, СР5 – середина и СР13 – верх) 1972 (до наполнения), 1994, 2001 и 2015 годы.

Из 21 исследованных профилей, рассмотрены только одиннадцать, чтобы согласовать надлежащим образом данные из предшествующих исследований, основываясь на форме и ширине поперечного сечения, и таким образом, указывая на то, что, они были, по всей вероятности, расположены правильно. Из чис-

ла остальных десяти профилей, шесть показывают соответствие допустимых уровней, указывая на то, что они, возможно, находятся в соответствующей области, хотя выверка, может быть, имеет незначительную погрешность, при этом остальные четыре вообще не показывают согласованности с предшествующими сечениями.

В нижней части водохранилища, только профили 1, 4, 6 и 9 показывают приемлемые уровни соответствия, при этом профили 3, 5, 7 и 8 показывают только допустимый уровень соответствия. В промежутке между 21 км и 34 км, от плотины, соответствие профилей 10 и 13 относительно поперечного сечения за 2015 год является неудовлетворительным, но после этого, сечения 14, 17, 19, 20, 21 согласуются в достаточной мере с данными за 2015 год.

Таким образом, предшествующая информация в области отложений на подводных верхних пластах дельты является очень неудовлетворительной. Это возможно отражает тот факт, что эта область была подвержена наибольшему изменению между периодами исследований, но наиболее вероятно это является результатом неудовлетворительной выверки поперечных сечений наряду с погрешностью в методах измерения, использованных для сбора данных.

Графические изображения всех профилей представлены на рис. 5.4. Данные о высотной отметке нанесены графически в качестве функции расстояния в метрах по всему сечению от определённой начальной точки и по постоянному углу направления. Представлены графические изображения, охватывающим нижнее течение, самая северная часть берега находится на правой стороне графического изображения.

Из предшествующих данных виден относительно неправильный подход к получению данных о глубине из каждого сечения. Исходя из имеющихся данных, видно, что были собраны данные о глубинах относительно поверхности отложений наносов в отдельных точках по всему сечению возможно с использованием устройства зондирования, такого как направляющая линия, нежели непрерывного профиля глубины на фоне измерения расстояния мерной цепью, так как, это может быть достигнуто эхолотом.

стемы точечного измерения – направляющая линия, что затрудняет проведения измерений точно одного и того же положения каждый раз, что делает возможным пропускать полностью характерные особенности.

В отношении данных за 2015 год это было достигнуто путём секционирования цифровой модели высотных отметок, с использованием ранее описанного пользовательского инструмента. Однако, предшествующие данные были преобразованы в цифровой вид вручную из отсканированных изображений первоначального бумажного варианта чертежа.

Все профили с 1 по 9 показывают предполагаемую модель постепенно возрастающего накопления наносов со временем с наносами, образующие относительно плоскую поверхность близко к горизонтальному слою, распространённому по всему ложу долины. В этих сечениях, уровень основания за 2001 год находится в пределах между уровнями за 1994 и 2015 годы, как это и предполагалось.

На месте расположения профиля 10, имеется ненадлежащее соответствие в северной части сечения в пределах между данными исследования, как и за 1994 год, так и за 2001 год и первоначальным профилем до наполнения. Также видно, что уровни ложа за 2001 год являются ниже в некоторых местах по сравнению с уровнями за 1994 год.

Выше положения профиля 12 видно несоответствие в данных за 2001 год, как было подтверждено уровнями наполнения наносов, лежащих ниже отметок за 1994 год. Соответствие набора данных в промежутке между 1994 и 2015 годом показывает либо незначительное изменение, либо увеличение уровней наносов в этих сечениях в течение 1994 – 2015 гг. Профиль 18 является последним профилем, для которого имеются данные за 1994 год и который показывает только умеренное соответствие между предшествующими данными исследованных поперечных сечений (ненадлежащее соответствие в форме профилей за 1994 год и 2001 год), хотя большая часть набора данных о сечении за 1994 год показывает более низкие уровни наполнения наносов в русле по сравнению со временем исследований в 2001 и 2015 годах, как это и предполагалось.

Последние профили (с 19 по 21) показывают отметки наборов данных за 2001 и 2015 годы, которые являются очень схожими по форме, но отметки увеличились примерно на 5 – 10 м. Это может быть действием возрастания или преувеличением глубины, видимое ранее в 2001 году. Эти последние три сечения находятся примерно на расстоянии 50 км выше плотины в части системы, где начали преобладать аллювиальные процессы и имели место сильные потоки, удаляющие наносы за пределы сечения, тем самым предотвращая какое-либо накопление наносов.

Исходные профили. Рекомендуется каждый раз проводить повторное исследование и сравнение этих профилей с наборами данных за 2015 год для обеспечения того, чтобы уровни основания согласовывались с уровнями предшествующих исследований.

5.3.2. Аккумулированные объёмы

Текущий нормальный подпорный уровень и площадь. Кривая аккумулированного объёма была выстроена с использованием известной методологии путём вычисления объёма водохранилища на разных высотных отметках, исходя из цифровой модели высотных отметок водохранилища в 2015 году. Результаты, который показаны на рис. 5.6, представляют общий аккумулированный объём ниже отметки 910,7 м, исходя из объёма в 6,9757 км³, из которых рабочий объём (объём выше отметки 857 м) составляет 3,8846 км³ (56 %) с мёртвого объёма, равного 3,0911 км³.

Табличные величины аккумулированного объёма и площади зеркала водохранилища для отметок в пределах между 752 м и 910,7 м в интервалах через 0,01 м.

Следует отметить, что была использована схема линейной интерполяции, чтобы определить величины в интервалах через 0,01 м, которые были определены в интервалах через 1 м.

Сравнение данных предшествующих исследований.

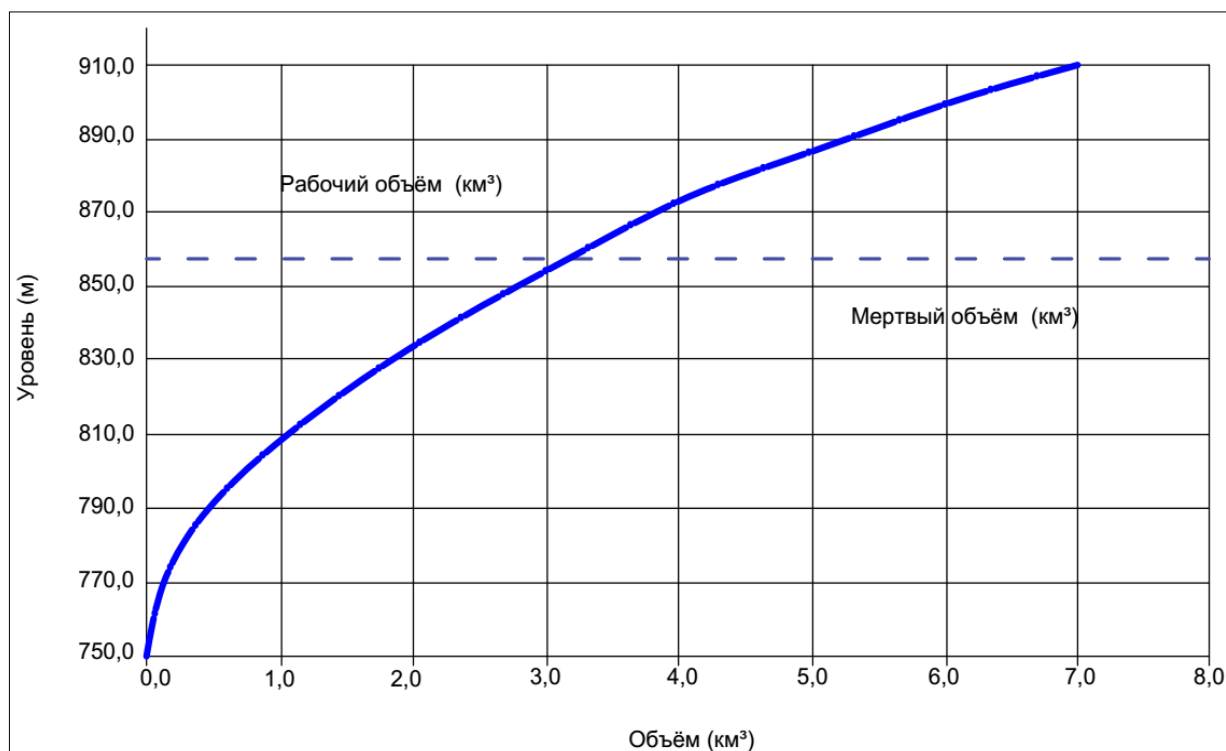


Рис. 5.5. Кривая аккумулярованного объема для Нурекского водохранилища, исходя из цифровой модели высотных отметок за 2015 год.

Сравнение кривой аккумулярованного объема за 2015 год с предшествующими данными показывает продолжающееся уменьшение как рабочих, так и не рабочих аккумулярованных объемов, указывающим на предшествующую потерю на 14 % при его заполнении, и более позднюю потерю, составляющую 50 %.

Таким образом, общий объем водохранилища составляет только 66 % от его первоначального объема при наполнении в результате отложения наносов, которое имело место в течение последних 43 лет, см. табл. 5.6

Таблица 5.6

Рабочие и мёртвые объёмы, определённые исходя из предшествующих исследований объёма водохранилища, км³

Объём	1972	1989	1994	2001	2015
Общий	10,50	8,66	7,96	8,63	6,98
Рабочий > 857 м	4,50	3,40	3,06	4,27	3,88
Нерабочий < 857 м	6,00	5,26	4,90	4,36	3,09

Следует отметить, что расчёты объёма, основанные на данных, собранных во время исследования в 2001 году, являются в некоторой степени не корректны, т.к. они фактически указывают на увеличение объёма водохранилища.

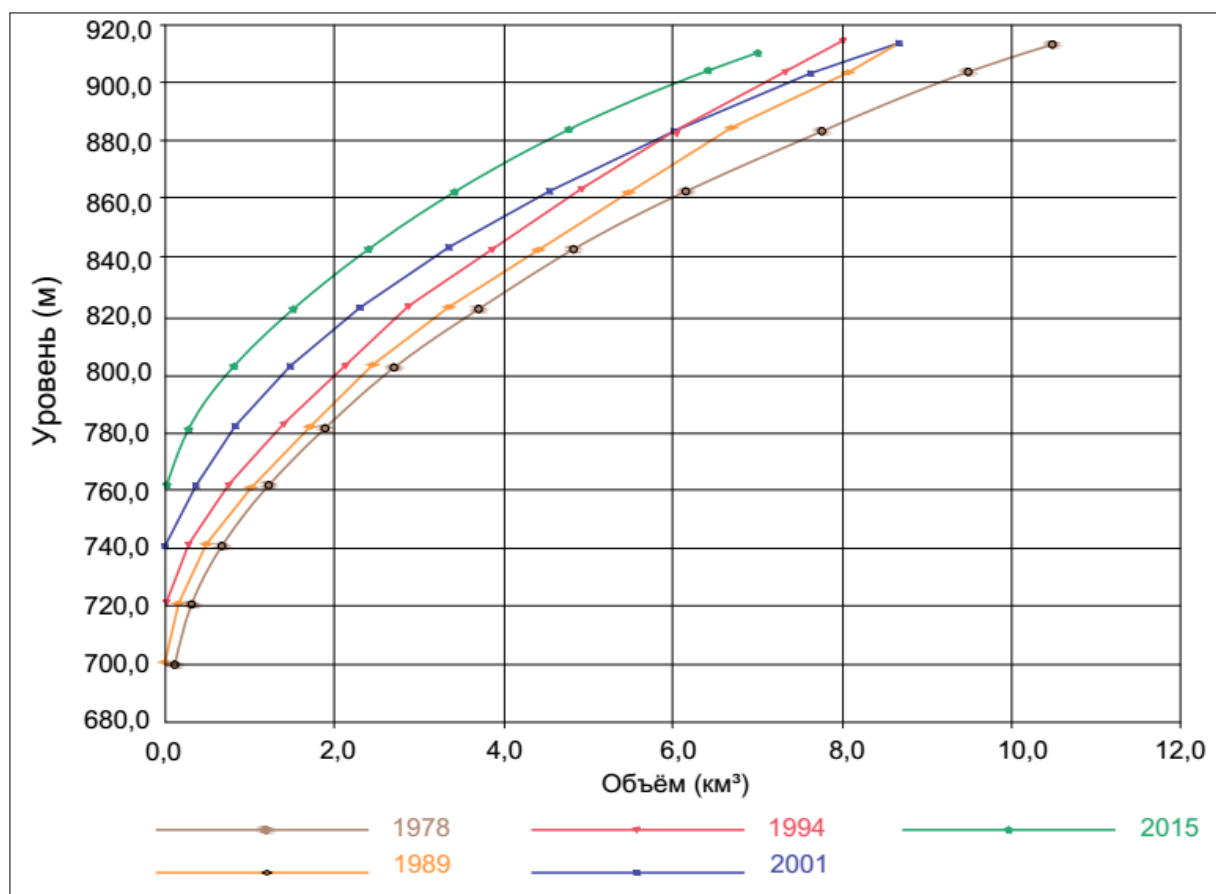


Рис. 5.6. Предшествующие кривые объёма для Нурекского водохранилища по сравнению с набором данных за 2015 год

Предшествующие кривые объёма, на которые основываются эти данные, представлены ниже вместе кривой объёма за 2015 год, расчёт которого произведён, исходя из текущего набора данных.

Как видно из кривой за 2015 год, она следует линии направления, представленной исследованиями, проведёнными в 1978, 1989 и 1994 годах. Несоответствующая форма кривой за 2001 год также чётко видна.

Анализ тренда, представленная этими данными в отношении изменения аккумулированных объёмов водохранилища, показывает, что направление, обусловленное компонентом мёртвого объёма, было более прогнозируемым по сравнению с рабочим объёмом водохранилища (рис. 5.7).

Как видно из рис. 5.7, расчёт рабочего объёма водохранилища, исходя из исследования в 2001 году, находится дальше от линии направления по сравнению с полученными расчётами за 1978, 1989, 1994 год или набора данных за 2015 год. Однако, расчёт 2001 года компонента мертвого объёма следует близ-

ко к линии направления, показывающая то, что точка данных является действительной.

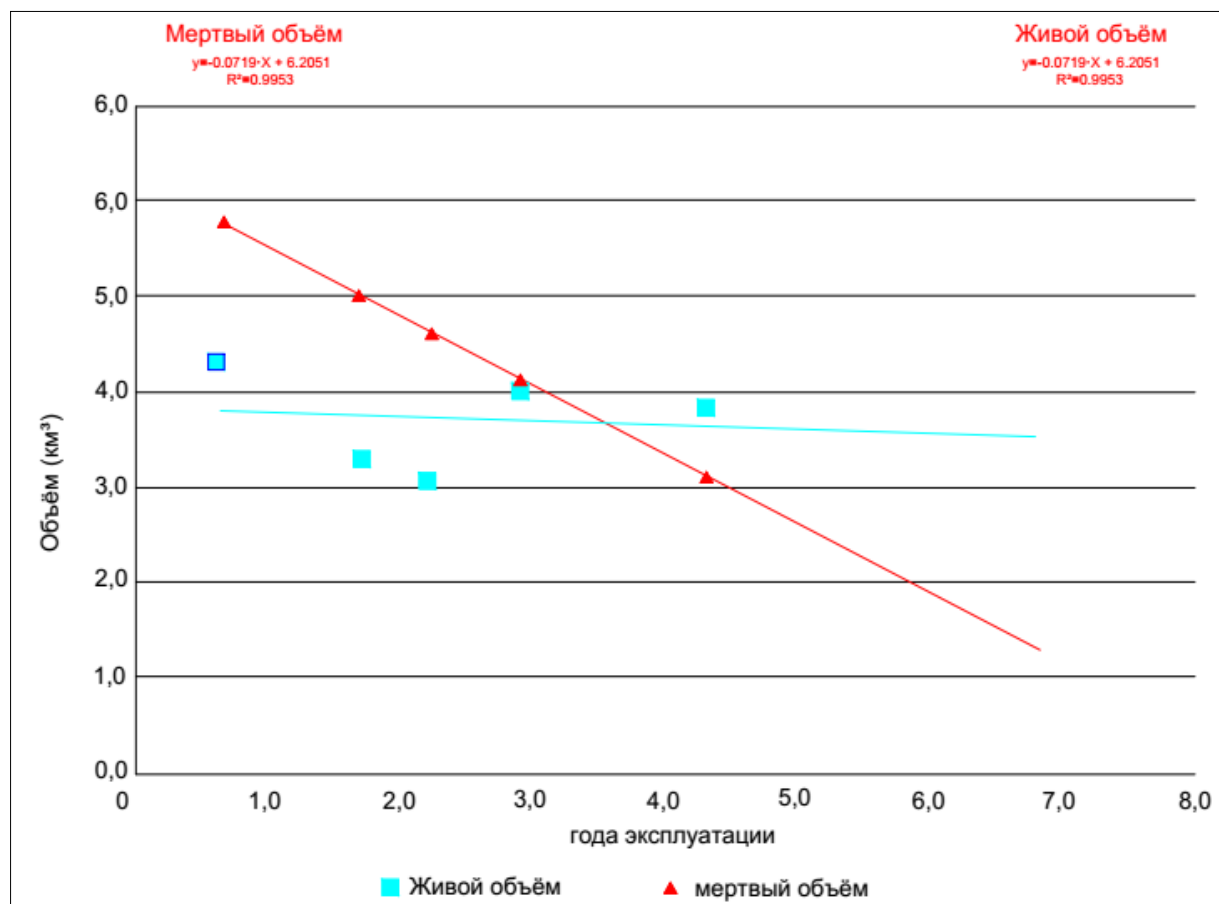


Рис. 5.7: Предшествующее изменение рабочих и мёртвых аккумулярованных объёмов Нурекского водохранилища. Источник: Данные, взятых из расчётов объёма в 1978, 1989, 1994, 2001 и 2015 гг.

Как видно из рис. 5.7, результаты расчёта рабочего объёма водохранилища, исходя из исследования в 2001 году, находятся дальше от линии направления по сравнению с полученными расчётами за 1978, 1989, 1994 год или набора данных за 2015 год. Однако компонент мёртвого объёма, рассчитанный в 2001 году, лежит близко к тренду, показывая то, что эта точка является действительной

Это показывает на то, что изменение, представленное расчётами компонента рабочего объёма в предшествующих данных (синяя трендовая линия), вероятней всего больше связано с методологией, использованной для расчёта объёмов, как и в отношении методов сбора данных, ряда исследованных сечений, так и изменений уровня воды во время исследования. Это вызывает по-

требность в соответствующем методологическом подходе к сбору данных и расчёту аккумулярованных объёмов.

Как и предполагалось, тренд, показанный компонентами рабочего и мёртвого аккумулярованного объёма, является нисходящим, хотя уменьшение, имеющее место в компоненте мёртвого аккумулярованного объёма, является намного больше уменьшения, наблюдаемого на участке водохранилища выше отметки 857 м.

Это отражает тот факт, что, как и отложение мелкозернистых наносов на самых глубоких участках водохранилища, так и размывание более песчаных отложений на нижнем течении, больше оказывают влияние на мёртвый объём водохранилища, чем они оказывают влияние на рабочий объём, который изменяется сезонно.

Тренд, показанный на рис. 5.7, был экстраполирован на будущие 25 лет и показал, что общий объём водохранилища будет уменьшен наполовину к 2035 году, хотя уменьшение, наблюдаемое в рабочем аккумулярованном объёме, может уменьшиться на 20 % в течение этого же периода времени.

Прогноз на следующие 20 лет представлен на рис. 5.8 и табл. 5.7.

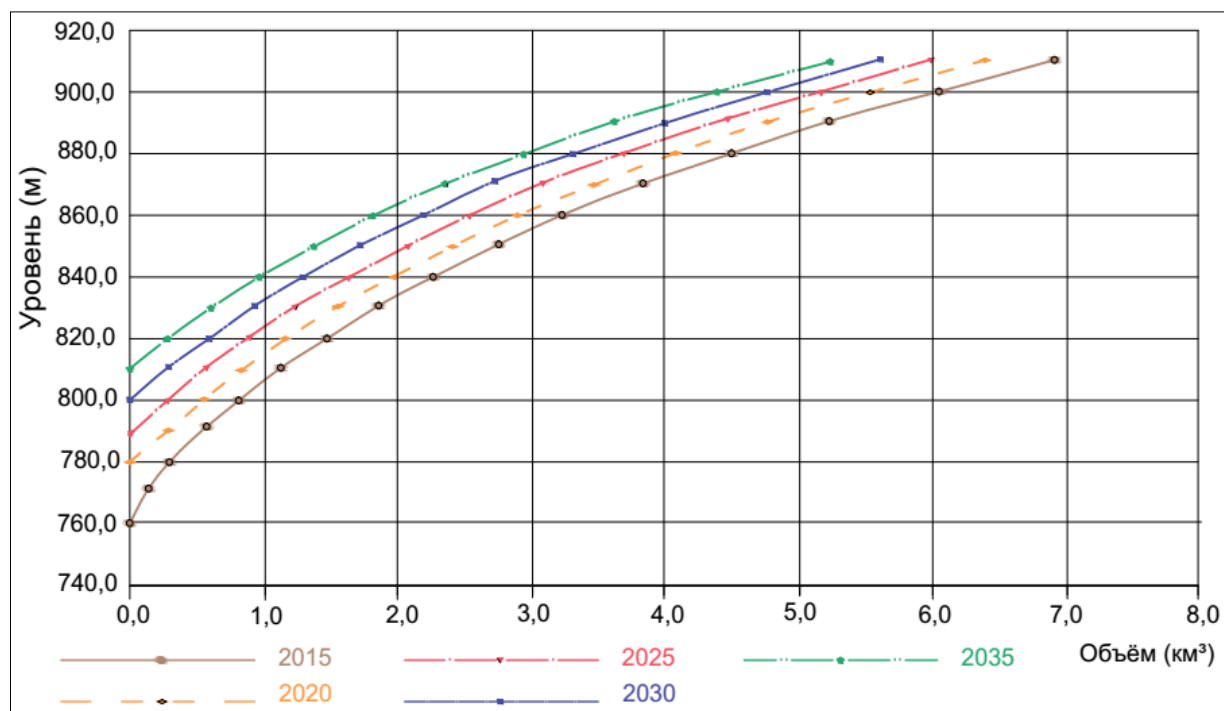


Рис. 5.8. Прогноз объёма Нурекского водохранилища на 20 лет

Таблица 5.7

**Прогнозируемое изменение объёма Нурекского водохранилища
в последующие двадцать лет (2020 – 2035 гг.)**

Год	2020	2025	2030	2035
Года после наполнения	48	53	58	63
Отметка (м)	Объём (км ³)			
910	6,355359	5,976333	5,597308	5,218282
900	5,530483	5,146947	4,763412	4,379876
890	4,760463	4,375465	3,990468	3,605470
880	4,066182	3,684041	3,301900	2,919759
870	3,468127	3,094606	2,721086	2,347565
860	2,902991	2,539343	2,175695	1,812047
850	2,417744	2,069683	1,721622	1,373561
840	1,966612	1,635170	1,303729	0,972288
830	1,555338	1,238643	0,921947	0,605252
820	1,180008	0,881084	0,582161	0,283237
810	0,836900	0,563938	0,290977	0,018015
800	0,545728	0,286771	0,027815	
790	0,292006	0,045883		
780	0,074083			

Прогноз показывают, что соединение дельтовых отложений и отложений мелкозернистых наносов в глубокой воде будут уменьшать объём на 4 % каждые пять лет, в предположении, что Рогунская плотина не построена, и, следовательно, не играет никакой роли в уменьшении переноса наносов в водохранилище. Хотя на самом деле это не так.

Выводы по пятой главе

1. Анализ данных за период 2002 – 2010 гг. на отметке НПУ 890 м показал, что зона заиления на верхних отметках приблизилась к плотине примерно на 25 км. Подошва тела заиления частицами диаметром 0,01 мм находится в 22 км от плотины. Отметки дна на приплотинном участке поднялись на 13 м относительно предыдущего периода и составляют 772 м.

2. После проведения окончательного обеспечения качества данных, батиметрический набор данных был представлен с координатной сеткой через каж-

дые 5 м с использованием алгоритма крикинга с радиусом поиска в 500 м, чтобы выстроить цифровую модель высотных отметок водохранилища. Затем эти данные с координатной сеткой были сокращены ограничивающей замкнутой линией, представляющие участки водохранилища, которые были получены из спутникового изображения, собранных, когда отметки водохранилища составляли 910,52 м.

3. Морфология, представленная цифровой моделью высотных отметок, и продольным сечением проходящая вдоль центральной оси водохранилища, показывает ложе водохранилища сразу же за верхним течением плотины, которая в настоящее время находится на отметке 752 м. Ложе имеет плоское основание отложений наносов, постепенно изменяющиеся по глубине в направлении к верхнему течению до достижения отметки в 776 м на расстоянии 16 км выше плотины. За пределами этой точки, ложе поднимается более быстро, проходя отложения наносов на дельтовых передовых пластах до тех пор, пока не достигнет верхней части дельтовых отложений на отметке 850 м примерно на расстоянии 23 км выше плотины. Эти отложения на верхних подводных пластах дельты образуют плоскую поверхность, постепенно мелеющей глубиной до достижения отметки 880 м на расстоянии 34 км вверх по течению, когда русло проходит через ряд крутых поворотов при прохождении крутого ущелья до вхождения в почти прямую речную долину, которая образует верхнюю часть водохранилища. Отметка на этой границе исследования, примерно в 60 км на верхнем течении плотины, составляла 907 м.

4. Сравнение данных из продольного сечения, проведённое при помощи цифровой модели высотных отметок за 2015 год, с предшествующими данными, включающим исходный профиль речной долины до затопления, показывает, что максимальная толщина близко к фронтальной части дельты составляют порядка 150 м, но уменьшается в направлении верхнего течения. Однако, близко к плотине, толщина наносов составляет порядка 90 м.

5. Расчёты показали, что скорость перемещения отложений на фронтальной части дельты с использованием данных за 1994 и 2015 год равна 280 м/год.

Это означает, что перемещение наносов не останавливается и фронтальная часть дельты приблизится на расстояние 5,6 км к плотине в последующие 20 лет.

6. Расчёты данных за 2015 г. показывают, что общий объём водохранилища составляет 6,98 км³, рабочий аккумулярованный объём 3,88 км³ и мёртвый объём 3,09 км³. Таким образом, полезный объём водохранилища уменьшился почти на 35 % со дня наполнения.

7. Изменение объёма состояния водохранилища, охватывающая как рабочее, так и мёртвые аккумулярованные объёмы от отметки 752 до 910,7 м в интервалах через 1 м, линейно интерполировано в интервалах 0,01 м и представлены в табличной и графической форме.

8. На период с 2015 по 2035 год спрогнозировано уменьшение на 4 % общего объёма водохранилища каждые 5 лет, принимая во внимание, что условия перемещения наносов останутся неизменившимися.

Выводы

1. Проанализирована нормативно-техническая документация по безопасности ГТС и водохранилищ.
2. Показаны проблемы изменения климата в зоне формирования водных ресурсов бассейна Аральского моря.
3. Высокие температуры и уменьшение выпадения снега приведут к таянию ледников на территории Таджикистана и Кыргызстана, что отразится на питании Амударьи, Сырдарьи и их притоков. Снижение общего объёма поверхностного стока может варьироваться от двух до пяти процентов в бассейне Сырдарьи и от 10 до 15 % в бассейне Амударьи.
4. Выяснено, что роль ледников очень похожа на роль водохранилища с сезонным регулированием, которые распределяют годовые накопления (собирают осадки зимой и отдают воду летом) и снижают их изменчивость.
5. Оценено воздействие каскадных водохранилищ бассейна реки Вахш на изменение климата окружающие среды.
6. Нурекский гидроузел расположен в Пулисангинском ущелье, которое замыкает узкую крутосклонную долину реки Вахш, вмещающую водохранилище. Ниже электростанции, по течению, долина реки Вахш резко расширяется, образуя т.н. Нурекскую котловину. Борта ущелья имеют крутизну порядка 45° и возвышаются над урезом воды в реке на 800 – 1000 м.
7. В пиковые уровни глубина воды в водохранилище варьируется от 158 м близко к плотине до 35 м на расстоянии 30 км выше, из-за наличия осадка заполнения, который сформировал 150 м толщины дельты. Эти отложения возникли в течение последних 43 лет и снизили объём водохранилища на 33 %.
8. В 2015 году было проведено обследование водохранилища двухчастотным эхолотом по трассе длиной 650 км. Площадь обследованию простиралась от плотины до 60 км вверх по течению реки с интервалами 200 м на участке 0 – 22 км, 100 м на участке 22 – 30 км и 500 м и на участке 30 – 60 км вверх по течению.

9. Создана цифровая модель рельефа водохранилища, из которой получена оценка объёма, охватывающих активный (857 – 910,7 м) и неактивный (752 – 857 м) объём. Общий объём водохранилища – 6,98 км³ из которых, 3,88 км³ – активный объём и 3,09 км³ – отложения.

10. Была измерена удельная объёмная плотность отложений в сухом состоянии 1,0 – 1,72 т/м³. Значения удельной плотности ила и глины отложений, найденные ближе к плотине, равны 1,0 – 1,2 т/м³, в то время как более песчаные осадки в области дельты кластерного значения – 1,6 т/м³. Существует также общее увеличение объёмной плотности вертикально вниз по каждому керну в результате консолидации отложений под действием силы тяжести. Поверхностные образцы, взятые из 19 донных отложений, собранных на первых 26 км выше плотины водохранилища, показывают тенденцию возрастания объёмной плотности от 3,6 мкм в отложениях на расстоянии 0,9 км до 116 мкм в районе дельты на расстоянии 25,8 км выше плотины.

11. Прогноз на 2015 – 2035 гг. показал, заиление Нурекского водохранилища будет приводить к уменьшению его объёма на 4 % каждые пять лет, при условии, что Рогунская плотина не будет построена вверх по течению.

12. Возведение Рогунского гидроэнергетического комплекса значительно снизит скорость заполнения водохранилища Нурекской ГЭС, тем самым обеспечит регулирование стока на значительный период времени, а также отсрочит необходимость реконструкции системы пропуска паводков с учётом проблем отложений, а также позволит продлить срок эксплуатации Нурекской ГЭС на срок эксплуатации Рогунской ГЭС.

В течение 115 лет эксплуатации работы Рогунской ГЭС её водохранилище будет заполнено наносами. По окончании данного цикла, водохранилище Рогунской ГЭС будет эксплуатироваться как русловая электростанция и всё регулирование будет осуществляться на Нуреке, предполагая, что общий консервативный ежегодный расход наносов будет равен 100 млн м³.

Библиографический список

1. Азимов Р. Узбекистан: Строительство Рогунской ГЭС создаёт опасность для всего региона (09.2014). UzDaily.uz. URL: <https://www.uzdaily.uz/articles-id-21270.html> (дата обращения 05.2021).
2. Алексеевский, Н.И. Формирование и движение речных наносов / Н.И. Алексеевский. – М.: МГУ, 1998. – 202 с.
3. Арсеньев, Г.С. Основы управления водными ресурсами водохранилищ / Г.С. Арсеньев – СПб.: Изд. РГГМУ, 2003. – 78 с.
4. Барышников, Н.Б. Антропогенное воздействие на саморегулирующуюся систему бассейн-речной поток-русло / Н.Б. Барышников, Е.А. Самусева. – СПб: РГГМУ, 1999. – 220 с.
5. Благодарная, Г.И. Конспект лекций по дисциплине «Гидротехнические сооружения» / Г.И. Благодарная, О.В. Булгакова. – Харьков: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2016. – 106 с.
6. Борисова Е.А. Особенности водного кризиса в Центральной Азии / История и современность, 2012, № 1. – С. 138 – 146.
7. Будущее бассейна Амударьи в условиях изменения климата / Под ред. В.А. Духовного. – Ташкент: НИЦ МКВК Центральной Азии, 2018. – 328 с.
8. Вахитов Р.Р. Переформирование берегов Нижнекамского водохранилища: дис. ... канд. геогр. наук / Р.Р. Вахитов. – Казань, 2005. – 2006 с.
9. Водный кодекс Российской Федерации №74-ФЗ от 03.06.2006.
10. ГОСТ 5180–2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
11. ГОСТ 12071–2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов.
12. ГОСТ 12248–2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
13. ГОСТ 17.1.1.02–77 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Классификация водных объектов.

14. ГОСТ 19179–73 Гидрология суши. Термины и определения.
15. ГОСТ 19185–73 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения.
16. ГОСТ 19912–2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием.
17. ГОСТ 20276–2012 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости.
18. ГОСТ 20522–2012 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
19. ГОСТ 22733–2016 Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности.
20. ГОСТ 23278–2014 Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости.
21. ГОСТ 25100–2011 Грунты. Классификация.
22. ГОСТ 25584–90 Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации.
23. ГОСТ Р 22.0.01–2016 БЧС. Основные положения.
24. ГОСТ 22.0.05–97 БЧС. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.
25. ГОСТ Р 22.0.02– БЧС. Термины и определения основных понятий.
26. ГОСТ Р 22.1.02–95 БЧС. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения.
27. ГОСТ Р 22.2.09–2015 БЧС. Экспертная оценка уровня безопасности и риска аварий гидротехнических сооружений.
28. ГОСТ Р 55260.1.1–2013 Гидроэлектростанции. Часть 1-1. Сооружения ГЭС гидротехнические. Требования безопасности.
29. ГОСТ Р 55260.1.4–2012 Гидроэлектростанции. Часть 1-4. Сооружения ГЭС гидротехнические. Общие требования по организации и проведению мониторинга.

30. ГОСТ Р 58376–2019 Мелиоративные системы и гидротехнические сооружения. Эксплуатация. Общие требования.

31. Давлатшоев, С.К. Гидрогеохимический мониторинг в основании плотины Рогунской ГЭС / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров. – Душанбе: Ирфон, 2017. – 236 с.

32. Давлатшоев С.К., Сафаров М.М. Исследование гидрогеохимической обстановки в основание плотины Рогунской ГЭС // X Межд. теплофизическая школа «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». – Душанбе, 2016. – С. 317 – 320.

33. Зиновьев, А.Т. Математическое моделирование гидрологических процессов в водохранилищах и нижних бьефах ГЭС на реках Сибири / А.Т. Зиновьев // Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Барнаул, 2014. – 44с.

34. Икромов, И.И. Прогнозирование мелиоративного состояния орошаемых земель в условиях изменения климатических факторов и развития хозяйственной деятельности / И.И. Икромов, М.М., Мирзоев.. – Душанбе: Ирфон, 2018. – 184 с.

35. Ивашкевич Г.В., Латкин А.С., Швецов В.А. И24 Регулирование речного стока / Г.В. Ивашкевич, А.С. Латкин, В.А. Швецов. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2004. – 124 с.

36. Корпачёв, В.П. Загрязнение и засорение водохранилищ ГЭС древесно-кустарниковой растительностью, органическими веществами и влияние их на качество воды / В.П. Корпачёв, А.И. Пережилин, А.А. Андрияс, Ю.И. Рябоконь. – М.: Академия естествознания, 2010. – 127 с.

37. Кошумбаев, М.Б. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений / М.Б. Кошумбаев. – М.: Инфра-Инженерия, 2018. – 240 с.

38. Крутов, Д.А. Гидротехнические сооружения / Д.А. Крутов. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 238 с.

39. Курбонов Н.Б. Динамика изменения метеорологических условий и их влияние на водные ресурсы бассейна реки Зерафшан / Н.Б. Курбонов // Дисс. ... канд. техн. наук. – Душанбе, 2019. – 156 с.

40. Курбонов Н.Б., Курбонов Ш.Б. Изменение климата за период 1961-2011 гг. на территории Таджикистана // Теоретический и научно-практический журнал «Кишоварз». – Душанбе, 2014, Т.63, № 3. – С. 83 – 85.
41. Ледники Таджикистана – Душанбе: Минприроды РТ, 2003. – 35 с.
42. Маматканов, Д.М. Влияние изменений климата на горную экосистему Тянь-Шаня (на примере Иссык-кульского и Чуйского бассейнов) / Д.М. Маматканов, Л.В. Бажанова, В.А. Кузьмиченок и др. – Б.: Нур-Ас, 2014. – 136 с.
43. Методические рекомендации по применению комплекса геофизических методов при гидрогеологических и геоэкологических исследованиях на акваториях. – М.: ГИДЭК, 2002. – 57.
44. МСН 33-01–2012 Гидротехнические сооружения. Основные положения.
45. Национальная стратегия Республики Таджикистан по снижению риска стихийных бедствий на 2019 – 2030 годы.
46. Нурмагомедов, Т.Н. Исследование фильтрации в основаниях гидротехнических сооружений для предупреждения чрезвычайных ситуаций / Т.Н. Нурмагомедов. – Химки: АГЗ МЧС России, 2020. – 160 с.
47. Нурмагомедов Т.Н., Латышенко К.П., Батырев В.В., Смирнов Б.П. Обоснование выбора оптимального метода контроля разрушения водорастворимого основания гидротехнического сооружения // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2020, № 2 (45). – С. 63 – 74.
48. Обиджони, Ш.К. Оценка заиления Нурекского водохранилища и совершенствование методов его предотвращения: дис. ... канд. техн. наук / Ш.К. Обиджони. – Москва, 2018. – 182 с.
49. Обиджони Ш.К. Гидрологический режим реки Вахш / Ш.К. Обиджон, Ф.Ш. Бобохонов, Е.М. Пашкин, З.В. Кобулиев // Известия АН РТ. Серия физ.-мат., химия, геол. и технических наук. – Душанбе, 2018, № 3 (127). – С. 145 -152.
50. Петров, Г.Н. Комплексное использование водно-энергетических ресурсов трансграничных рек Центральной Азии. Современное состояние, про-

блемы и пути решения / Г.Н. Петров, Х.М. Ахмедов. – Душанбе: Дониш, 2011. – 234 с.

51. Петров Г.Н. Исследование процессов заиления Нурекского водохранилища на реке Вахш // Гидротехническое строительство, 2008, № 10. – С. 50 – 60.

52. ПР 34-70-009–83 Правила эксплуатации заиляемых водохранилищ малой и средней ёмкости.

53. Пособие к «Методике определения критериев безопасности гидротехнических сооружений РД 153-34.2-21.342-00». М.: ЦПТИиТО ОРГРЭС, 2006.

54. Разиньков Н.Д. Геоэкологические риски возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях Воронежской области дисс... канд. геогр. Наук, Воронеж, 2006. – 191 с.

55. Рогунская ГЭС. Мировой рекорд и фокус противоречий. URL: <https://rushydro.livejournal.com/287166.html> (дата обращения 05.2021).

56. Рогунская ГЭС: великий водораздел. URL: <https://uz.sputniknews.ru/analytics/20161102/4029095/Rogun-GES-ekologia-energetika.html> (дата обращения 12.2030).

57. Савичев, О.Г. Регулирование речного стока / О.Г. Савичев, С.Ю. Краснощёков, Н.Г. Наливайко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 114 с.

58. Соболев, С.В. Безопасная эксплуатация водных объектов [Электронный ресурс] / С.В. Соболев, А.В. Февралев, И.С. Соболев. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2016 – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-5-528-00159-3.

59. Сахненко, М.А. Безопасность и эксплуатационная надёжность гидротехнических сооружений / М.А. Сахненко. – М.: Альтаир, МГАВТ, 2014. – 85 с.

60. СО 34.21.307–2005 Безопасность гидротехнических сооружений. Основные понятия. Термины и определения.

61. Соболев, С.В. Безопасность гидротехнических объектов / С.В. Соболев, А.В. Февралёв. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2018. – 204 с.

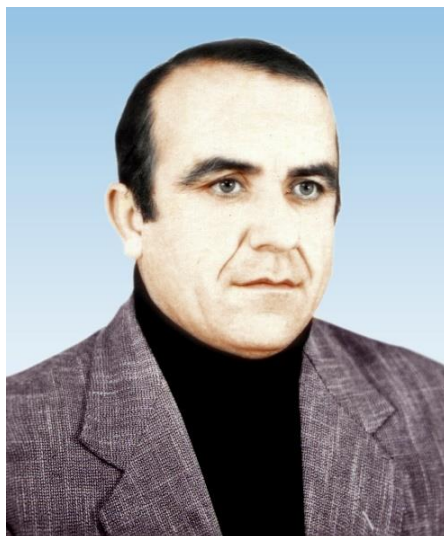
62. СТП 34.22.502 (РД 34.22.502) Правила эксплуатации заиляемых водохранилищ малой и средней ёмкости: ПР 34-70-009-83.

63. СП 23.13330.2018 Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02–85.
64. СП 58.13330.2019 Гидротехнические сооружения. Основные положения СНиП 33-01–2003.
65. СП 290.1325800.2016 Водопропускные гидротехнические сооружения (водосбросные, водоспускные и водовыпускные). Правила проектирования.
66. СП 358.1325800.2017 Сооружения гидротехнические. Правила проектирования и строительства в сейсмических районах.
67. Типовые правила использования водохранилищ (приказ Минприроды от 24.08.2010 № 330).
68. Фазылов А.Р. Управление твёрдым стоком на водных объектах горно-предгорной зоны Таджикистана: дис. ... док. тех. наук / А.Р. Фазылов. – Бишкек-Душанбе, 2016. – 391 с.
69. Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений» № 117-ФЗ от 21.07.1997.
70. Щедрин В.Н. Обеспечение безопасности и надёжности низконапорных гидротехнических сооружений: монография / В.Н. Щедрин, Ю.М. Косиченко, Д.В. Бакланова, О.А. Баев, Е.Д. Михайлов. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 283 с.
71. Юлдашева Ю.К. Опыт борьбы с заилением водохранилищ / Ю.К. Юлдашева. – Ташкент: МКВК, 2011. – 72 с.
72. Положение о декларировании безопасности гидротехнических сооружений утв. Правительством РФ № 1892 от 21.11.2020.

Сведения об авторах



Гарелина С.А.
канд. техн. наук,
доцент
rolru@mail.ru
Академия гражданской
защиты МЧС России,
Российская Федерация



Давлатшоев С.К.
канд. техн. наук,
зав. лабораторией
salomatda@list.ru
Институт водных проблем,
гидроэнергетики и экологии
Национальной академии наук
Таджикистана (НАНТ),
Республика Таджикистан



Латышенко К.П.
д-р. техн. наук,
профессор
kplat@mail.ru
Академия гражданской
защиты МЧС России,
Российская Федерация



Обиджони Ш.К.
канд. техн. наук,
проректор по науке
инновации и
международным
отношениям
obidjon.sh@mail.ru
Институт энергетики
Таджикистана,
Республика Таджикистан



Курбонов Н.Б.
канд. техн. наук,
ведущий научный сотрудник
pomvarjon_90@mail.ru
Институт водных проблем,
гидроэнергетики и экологии
Национальной академии наук
Таджикистана (НАНТ),
Республика Таджикистан