

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА**  
Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии

УДК 556:551.5+551.582+  
+551.583+551.588+504.4 (575.3)

*На правах рукописи*



**КУРБОН Номвар Бойназар**

**РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ  
ОСНОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ  
ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ  
ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание учёной степени доктора технических наук  
по специальности 2.1. Геология, геодезия, гидрология, строительство,  
архитектура (2.1.37. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия)

**Научный консультант:** Норматов И.Ш.,  
доктор химических наук, профессор,  
член-корреспондент НАН Таджикистана

**Душанбе – 2026**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Перечень сокращений и условных обозначений .....</b>	<b>5</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>7</b>
<b>ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ .....</b>	<b>11</b>
<b>Глава I. ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРНО-ПРЕДГОРНЫХ ЗОН ТАДЖИКИСТАНА.....</b>	<b>20</b>
1.1. Региональные особенности изменений климата в период глобального потепления .....	20
1.1.1. Высотная динамика изменчивости основных природно-климатических условий .....	28
1.1.2. Пространственно-сезонные особенности изменений климата в современную эпоху .....	36
1.1.3. Оценка состояния и прогнозирование климатических изменений с использованием различных моделей .....	43
1.2. Природные и антропогенные факторы загрязнения окружающей среды и климатические изменения .....	51
1.2.1. Выбросы парниковых газов и меры по защите окружающей среды и смягчению изменения климата .....	60
1.2.2. Вариация концентрации взвешенных веществ в условиях аридной и горных территорий.....	66
<b>Глава II. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ГОРНЫХ РЕГИОНОВ.....</b>	<b>76</b>
2.1. Ситуационный анализ социально-экономического развития в условиях климатических изменений.....	76
2.2. Нормативно-правовые базы в области защиты социально-экономических секторов от природно-климатических проявлений .....	89
2.3. Реализация признанных Таджикистаном межгосударственных соглашений и правовых актов, в области охраны окружающей среды .....	101
<b>Глава III. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ТАДЖИКИСТАНА .....</b>	<b>110</b>

3.1. Изучение и оценка стандартного отклонения изменения метеорологических условий в горных и предгорных районах .....	110
3.2. Влияние изменения климата на гидрологические характеристики водных артерий горных бассейнов.....	126
3.3. Исследования корреляционной связи изменения метеоусловий и динамики гляциологических ресурсов.....	138
3.4. Особенности влияния водохранилищ горно-предгорной зоны на изменение метеоусловиях прибрежных территорий.....	151
3.5. Современное геоэкологическое состояние водных объектов горно-предгорной зоны в условиях изменения климата.....	165
3.6. Анализ и оценка антропогенного влияния промышленных объектов на уровень загрязнения водных ресурсов.....	176
<b>Глава IV. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ОСНОВА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ...</b>	<b>185</b>
4.1. Эколого-географические аспекты использования ВИЭ для смягчения последствий изменение климата .....	185
4.2. Анализ и оценка климатических ресурсов для ВИЭ и потенциал их использования в условиях изменения климата.....	195
4.3. Концептуальная модель регионального обеспечения водно-энергетической безопасности в условиях изменения климата .....	208
<b>Глава V. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ, СВЯЗАННЫЕ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ.....</b>	<b>224</b>
5.1. Исследования опасных природных явлений горно-предгорной зоны, в условиях изменения климата .....	224
5.2. Экологические последствия и социально-экономический ущерб в условиях проявлений опасных климатических явлений .....	238
5.3. Ситуационный анализ рисков и их смягчение, в условиях чрезвычайных гидрометеорологических факторов.....	255

5.3.1. Анализ корреляции между возникновением стихийных бедствий и изменениями метеорологических условий .....	266
<b>Основные результаты и выводы .....</b>	<b>276</b>
<b>Рекомендации по практическому использованию результатов.....</b>	<b>280</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>282</b>
<b>Список публикаций соискателя ученой степени.....</b>	<b>314</b>
<b>Приложение 1 .....</b>	<b>325</b>
<b>Приложение 2 .....</b>	<b>329</b>
<b>Приложение 3 .....</b>	<b>334</b>

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АГ РТ	Агентство по гидрометеорологии Республики Таджикистан
АГОК	Анзобский горно-обоганительный комбинат
БАМ	бассейн Аральского моря
БРЗ	бассейн реки Зерафшан
ВИЭ	возобновляемые источники энергии
ВМО	Всемирная метеорологическая организация
га	гектар
ГГП	Гидрографическая партия
ГЭС	гидроэлектростанция
ГОСТ	Государственный общесоюзный стандарт
г/л	грамм на литр
кВт/ч	киловатт·час
КЧСиГО	Комитет по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при Правительстве Республики Таджикистан
МВт	мегаватт
МГЭИК	Межправительственная группа экспертов по изменению климата
МО	Мировой океан
МЭиВР	Министерство энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан
м/с	метр на секунды
н.у.м.	над уровнем моря
НАСА	Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства
НОАА	Национальное управление океанических и атмосферных исследований США
ОЦА	Общая циркуляция атмосферы
оз.	озеро

ОЯ	опасное гидрометеорологическое явление
ООН	Организация объединенных наций
ОНУВ	Определяемого на национальном уровне вклада
ПДК	предельно-допустимые концентрации
ПКС	Парижское климатическое соглашение
ЮНЕП	Программа ООН по окружающей среде
РКИК ООН	Рамочная конвенция ООН об изменении климата
РЭЦЦА	Регионального экологического центра Центральной Азии
р.	река
РТ	Республика Таджикистан
СНГ	Содружества Независимых Государств
США	Соединенные Штаты Америки
СГЯ	стихийные гидрометеорологические явления
хр.	хребет
ЦА	Центральная Азия
ЦУР	Цели устойчивого развития

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Изменение климата, со своими негативными последствиями, наблюдаемые во всех отраслях и направлениях человеческой деятельности, одно из наиболее актуальных и жизненно значимых проблем современности. Климатические изменения, представляющие собой комплексную междисциплинарную проблему, характерны непосредственным влиянием на экологические, экономические и социальные процессы, исследования, которые включает в себя два основных основополагающих направления исследований климатических изменений для природной среды и человека: причины и последствия.

Вклад Республики Таджикистан (РТ) в процесс рационального использования и охраны водных ресурсов в условиях изменения климата значителен. Таджикистан, в качестве субъекта международных отношений выступил с инициативами в области водных ресурсов, принятых резолюциями ООН: «Международный год пресной воды, 2003» (A/RES/55/196); «Международное десятилетие действий «Вода для жизни, 2005-2015 гг.» (A/RES/58/217); «Международный год водного сотрудничества, 2013» (A/RES/65/154); «Международное десятилетие действий «Вода для устойчивого развития, 2018-2028 гг.» (A/RES/71/222); «Международный год сохранения ледников, 2025» (A/RES/77/158) и «Десятилетие действий в поддержку криосферных наук, 2025-2034 гг.» (A/RES/78/321)». Также, Экономическая и социальная комиссия ООН для Азии и Тихого океана в ходе 81-й сессии единогласно приняла инициированную РТ резолюцию «Укрепление сотрудничества по водным ресурсам и изменению климата в целях устойчивого развития в Азиатско-Тихоокеанском регионе». Принятые мировым сообществом инициативы РТ определяют необходимость совершенствования научно-исследовательских работ, в т.ч на межгосударственном уровне, в условиях изменения климата в данной сфере.

В современной науке сложились различные подходы и предположения о процессах климатических изменений, но, к сожалению, до настоящего времени отсутствует единая теория, приемлемая для всех направлений и исследований, и чаще всего характеризуется двумя определениями – «изменение климата» и «глобальное потепление». На наш взгляд, с учетом того, что повышение температуры, т.е. потепление воздуха, прежде всего приземного воздуха атмосферы, является важнейшим составляющим и основным индикатором процесса изменения климата, то наиболее приемлемым вариантом термина, характеризующего данный процесс является использование термина «изменение климата».

Изменение климата ведет к нарушению баланса природы, сопровождающееся таянием ледников (оледенений) и вечных снегов; повышением уровня воды Мирового океана; наводнениями; засухами; штормами; стихийными гидрометеорологическими явлениями (СГЯ); опасными гидрометеорологическими явлениями (ОЯ); изменением биологического разнообразия, переселением растений и животных в благоприятные для них климатические условия; изменением круговорота воды в природе из-за нарушения обмена между теплом и влагой; дифференциацией локальной циркуляции атмосферного воздуха и так далее.

В условиях изменения климата и прогнозируемых климатических изменений, прежде всего в уязвимых районах, в том числе в горно-предгорных и засушливых зонах РТ, вопросы обеспечения водно-энергетическо-продовольственной (Нексус подход), а также экологической безопасности и адаптации сфер деятельности и здоровья человека к этому процессу приобретают особое значение. Глобальное изменение климата ускорило таяние ледников и сокращение оледенённой площади в большинстве регионов мира и привело к увеличивающейся деградации сельских земель и как следствие к ограничению жизненных возможностей.

Все возрастающие проблемы, связанные с водой и климатом, а также поиск путей их разрешения, предопределяет необходимость дальнейшей

интеграции усилий ученых, экспертов и политиков, лиц принимающие решения, а также партнеров по устойчивому развитию, в водно-климатической области.

Анализ и оценка ситуации с учетом изменения климата и загрязнения атмосферы, реализуемая на основе выбора и обоснования научно-методологической (теоретической) основы влияния климатических изменений на водные ресурсы и социально-экономическую ситуацию, а также эколого-гидрологические последствия изменения климата, экономико-географические аспекты ВИЭ, а также социально-экономические последствия СГЯ и ОЯ в РТ стали предметом настоящих исследований.

Таким образом, реализация комплекса научных и практических исследований современного состояния водных ресурсов и эколого-экономической ситуации в условиях изменения климата является актуальной задачей развития нового направления в области наук о Земле.

**Степень научной разработанности изучаемой проблемы.** Вторая половина XX столетия и начало XXI века характерны глобальным изменением климата, загрязнением атмосферного воздуха, разрушением озонового слоя, сокращением водных ресурсов, в т.ч. питьевой воды, деградацией земель и снижением плодородности почвы, загрязнением вод мирового океана, а также сокращением биологического разнообразия, перемещением экосистем и деградацией ландшафтов, порождающих глобальные экологические проблемы.

Впервые проблемы изменения климата и глобального потепления, являющиеся главными факторами современных глобальных изменений, обсуждались в ООН в 70-80-х годах прошлого века. Первое заявление о возможном влиянии увеличения выбросов парниковых газов на климат было сделано Всемирной метеорологической организацией (ВМО) в 1976 г., а в 1979 г. была проведена первая Всемирная климатическая конференция, итогом которой была принятие Всемирной климатической программы. Именно такой подход был заложен в основу программы ЮНЕП, а Международный совет по науке в

сотрудничестве с ВМО обосновали востребованность исследования различных аспектов в области климата и изменении климата.

Исследованиям в данной области посвящены труды отечественных ученых – Абдуллаева С.Ф. [83, 86-88], Абророва Х.А. [162-163, 169, 188], Амирзода О.Х. [2], Асоева Х.М. [114], Давлатшоева С.К. [246-247, 251-252, 304], Кабутова К. [229], Каюмова А.К. [46, 306-307], Мадвалиева У. [240-241], Мирзохоно-вой С.О. [134-135, 137-139, 143], Муртазаева У.И. [177], Мухаббатова Х.М. [62, 171], Норматова И.Ш. [49-51, 131-133, 136, 140, 144-145, 150-151, 204-205], Петрова Г.Н. [228], Пильгуй Ю.Н. [172], Пулатова Я.Э. [178], Саидова И.И. [38], Усмонова И.М. [284], Фазылова А.Р. [180, 280], Финаева А.Ф. [175-176], Хакимова Ф.Х. [43-45], Шаймурадова Ф.И. [193, 209] и др., и зарубежных – Armstrong R.L. [165], Bhattacharya A. [167], Bhattarai B.Ch. [164], Brun F. [166], Bruno M. [100], Buelow M.C. [214], Didovets I. [128], Evangelos P. [52], Hammer C. [212], Holben B.N. [89-92], Huggel C. [295], Kyle S.V. [69], Lenton T.M. [278], Liniger H. [99], Mokhov I.I. [225], Pörtner H.O. [276], Semenov S.M. [54], Thurman M. [127], Traufetter F. [211], Wang X. [158], Баденкова Ю.П. [95, 101], Борзенковой И.И. [210], Вендрова С.Л. [185], Жолдошевой Э. [39], Ибатуллина С.Р. [26], Касимова Н.С. [17], Коновалова В.Г. [298], Позднякова М.В. [67], Фрумина Г.Т. [258], Чуба В.Е. [27] и др.

Одновременно, с изучением теоретико-методологических основ исследования климатических изменений и его последствий на гидроресурсы и социально-экономическую ситуацию, исследованы также Законы, нормативно-правовые акты, разработанные и принятые международными институтами и РТ, в том числе международные экологические конвенции, национальные сообщения РТ по РКИК ООН, законы и программы РТ, связанные с водой, климатом и экологией.

Изучение современного состояния водных ресурсов и эколого-экономической ситуации в условиях изменения климата в горно-предгорной зоне РТ, осуществляется в научно-исследовательских и академических институтах республики, в т.ч. в Институте водных проблем, гидроэнергетики и экологии

НАН Таджикистана, Центре изучения ледников НАН Таджикистана, АГ РТ и в высших учебных заведениях страны.

**Связь исследования с программами (проектами) и научной тематикой.** Диссертационные исследования выполнялись в рамках положений программ республиканского и международного уровня: «Национальная водная стратегия РТ на период до 2040 г.» (29.11.2024, №627); «Национальная стратегия адаптации к изменению климата РТ на период до 2030 г.» (2.10.2019, №482), «Национальная стратегия РТ по снижению риска стихийных бедствий на 2019-2030 гг.» (29.12.2018, №602), «Стратегии развития «зелёной» экономики в РТ на 2023-2037 гг.» (30.09.2022, №482); «Государственная программа изучения и сохранения ледников РТ на 2010-2030 гг.» (3.05.2010, №209); Госбюджетной НИР «Мониторинг метеорологических и гидрологических условий бассейна рек, состояние оледенение, а также окружающей среды» кафедры метеорологии и климатологии Таджикского национального университета (ГР 0116ТJ00727, срок исполнения – 2016-2020 гг.); Госбюджетной НИР «Оптимизация взаимосвязи воды, продовольствия, энергии и экологии в условиях климатических изменений бассейна реки Зерафшан» (ГР 0118ТJ00865, срок исполнения – 2018-2022 гг.) выполненная по программе Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Цель исследования** – развитие теоретико-методологических основ исследования водных ресурсов горно-предгорной зоны в условиях изменения климата.

**Задачи исследования**, рассматриваемые в рамках данной диссертации, заключаются в следующем:

1. Исследование воздействия синоптико-климатологических центров действия атмосферы на изменение метеоусловий в горных и предгорных районах.
2. Изучение современного геоэкологического состояния водных объектов горно-предгорных районов, с оценкой вклада естественных и антропогенных

факторов, в том числе промышленных объектов на загрязнение атмосферы и климатических изменений в условиях аридных и высокогорных районов.

3. Оценка состояния эколого-экономической ситуации в условиях изменения климата в горно-предгорной зоне Таджикистана.

4. Выявление основных тенденций изменения метеоусловий и гидрологических величин водных артерий горных и предгорных районов.

5. Развитие методик оценки климатически обусловленных природных ресурсов – основных источников возобновляемой энергии и ключевых факторов смягчения последствий изменения климата; разработка концептуальных моделей регионального водно-энергетического безопасности в условиях изменения климата.

6. Выявление эколого-географических последствий и социально-экономического ущерба опасных климатических явлений в условиях изменения климата в горных и предгорных регионах; оценка рисков, связанных с чрезвычайными гидрометеорологическими факторами, и разработка пути их смягчения и совершенствования эффективности защиты народного хозяйства.

**Объект исследования** – водные объекты и эколого-экономическая ситуация территорий горно-предгорной зоны Таджикистана, в условиях изменения климата.

**Предмет исследования** – влияние динамики гидрометеорологических условий на формирование водных ресурсов и последствия рисков, связанных с ним, в социально-экономико-экологических областях горных и предгорных районов Таджикистана.

**Научная новизна** исследования заключается в следующем:

1. Впервые изучено влияние синоптико-климатических центров воздействия атмосферы на изменение метеоусловий в горных и предгорных районах; изучена современная законодательная база (законы, нормативно-правовые акты) и её эффективность в области гидрологических циклов и защиты социально-экономических секторов от проявления климатических изменений в Таджикистане.

2. Впервые на примере бассейна реки Зерафшан (БРЗ) изучены изменения метеоусловий характерные для горных и предгорных районов Таджикистана, за два тридцатилетних периода - 1961-1990 и 1991-2020 гг.

3. Исследованы гидрологические характеристики водных артерий горных и предгорных бассейнов в условиях изменения климата, с выявлением корреляционной связи изменения метеоусловий и динамики водных ресурсов.

4. Развита теоретико-методологические основы и технологии исследования геоэкологического состояния водных объектов, с выявлением их фактического соответствия международным стандартам.

5. Исследованы климатически обусловленные природные ресурсы - основные источники возобновляемой энергии, с выявлением ключевых факторов смягчения последствий изменения климата в горных и предгорных регионах; разработана концептуальная модель оптимального управления водно-энергетической системой в условиях изменения климата, с учетом выявленных особенностей влияния водохранилищ горно-предгорной зоны на изменение метеоусловий прилегающих территорий.

6. Впервые изучены эколого-географические последствия и экономический ущерб СГЯ, ОЯ, с установлением их связи с экстремальными гидрометеорологическими факторами в горных и предгорных районах.

**Теоретическая и практическая значимость исследования.** Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в решении задач, связанных с проблемами в области выявления влияния изменения климата на формирование водных ресурсов и социально-экологические ситуации в горных и предгорных районах Таджикистана.

**Практическая значимость** заключается в:

- разработке модели циркуляции атмосферы и сценария распространения воздушных масс по горным и предгорным территориям и их влияние на водные ресурсы;

- установлении механизмов влияния горно-предгорной орографии на изменения гидрометеорологических условий и их влияние на формирование водных ресурсов;
- мониторинге качества вод с выявлением локальных и стационарных источников загрязнения, в условиях изменения климата;
- планировании развития энергетического сектора с учетом метеорологических и гидрологических параметров в условиях глобального потепления;
- разработке инженерно-экономических рекомендаций снижения стихийных бедствий, связанных с климатом и водой;
- разработке мер адаптации снижения стихийных бедствий, связанных с климатом и водой.

**Положения, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие результаты, полученные в процессе исследования:

1. Результаты исследований влияния синоптико-климатических центров воздействия атмосферы на изменение метеоусловий в горных и предгорных районах; результаты изучения современной законодательной базы (законы, нормативно-правовые акты) и её эффективность в области гидрологических циклов и защиты социально-экономических секторов от проявления климатических изменений в Таджикистане.
2. Результаты исследований гидрологических характеристик водных артерий горных бассейнов в условиях изменения климата, и результаты корреляционной взаимности изменения метеоусловий и динамики гидроресурсов.
3. Результаты изучения изменения метеоусловий в горных и предгорных районах Таджикистана, на примере БРЗ, за два тридцатилетних периода – 1961-1990 и 1991-2020 гг.
4. Результаты исследований геоэкологического состояния водных объектов в условиях изменения климата, связанных с воздействиями антропогенных нагрузок промышленных объектов.
5. Результаты исследований климатически обусловленных природных ресурсов – основных источников возобновляемой энергии, с выявлением

ключевых факторов смягчения последствий изменения климата в горных и предгорных регионах; представлена концептуальная модель оптимального управления водно-энергетической системой в условиях изменения климата, с учетом выявленных особенностей влияния водохранилищ горно-предгорной зоны на изменение метеоусловий прилегающих территорий.

6. Результаты исследований эколого-географических последствий и экономического ущерба СГЯ, ОЯ, с установлением их связи с экстремальными гидрометеорологическими факторами в горных и предгорных районах.

**Степень достоверности результатов диссертации** обеспечивается применением существующих методов и средств исследований, подтвержденных многолетними результатами отечественных и зарубежных ученых; использованием статистических и математических методов обработки данных метеорологических станций и гидрологических постов, традиционными и широко используемыми методами интерпретации данных и зависимостей; использованием дифференциально-интегральных методов описания климатических характеристик для обобщения, обработки и определения динамики гидрометеорологических данных горных и предгорных районов; применением методов статического анализа и критериев статистической оценки результатов, подтвержденных необходимой повторяемостью полученных результатов и сопоставлением с данными других авторов; одобрением, в процессе обсуждения, на научных семинарах и конференциях различного уровня.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** В соответствии с целью, задачами и полученными научными результатами диссертация соответствует следующим пунктам областям исследования: 1) Теоретические и методологические основы гидрологии, гидрографии, речного стока, лимнологии, русловых и устьевых процессов, гидрохимии, гидроэкологии; 2) Закономерности глобального водообмена, формирования, движения и трансформации вещественных и энергетических компонентов водных потоков на планетарном уровне, другие аспекты глобальной гидрологии; 8) Гидрохимическое состояние водных объектов суши в различных природных условиях,

влияние хозяйственной деятельности на химическое загрязнение рек, прудов, озер и водохранилищ, формирование и изменение качества воды; 10) Разработка научных основ обеспечения гидроэкологической безопасности территорий и хозяйственных объектов, экономически эффективного и экологически безопасного водопользования и водопотребления, планирования хозяйственной деятельности в областях повышенного риска опасных гидрологических процессов, защиты водных объектов от истощения, загрязнения, деградации, оптимальных условий существования водных и наземных экосистем.

**Основная информационная база.** Информационной базой настоящей диссертационной работы являются научные труды: книги, статьи периодических научных журналов, диссертации и монографии, знания, полученные в национальных и международных тренингах и семинарах, посвящённых исследованиям влияния динамики гидрометеорологических условий на формирование водных ресурсов и последствия рисков, связанных с ним, в социально-экономико-экологических областях горных и предгорных районов РТ, а также архивные данные АГ РТ, КЧСиГО РТ и базовые документы Агентства по статистике, документы и отчеты международных организаций в том числе, соглашений по смягчению климатических изменений (РКИК ООН, Киотский протокол, Парижское климатическое соглашение (ПКС) и др.), оценочные доклады МГЭИК и Национальные сообщения РТ по РКИК ООН и др.

**Личный вклад соискателя учёной степени.** Диссертация является результатом исследований автора в Институте водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана и состоит в выборе задач исследований и путей их решения, проведения полевых и экспедиционных работ, анализе и обработке полученных результатов и в разработке рекомендаций, методическом обеспечении решения задач диссертации, в разработке методов наблюдений и обработке статистических данных, а также их внедрения в научно-исследовательские и мониторинговые работы.

Участие автора в качестве члена: в Технической рабочей группе по созданию Региональной системы раннего оповещения и взаимного

информирования об угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций (Центральная Азия); Региональной рабочей группы по разработке Региональной стратегии по адаптации к изменению климата в Центральной Азии в рамках инициативы «Зелёная Центральная Азия», Межведомственной рабочей группе по разработке плана реализации «Национальной стратегии адаптации к изменению климата Республики Таджикистан на период до 2030 г.», Межведомственной рабочей группе по разработке плана реализации «Национальной стратегии Республики Таджикистан по снижению риска стихийных бедствий на 2019-2030 гг.», принимал непосредственное участие в процессе разработки и принятия решений, рекомендаций в области, климата, водных ресурсов, экологии и полученные результаты легли в основу диссертационных исследований.

**Апробация и внедрение результатов диссертации.** Основные положения диссертации доложены и обсуждены на Regional Workshop «Sustainable development of Asian countries, water resources and biodiversity under climate change» (19-23.08.2013, Barnaul, Russia); Международной конференции «Горные угрозы-2013: Природные катастрофы, изменение климата и вода в горных районах» (16-18.09.2013, Бишкек, Кыргызстан); VIII-я и XI-я Международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность» (25-27.06.2014, 15.12.2017, Москва, Россия); V-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Инновации в сельском хозяйстве» (16-17.12.2014, Москва, Россия); International Applied Science Conference «Hydrometeorological and Environmental security of marine activity» (16-17.10.2015, Astrakhan, Russia); VIII<sup>th</sup> and X<sup>th</sup> International Siberian Early Career GeoScientists Conference (13-24.06.2016, 13-17.06.2022, Novosibirsk, Russia); Международной научно-практической конференции «Водные ресурсы Центральной Азии и их использование» (22-24.09.2016, Алматы, Казахстан); Всероссийской научной конференции «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития» (20-22.03.2017,

Москва, Россия); International Conference «Risk Assessment and Risk Management of Water Resources in Transboundary Rivers Basins of the Central Asia» (26-27.09.2018, Dushanbe, Tajikistan); XXIX, XXXI и XXXII молодежных научных школах-конференциях «Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии» (1-5.10.2018, 5-9.10.2020, 12-15.10.2021, Петрозаводск, Россия); VI Международной конференции «Глобальные энергетические и экономические тренды» (21.12.2018, Москва, Россия); Международной научно-практической конференции «Комплексное использование водно-энергетических ресурсов Центральной Азии в условиях глобального изменения климата» (3-4.12.2020, Душанбе, Таджикистан); Международной конференции «Климатические риски и космическая погода» (14-17.06.2021, Иркутск, Россия); VIII международной научной конференции «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли» (14-17.09.2021, Красноярск, Россия); Международной научно-практической конференции «Современное состояние ледников, оледенение и криосфера в процессе глобального потепления» (25-26.11.2021, Душанбе, Таджикистан); Международной научно-практической конференции «Гидрометеорологические исследования в условиях изменения климата: актуальные проблемы и пути их решения» (3-4.06.2022, Ташкент, Узбекистан); Международной научно-практической конференции «Международное сотрудничество стран бассейнов трансграничных рек в связи с влиянием климата на ледники и гидротехнические ресурсы Центральной Азии» (27-28.05.2023, Душанбе, Таджикистан); Международной научно-практической конференции «Водные ресурсы, инновация, ресурсо- и энергосбережения» (6-7.10.2023, Душанбе, Таджикистан); Международной конференции высокого уровня по сохранению ледников, параллельное мероприятие: «Ледники и наука» (29-31.05.2025, Душанбе, Таджикистан); Ежегодных научно-практических конференциях, посвященных Дню науки за 2014-2025 гг.

**Публикации по теме диссертации.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 70 публикациях, в т.ч. 32 статьях в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан; 11 статьях в

иностранных журналах, входящих в список ВАК Российской Федерации; 1 статье в базе данных SCOPUS, 45 в изданиях, индексируемых системой РИНЦ; более 60 работах в изданиях ResearchGate, ORCID и Google Scholar; 19 статей в международных и республиканцах конференциях; в 4 монографиях. Получены 4 свидетельства на изобретения (патенты Республики Таджикистан).

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 338 страницах компьютерного текста, из них 281 страницы основного текста, и состоит из введения, 5 глав, основных выводов, рекомендаций и приложений. В работе содержатся 97 рисунков и 58 таблиц. Список использованной литературы включает 307 наименований, в том числе 94 на иностранных языках.

**Благодарность.** Автор выражает искреннюю благодарность доктору технических наук, профессору Фазылову А.Р., кандидату физико-математических наук, доценту Низомову З., кандидату технических наук, доценту Мирзохоновой С.О. и кандидату технических наук, доценту Давлатшоеву С.К. оказавшим содействие в процессе редактирования и доработки диссертационной работы.

# **Глава I. ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРНО-ПРЕДГОРНЫХ ЗОН ТАДЖИКИСТАНА**

## **1.1. Региональные особенности изменений климата в период глобального потепления**

Климатическая система земного шара состоит из атмосферы (воздух), гидросферы (вода), криосферы (лед), литосферы (земная кора) и биосферы (живая природа), а также аэрозоли, поступающие в атмосферу и солнечное излучение, поступающие на поверхность, которые находятся в постоянном взаимодействии. Влияние составляющих данной системы, в целом, находится в равновесии, но она является динамической системой и претерпевает изменения на протяжении десятков, тысяч, миллионов и миллиардов лет. В этой сложной системе, под изменением климата понимают направленное, прогрессивное его улучшение или ухудшение, в ходе которого происходит закономерное во времени изменение метеорежима. Направленное изменение метеоусловий возможно при изменении климатообразующих факторов. На сравнительно небольших отрезках времени нет возможности установить определенную направленность в изменении метеопараметров. Понятие «изменение климата» с полным основанием можно применить только к большим промежуткам времени.

Однако, исследования показывают, что климат земного шара изменился со времени формирования Земли как планеты до наших дней и будет меняться, и этот процесс является формирования и эволюции планеты. Однако, до сих пор не существует единого и общепринятого мнения о проблеме изменения климата, поскольку исследования дают различные результаты и естественно, мнения ученых совершенно разные. Подобно этому, ученые и специалисты метеорологии, климатологии, экологии и других областей, связанные с проблемами изменения климата, считают, что он является комплексной проблемой, и его изменения имеют множество причин и факторов. Поэтому, взгляды ученых на процесс глобального потепления разнообразны: некоторые из них

считают, что изменение климата вызывает глобальное потепление климата или, что эволюция планеты не закончилась и продолжается, а другая группа считает, что глобальное потепление климата зависит от ряда космическо-природных факторов (изменение размеров, рельефа и взаимного расположения материков и океанов, изменение солнечной активности, изменения параметров орбиты и оси планеты, изменение прозрачности и состава атмосферы, изменение отражательной способности поверхности (альбедо), изменение количества тепла, имеющегося в глубинах океана, вулканическая активность и антропогенное воздействие).

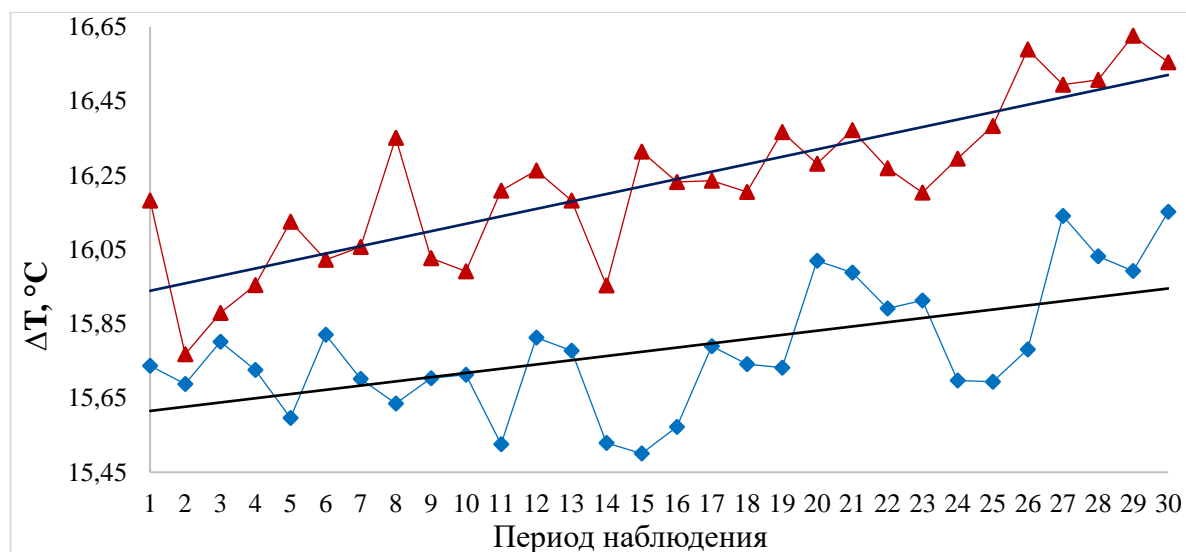
Несмотря на различные взгляды ученых и экспертов, а также причины и факторы, вызывающие климатические изменения, изменение климата и важнейшего индикатора данного процесса, т.е. «глобального потепления климата остается одной из нерешенных вопросов и неразгаданной проблемой современности» [1-2]. В этом случае важно упомянуть, что основным индикатором изменения климата и глобального потепления является увеличение количества экстремально жарких дней в течение года, а по данным [1], количество дней с температурой  $50^{\circ}\text{C}$  увеличилось вдвое по сравнению с 80-ми годами прошлого столетия. Если посмотрим на эти доказательства, то увидим, что с 1980 по 2009 год температура  $50^{\circ}\text{C}$  в течение года в общей сложности составляла не более 14 дней. Однако, за 2010-2023 гг. этот показатель достигал 26 дней в году. Такая тенденция глобального потепления наблюдается и на территории РТ, именно в 1944, 1947, 1977, 1984, 1994, 1997, 2006 и 2008 гг. во многих метеостанциях южной части республики было зафиксировано большое количество дней с температурой выше  $40^{\circ}\text{C}$ . Приведенные автором сравнительные расчеты показывают, что если количество таких дней в Шахритусе равнялось 273 дням в период 1980-1989 гг., то за 1990-99 гг. оно достигло 318 дней, а соответственно, за эти декады в Бохтаре – с 41 до 71 дня, в Пяндже – с 83 до 126 дней, в Душанбе – с 20 до 25 дней (АГ РТ)]. Наряду с этим, согласно РЭЦА, «к 2030 г. ожидается повышение температуры в большинстве районов РТ, и по сравнению со средним показателем за 1961-1990 гг. она поднимется до  $+0,2-$

+0,4°C» [3]. Также, согласно региональным сценариям изменения климата [3-4], к 2050 году среднегодовая температуры по всем территориям республики повысится на +1,8-+2,9°C. В то же время, «наблюдается ее повышение, особенно в жаркое время года, в некоторых районах РТ достигается на +4,9°C. В холодное время максимальная значения повышения температуры увеличилась примерно на +2°C, как летом, так и зимой она повышалась даже в горных системах» [5].

Более того, в последние годы (лето 2023 г.), внезапное роста температуры и пересечение всех ожидаемых показателей и результатов вызвало беспокойство жителей земного шара. Потому что, по данным ВМО [4, 6], если период 2012-2021 гг. были самым теплым декадам в истории инструментальных измерений, зафиксированных метеовеличинами, а с 1850 г. по сегодняшнее время самыми теплыми годами были 1998, 2016 и 2020 гг., но повышение температуры превысило это значение в июле 2023 г. Хотя среднеглобальная температура в 2022 г. увеличилась на 1,15°C по сравнению со средней температурой за 1850-1900 гг., а в июле 2023 г. она достигла на 16,95°C, что выше предыдущего температурного рекорда июля 2019 г. на 0,33°C.

Согласно данным, обработанные автором, установлено, что среднемноголетнее значение температуры (июль, 1943-2023 гг.) составляет 15,94°C, а наиболее низкая температура была зафиксирована в июле 1956 года (15,45°C) а самая высокая – в июле 2023 года (16,95°C). Данные за 80-летний период наблюдений температуры имеют глубокий линейный рост с величиной тренда  $R^2 = 0,804$ . При этом, с 1990-х гг. среднемесячная температура ниже среднемноголетнего значения не выявлена. Соответствующими расчетами [6-8] установлено, что среднемесячное значение температуры воздуха в (1998 г. – 16,35°C), (2016 г. – 16,59°C), (2019 г. – 6,63°C), (2022 г. – 16,61°C), (2023 г. – 16,95°C) имело тенденцию многократного увеличения, по сравнению со среднемноголетним значением за период 1943-2023 гг. С учетом, того, что в качестве стандартных критериев оценки климатических изменений используются разные тридцатилетние периоды, то на рис. 1.1 показаны линейные тренды

изменения средней температуры июля за два тридцатилетних периода – 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.



**Рис. 1.1.** Линейный тренд повышения температуры в июле 1961-1990 гг. (▲) и 1991-2020 гг. (◆)

Линейный тренд повышения температуры за июль месяца (1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.) (рис. 1.1) характерен для второго тридцатилетнего периода, тогда как величина тренда повышения июльской температуры для обеих тридцатилетних периодов равна  $R^2 = 0,337$  и  $R^2 = 0,690$  соответственно.

Особо важно отметить, что такая тенденция повышения температуры наблюдается не только в континентальных районах Земли, но и на поверхности МО, т.е. верхняя поверхность морей и океанов нагревается, данный процесс способствует усилению глобального потепления и нарушает обмен между теплом и влагой. Статданные показывают, что «среднеглобальная температура поверхности моря на  $0,51^{\circ}\text{C}$  выше средней температуры за 1991-2020 гг., а в июле 2023 г. температура поверхности воды в Северной Атлантике была на  $1,05^{\circ}\text{C}$  теплее средней температуры поверхности МО» [9]. Разумеется, повышение температуры поверхности МО зависит от появления волн тепла, поскольку в этот период на юге Гренландии, в Лабрадорском, Карибском и Средиземноморском бассейне появились волны тепла, а на восточной стороне экваториальной части Тихого океана условия для формирования феномена Эль-Ниньо расширились.

Отсюда хорошо видно, что если несколько десятилетий назад произошло резкое климатическое изменение в том или ином уголке земного шара, то в последние годы данный процесс распространилось от горных вершин до глубины океана, и количество засух, наводнений и волн жары значительно возросло, а также сокращение морского льда Антарктики достигло рекордного предела. Согласно докладам ВМО о состоянии глобального климата [4, 10-12], изменение климата произошло в полном масштабе суши, океана и атмосферы, и единственным фактором, провоцирующим такую изменчивость, является выброс парниковых газов, достигающий рекордного уровня. Несмотря на охлаждающий эффект феномена Ла-Нинья, за 2020-2023 гг. наблюдается явное повышение глобальной температуры. Хотя глобальное потепление с каждым годом усиливается, последние три года (2020-2022 гг.) холодные волны Ла-Нинья регулярно возникают и влияют на состоянии глобального климата. Несмотря на глубокое влияние Ла-Нинья на потепления климата, которое обычно приводит к понижению температуры и охлаждению морей и океанов, 2022 г. зафиксирован как один из самых теплых в истории метеонаблюдений. По мнению ученых, именно под воздействием трёхкратного похолодания Ла-Нинья среднелобальная температура в 2022 г. выросла примерно на  $1,15^{\circ}\text{C}$  по сравнению со средней температурой за 1850-1900 гг.

Согласно данным ВМО о глобальном сезонном климате [13], в котором постоянно обновляются и публикуются новые информации о взаимодействии основных факторов, вызывающих климат, таких как Северо-Атлантическое колебание, Арктическое колебание и Диполь Индийского океана, впервые за 7 лет (2015-2021 гг.) условия Эль-Ниньо сформировались в тропической части Тихого океана, вызывает резкое повышение глобальной температуры и нарушение погодных условий. По информации [13-15], ВМО спрогнозировало продолжение явления Эль-Ниньо во второй половине 2023 года с вероятностью 90%, остается Эль-Ниньо-Южный, колебания в нормальном состоянии – 10%, а возникновение Ла-Нинья с вероятностью 0%. Более того, по оценке ВМО [13-15], существует вероятность того (98%), что глобальная температуры воздуха

сохранится на уровне рекордно высокой температуры в течение 2023-2027 гг., потому что метеоданные показывают, что в течение последних 50 лет каждый из следующих пятилетий теплее, чем предыдущие пятилетия.

Отсюда становится ясным и метеоданные также показывают, что для характеристики изменения атмосферной циркуляции, которая играет важную роль в формировании климатической изменчивости, используются различные индексы, которые подбираются, исходя из синоптико-климатологических представлений для характеристики поведения центров действия атмосферы, или определяются статистически, на основе разложения геопотенциала на естественные ортогональные составляющие. Поэтому, в конце прошлого столетия в систему атмосфера-океан были идентифицированы 5 основных индексов, представляющих собой довольно резкие переключения одной фазы на другую: «1) Северо-Атлантические колебания, NAO; 2) Арктические колебания, AO; 3) Тихоокеанские колебания, NPO; 4) Эль-Ниньо или Южная осцилляция, ENSO; 5) Антарктическая полярная волна» [16]. Эти колебания можно рассматривать как ключевые элементы крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана, оказывающие существенное влияние на погоду и климат земного шара.

Здесь особо важно отметить, что Центральная Азия (ЦА) расположена в регионе, где климатические условия и тенденции района тесно связаны с такими глобальными климатическими явлениями, как ENSO и NAO [16-17]. Так, представляется, что сильные проявления ENSO сопровождаются повышенной вероятностью засух на юге региона и в окрестности Каспийского моря, тогда как выраженная отрицательная фаза NAO приводит к увеличению осадков в южных районах Европы, Средиземноморском бассейне и в ЦА.

Согласно авторов [14-15], феномен Эль-Ниньо, наряду с повышением глобальной температуры, обычно приводит к следующим климатическим изменениям в различных частях планеты, таким как усиление засушливых условий в южной части Африки и в некоторых районах Сахары, увеличение осадки в экваториальной части Восточной Африки, уменьшение сумма осадков в Центральной, Южной и Юго-Восточной Азии, увеличение количества осадков на

восточных и центральных островах Тихого океана и на окраинах горного массива Гиндукуш, усиление засух на севере Бразилии, усиление проливные дожди в Центральной Америке, на севере Перу, Эквадор, а также в северных и юго-восточных районах Северной Америки. Как уже вышесказанное, в отличие от Эль-Ниньо, Ла-Нинья обычно имеет противоположный эффект, т.е. снижение глобальной температуры, последствия которого таковы: в южной части Африки осадки превысят норму, в экваториальной части Восточной Африки увеличатся засушливые условия, в Центральной, Южной и Юго-Восточной Азии осадки превысят норму, на севере Бразилии осадки увеличатся по сравнению с нормой, на побережье центральной и восточной части Тихого океана, засуха условий превысит норму и в бассейне Карибского моря сезон ураганов усилится.

Вышеприведенные слова и анализ действительно подтверждают, что климат ЦА формируется и колеблется, как часть климата земного шара под действием общей циркуляции атмосферы и природно-климатических феноменов, особенно ENSO и NAO. Однако географо-положение и орографии региона также оказывают тесное влияние на формирование и изменение климата, и процесс климатического изменения в данном регионе под влиянием вышеназванных факторов отличается от климатических изменений в других частях планеты. Согласно докладу МГЭИК [18], что к концу прошлого века среднегодовое значение глобальной температуры может увеличиться на 1,8-4°C. В сценарии A1B, который подразумевает сбалансированное использование всех источников энергии, ожидается повышение глобальной температуры на 2,8°C. Это значительно превышает международное согласованное пороговое значение повышения температуры в 2°C. Однако, анализ результатов показывают, что в ЦА потепление происходит еще более ускоренными темпами: по сценарию A1B, где ожидается повышение температуры на 3,7°C, т.е. приблизительно на 30% больше, чем среднемировое значение (МГЭИК).

Поскольку ЦА имеет протяженную и орфографически сложную территорию, с обширными низменностями и высокими горными вершинами на юге и

юго-востоке, поэтому ее территории характеризуется многообразием климатических условий. То есть, по мнению одного из первых исследователей проблемы климата региона Бугаева В.А., территорию ЦА можно выделить на 5 климатических зон: «1) зона климата пустынь, 2) зона климата сухих степей, 3) зона климата предгорий, 4) зона горного климата и 5) зона климата высокогорной пустыни» [19]. По расчетам Бугаева В.А. [19], в холодное и теплое полугодия климатообразующие факторы ЦА имеют следующие проценты:

**Таблица 1.1.** Климатообразующие факторы ЦА в холодное и теплое полугодия

Холодное полугодие	%	Теплое полугодие	%
Юго-Западная периферия антициклон	23,5	Юго-западная периферия антициклон	24,5
Северное вторжение	8,4	Северо-Западное вторжение	22,5
Северо-западная вторжение	15,9	Западное вторжение	24,8
Западное вторжение	12,7	Юно-Каспийский циклон	4,5
Юно-Каспийский циклон	10,8	Северное вторжение	11,1
Волновая деятельность	6,1	Термическая депрессия	7,5
Мургабский циклон	8,4		
Верхне-Амударьинский циклон	4,1		

Параллельно с таблицей расчетов [19] по воздействующим течениям на климатическую систему ЦА для холодного и теплого периодов года, на рис. 1.2 наиболее подробно показаны основные процессы, влияющие на климат региона.



**Рис. 1.2.** Основные климатические системные процессы, воздействующие на климат ЦА

Несмотря на такую климатическую систему, климат стран ЦА имеет общую региональную черту – высокую континентальность, характеризующуюся большой амплитудой колебаний температуры воздуха в году и малым количеством осадков. Однако, в отличие от других стран ЦА, в РТ наблюдается большое разнообразие климатических условий, связанных с высотной поясностью и географической изоляцией, что представляет большой интерес с точки зрения изучения и моделирования изменения климата. Влияние основных климатообразующих факторов на территорию республики таково, что на большей части территории учитываются основные климатические особенности, такие как засуха, высокая температура, малоснежность и континентальность, наблюдаются большие амплитуды всех климатических показателей в течение многих лет и в течение года.

#### **1.1.1. Высотная динамика изменчивости основных природно-климатических условий**

На всей территории ЦА, как другие регионы планеты, изменение климата характеризуется повышением средних температур, изменением уровня осадков и сдвигов экстремальных климатических факторов. Здесь рост температуры происходило неравномерно, а на большей части территории ЦА самыми высокими темпами температура повышается в весенний период (табл. 1.2). Наиболее высокие темпы роста среднегодовой температура отмечены на территории Туркменистана. Согласно МГЭИК, «со второй половины прошлого столетия температура приземного слоя атмосферы и океана повышается, и по оценкам, последние 40 лет являются самыми теплыми годами в Северном полушарии за 1400 лет» [20]. Хотя повышение приземной температуры на суше и в океане за 1880-2012 гг. колеблется в пределах 0,65-1,06°C, только в последние 50 лет наблюдается более быстрая тенденция потепления. Также, по Докладе по климатической науке [21], глобальная среднегодовая температура увеличилась ~1,0°C за 115 лет (1901-2016 гг.). Следовательно, этот период сейчас является самым теплым в истории современной человеческой

цивилизации. В последние несколько лет также наблюдались рекордные экстремальные погодные условия, связанные с климатом, а последние три года (2014-2016 гг.) были самыми теплыми годами за всю историю регистрации данных приборных измерений об изменении климата на земном шаре. По данным ВМО [22], «прошлый век был самым теплым за последние тысячелетия» [5], и ещё согласно данному климатическому докладу [21] ожидается, что «эти тенденции сохранятся в течение более удаленного периода времени и в большем масштабе» [5].

В связи с тем, что повышение температуры на суше и в Северном полушарии несколько выше, чем на уровне воды и в Южном полушарии, следовательно, интенсивность изменения климата в ЦА значительно превышает среднюю скорость, наблюдаемую в мировом масштабе. Разность величины изменения годовых осадков по сравнению с данными температуры, различающиеся по всему региону, включая горные районы ЦА, значительная (табл. 1.2), что подтверждается данными «Института глобального климата и экологии» («Росгидромет») и Климатическим центром ВМО для Северной Евразии [23] линейных трендов среднегодовой и сезонной температуры за 1976-2022 гг.

**Таблица 1.2.** Скорость роста (коэффициент линейного тренда, С/10 лет) среднесезонных температур по территориям стран ЦА за период 1976-2022 гг.

<b>Страна</b>	<b>Зима</b>	<b>Весна</b>	<b>Лето</b>	<b>Осень</b>	<b>Год</b>
Казахстан	0,26	0,65	0,22	0,23	0,33
Кыргызстан	0,27	0,48	0,13	0,12	0,25
Таджикистан	0,19	0,35	0,07	0,09	0,20
Туркменистан	0,47	0,48	0,38	0,24	0,38
Узбекистан	0,39	0,58	0,31	0,15	0,34

**Источник:** Северо-Евразийский климатический центр.

Анализ результатов (табл. 1.2) показывают, что скорость роста среднесезонной температуры за каждой декады по территориям стран ЦА в четверти прошлого века и четверти текущего столетия составляет 0,32°C для зимы, 0,51°C для весны, 0,22°C для лета и 0,17°C для осени. Отсюда ясно, что экстремальное потепление климата наблюдается во всех странах, причисленных в табл. 1.2, и тенденция жаркой зимы и засушливой лета в большинстве

районов ЦА приводит к деградации ледников и оледенениях. Также результаты показывают, что в прошлом века рост среднегодовой температуры менее, чем на  $1^{\circ}\text{C}$  сократило площадь ледников и оледенениях ЦА более чем на треть, и в этом периоде также возрос риск ОЯ [24]. Разумеется, изменение климата может повлиять на количество и качество водных ресурсов и их сезонную динамику, сельское хозяйство и здоровье человека, а также может усугубить существующие проблемы, такие как опустынивание, деградация экосистем и природных ресурсов. Для БАМ, испытывающих дефицит водных ресурсов, проблемы, связанные с изменением климата и водными ресурсами, играют ключевую роль в экономико-промышленном развитии и обеспечении будущих жизненных потребностей, где реки значительно ниже населенных пунктов и обрабатываемых земель, ощущается недостаточное увлажнение, а в большинстве случаев и недостаток влаги.

Метеоданные горных районов показывают, что «тенденцию потепления, т.е. за последние 60-70 лет температура в горных районах ЦА повысилась, в среднем, на  $0,3^{\circ}\text{C}$ - $1,2^{\circ}\text{C}$ » [25]. Также, по данным температурных наблюдений с помощью метеоприборов, основной причиной климатических изменений в регионе является повышение температуры приземной атмосферы, также повышение среднегодового значения температуры в течение каждого десятилетия на территории стран региона следующий: в Узбекистане –  $0,29^{\circ}\text{C}$  (1950-2005 гг.); в Казахстане –  $0,26^{\circ}\text{C}$  (1936-2005 гг.); в Туркменистане –  $0,18^{\circ}\text{C}$  (1961-1995 гг.); в Таджикистане –  $0,10^{\circ}\text{C}$  (1940-2005 гг.) и в Кыргызстане –  $0,08^{\circ}\text{C}$  (1883-2005 гг.) [25]. Анализы подтверждают, что наиболее высокие темпы повышения среднегодовой температуры отмечены в равнинных районах, таких как Дангара, Душанбе ( $0,5$ - $0,8^{\circ}\text{C}$ ) и Худжанд (на  $0,3^{\circ}\text{C}$ ). Выявлено, что в горных районах темпы потепления слабее ( $0,3$ - $0,5^{\circ}\text{C}$ ), в некоторых случаях наблюдалось даже некоторое похолодание. Например, в Кыргызстане, всю территорию которого можно отнести к горной, средние темпы потепления были минимальные, по сравнению с остальными странами ЦА. Однако, в высокогорном поясе РТ рост температуры только в апреле, ноябре и декабре

имеет положительные значения (0,2-0,4°C), и в некоторых низинах также наблюдалось понижение [25-26]. Выявлено, что за 1940-2005 гг. в котловине оз. Маздо понижение среднегодовой температуры составило 1,1°C, что может быть связано с характерными особенностями климата местности. Наряду с температурой, ещё одним метеофактором, определяющим климатические изменения, являются атмосферные осадки. По некоторым исследованиям [26-29], ЦА является одним из самых засушливых регионов планеты, потому что в нём сильна тенденция к потеплению климата, которая в последние годы усилилась. За последние более 80 лет в РТ и в ЦА в целом, произошло более десяти засух, самые сильные, из которых были в 1940, 1947, 1956, 1971, 1980, 1988, 2000-2001 и 2007-2008 гг. Согласно НАСА [25], ЦА считается одним из регионов мира с теплым и сухим климатом в период 1950-2013 гг. Другие исследования [30-33] 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 РТ, 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 ЦА.

В отличие от других стран региона, климат РТ имеет свои особенности и ее климатические особенности заключаются в том, что страна расположена в центре Евразийского континента, удалённо от морей и океанов, в горных и высокогорных районах ЦА. Как горная страна, РТ имеет уникальные природно-климатические условия и занимает важное географо-экологическое положение в ЦА. Природные условия страны определяют не только климатические особенности, но и климат региона в целом. Анализ результатов показывают, что ее территория всегда находится под влиянием двух мощных и активных геопотенциалов, которые определяют климат не только во всех регионах ЦА, но и на большей части материка Евразии. В фундаментальной работе Деминева О.В. описаны циркуляционные особенности климата РТ, а также выделены четыре климатозоны: «1) район высокогорного пустынного климата –

Восточный Памир, 2) район горного климата – Кухистан и Западный Памир, 3) район степного климата предгорий и 4) район пустынного климата» [34].

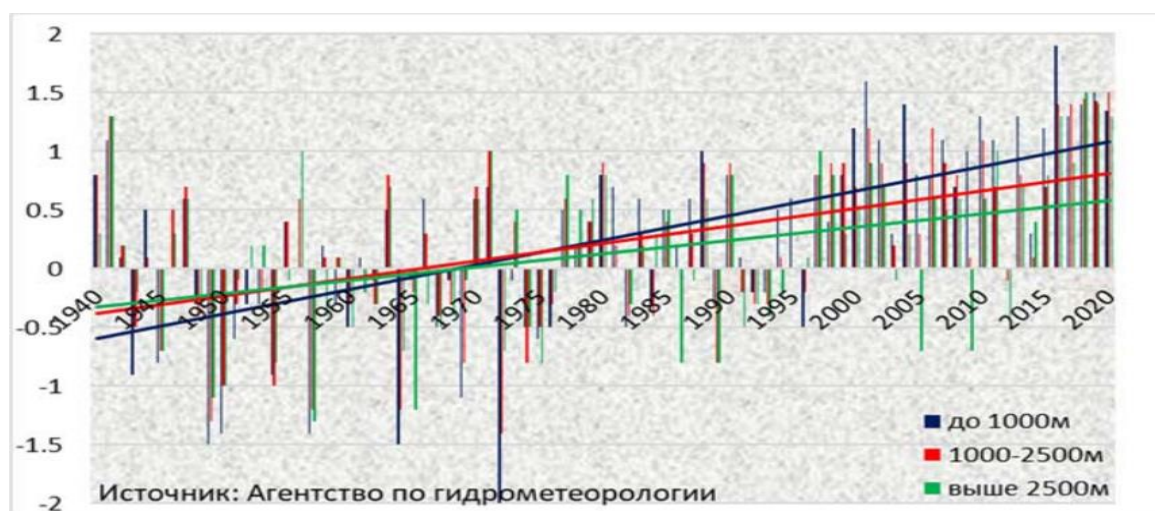
Согласно автору [30-31], вертикальный градиент температуры увеличивается с высотой, особенно при переходе от долины к высокогорью и гляциальной зоне. Уже отметили, что территория РТ расположена как в высокогорье, так и в долинах, поэтому важно определить вертикальный градиент температуры в этом регионе. Выявлено, что если между метеостанциями Рашт и Альтинмазар показатель равен  $0,51^{\circ}\text{C}$ , то между Алтынмазара до ледника Ванджах достигает  $0,73^{\circ}\text{C}$ . Для подтверждения этого в табл. 1.3 показано изменение температуры в зависимости от высоты в некоторых речных бассейнах страны. Как известно, в горных районах, к которым относится основная часть республики, основными климатообразующими факторами, кроме географической широты и атмосферной циркуляции, является высота места над уровнем моря и орография.

**Таблица 1.3.** Изменение температуры в зависимости от высоты в некоторых речных бассейнах РТ

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

Результаты расчетов (табл. 1.3) показывают, что разница в вертикальном градиенте температуры увеличивается с высотой, особенно при приходе от долин к горам и гляциальной зоне. Например, поскольку бассейн р. Вахш расположен как в горной, так и в долине, очень важно определить вертикальный

градиент температуры. Естественно, что в гляциальной зоне практически отсутствует метеостанций, поэтому данные о том или ином метеоэлементе можно получить расчётным путём. Поскольку температура на ледниках сильно колеблется, то в зоне их абляции она в теплый период года изменяется от  $-0,8^{\circ}\text{C}$  (бассейн р. Мугоб) до  $+5,6^{\circ}\text{C}$  (БРЗ), а на высоте фирновой линии она также колеблется от  $-2,2^{\circ}\text{C}$  (бассейн р. Мугоб) до  $+2,9^{\circ}\text{C}$  (БРЗ). В целом, эксперты изучили эти вопросы на 58 метеостанциях РТ, расположенных на высотах от 300 до 4169 м н.у.м., 30 из которых в 1961-1990 гг. в зависимости от сезона. Был сделан вывод [35-36], что температура в РТ за последние 65 лет повысилась на  $1,2-1,9^{\circ}\text{C}$  в городах, на  $0,7-1,2^{\circ}\text{C}$  на равнинах и на  $0,1-0,7^{\circ}\text{C}$  в некоторых горных районах. Установлено, что в этом период в высокогорных районах, наоборот, температура опустилась на  $0,1-0,3^{\circ}\text{C}$ , определено, что средняя температура повысилась на  $0,5-2,2^{\circ}\text{C}$  за последние 50 лет. Также некоторые исследователи прогнозируют, что температура в РТ повысится на  $1,5^{\circ}\text{C}$  к 2030 г. и на  $1,8-2,9^{\circ}\text{C}$  к 2050 г.

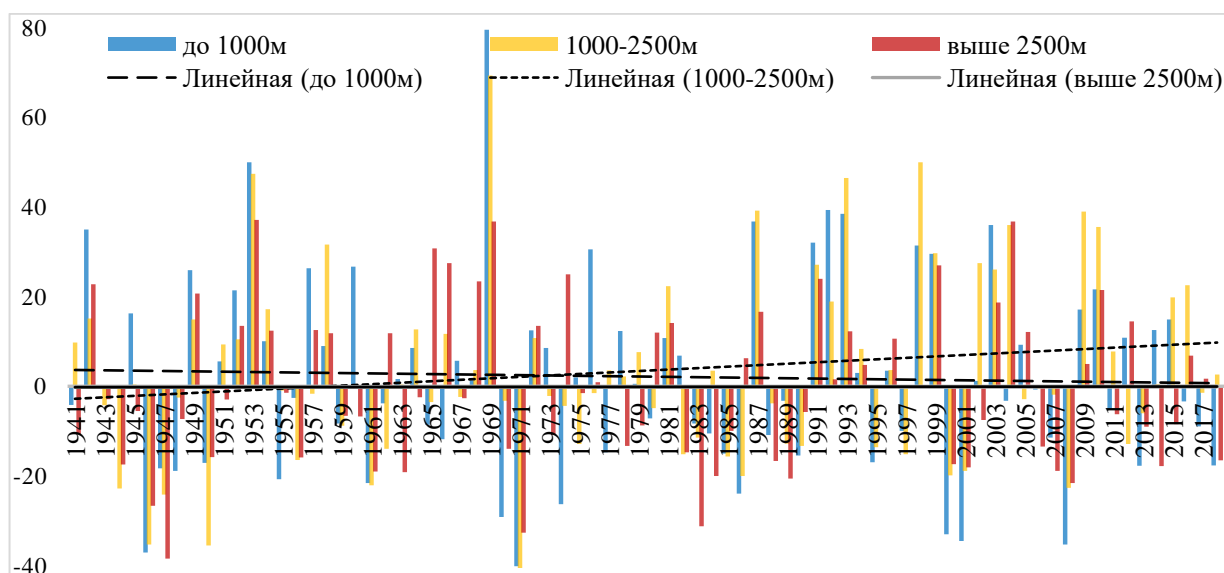


**Рис. 1.3.** Динамика среднегодовой температуры на разных высотах за период 1940-2020 гг.

Анализ результатов [37], за 1940-2020 гг. температура в большинстве районов РТ, включая низкогорно-долинные (до 1000 м), горные (1000-2500 м) и высокогорные (выше 2500 м) увеличилась, но масштабы потепления колеблются в зависимости от географического положения и климатических

факторов. На равнинной территории среднегодовая температура увеличилась на 0,1-0,2°C за десятилетие, с наибольшим увеличением температуры на 0,5-0,8°C.

В отличие от температуры, атмосферные осадки, которые являются одним из важнейших метеоэлементов, также могут привести ко многим ОЯ. Годовой ход осадки по районам РТ неоднородности. Для большей части равнин и предгорий, а также западных районов страны характерен ход годовых осадков с минимумом в летние месяцы. Максимум осадков приходится на март-апрель в долинах и предгорьях и на апрель-май в высокогорных районах. После апреля количество осадков постепенно уменьшается, а с наступлением холодного периода, т.е. с октября снова увеличивается.



**Рис. 1.4.** Отклонения накопления годовых осадков от нормы на разных высотах период 1940-2020 гг.

Результаты (рис. 1.4) показывают, что за 1940-2020 гг. что в масштабах РТ годовое количество осадков на высоте до 1000 м имеет тенденцию к уменьшению, величина его уменьшения равна  $R^2 = 0,002$ , на высотах от 1000 до 2000 оно увеличивается и его величина роста достигает  $R^2 = 0,031$ , а в высокогорных районах выше 2500 м оно остается неизменной и значение достоверности его аппроксимации равно  $R^2 = 6E-06$ , т.е. их количество в долинах и предгорьях уменьшилось на 1-22% и в высокогорьях увеличилось на 12-36%.

**Таблица 1.4.** Изменения средних сезонных и годовых температур в РТ в конце XX века

<b>Широкие долины и равнины до 1000 м</b>						
<b>Высота</b>	<b>Метеостанция</b>	<b>Зима</b>	<b>Весна</b>	<b>Лето</b>	<b>Осень</b>	<b>Год</b>
870 м	Исфара	-0,1	-0,3	2,3	1,4	0,8
796 м	Душанбе	1,2	0,3	1,2	1,4	1,0
688 м	Куляб	0,6	-0,1	0,6	0,3	0,5
660 м	Дангара	1,4	0,6	1,2	1,5	1,2
447 м	Фархор	1,0	0,3	0,4	0,4	0,6
427 м	Бохтар	1,2	-0,6	1,1	1,1	0,7
425 м	Худжанд	1,4	-0,3	0,9	0,5	0,3
378 м	Шаартус	0,9	0,1	1,0	0,9	0,7
362 м	Пяндж	0,9	-0,3	0,7	0,5	0,5
<b>Районы перехода от долины к высокогорью, до 2000 м</b>						
1004 м	Истаравшан	0,3	0,1	0,1	0,6	0,4
1015 м	Панджакент	0,3	-0,6	0,6	1,1	0,4
1215 м	Файзабад	1,5	0,2	0,5	1,1	0,8
1288 м	Дарвоз	0,9	0,9	0,6	-0,1	0,5
1316 м	Рашт	0,8	-0,8	-0,8	-0,6	-0,4
1361 м	Хушьёри	0,5	-1,2	-1,9	-0,6	-0,8
1468 м	Ховалинг	1,5	-0,1	0,7	1,5	0,9
1502 м	Сангистон	-0,1	-0,5	-0,4	-0,1	-0,3
<b>Горные районы с высотами от 2000 до 3000 м</b>						
2075 м	Хорог	-1,6	0,3	0,0	0,0	0,5
2204 м	Искандеркуль	0,5	-0,5	0,0	0,4	0,1
2254 м	Мадрушкат	0,6	-0,1	0,5	0,6	0,4
2523 м	Ишкашим	0,6	0,2	0,6	0,9	0,8
2561 м	Дехавз	0,6	-0,3	0,5	0,9	0,4
<b>Высокогорные районы с высотой 3000 м</b>						
3143 м	Шахристан	-0,1	-0,3	0,4	0,7	0,2
3275 м	Ирхт	-1,2	-0,1	0,0	0,3	0,3
3373 м	Анзоб	-0,1	-0,4	0,3	1,0	0,2
3436 м	Джавшангоз	-1,5	0,0	0,3	0,7	0,6
3576 м	Мургоб	-0,4	0,6	-0,6	0,5	0,2
3747 м	Булункуль	-0,5	-1,8	-0,6	-1,5	-1,1
3940 м	Ховаркуль	-0,3	-0,5	0,3	0,6	0,2

Анализы (табл. 1.4) показывают, что зависимости от расположения метеостанций территория РТ делится на четыре группы районов – «долины и равнины (до 1000 м), переходные зоны от долины к высокогорью (до 2000 м), горные районы (2000-3000 м) и высокогорные зоны (выше 3000 м)» [38]. Результаты расчетов подтверждают, что на территории страны изменение

среднесезонной зимней температуры в конце XX составляло  $0,94^{\circ}\text{C}$  на высоте до 1000 м,  $0,71^{\circ}\text{C}$  на высоте более 1000 м,  $-0,3^{\circ}\text{C}$  на высоте выше 2000 м и  $-0,59^{\circ}\text{C}$  на высоте более 3000 м, среднесезонные весенние температуры для этих периодов и высот составляют  $-0,03^{\circ}\text{C}$ ;  $-0,25^{\circ}\text{C}$ ;  $-0,08^{\circ}\text{C}$ ;  $-0,36^{\circ}\text{C}$  соответственно, среднесезонная летняя температура такая  $1,04^{\circ}\text{C}$ ,  $-0,08^{\circ}\text{C}$ ,  $0,32^{\circ}\text{C}$ ,  $0,01^{\circ}\text{C}$  и для среднесезонной осенней температуры картина имеет следующий:  $0,89^{\circ}\text{C}$ ,  $0,36^{\circ}\text{C}$ ,  $0,56^{\circ}\text{C}$ ,  $0,33^{\circ}\text{C}$ .

В целом, среднегодовая температура за последние тридцатилетия XX столетия для районов до высоты 1000 м составляет  $0,70^{\circ}\text{C}$ , для переходных зон от долины к высокогорью –  $0,19^{\circ}\text{C}$ , для горных районов –  $0,44^{\circ}\text{C}$ , а для высокогорных зон –  $0,09^{\circ}\text{C}$ . Иначе говоря, долинно-равнинные районы характеризуются высокими температурами, малооблачным, жарким и продолжительным летом, а переходная зона от долины к высокогорью характеризуется малооблачной, но более холодной погодой. В горных районах наблюдается тесное влияние рельефа на метеоусловия, где летом тепловой режим возвышенных и равнинных форм рельефа имеет обратную зависимость. В высокогорьях хотя ясная погода увеличивает солнечную радиацию, но также вызывает потерю тепла и понижение температуры, в связи с чем разница между зимними и летними температурами весьма значительна и увеличивается к востоку.

### **1.1.2. Пространственно-сезонные особенности изменений климата в современную эпоху**

Многолетние метеонаблюдения ясно свидетельствуют о росте приземной температуры в ЦА. Наряду с этим, в восточных частях Европы и ЦА наблюдалось особенно большое повышение температуры в XX-го столетия, от  $+1$  до  $+3^{\circ}\text{C}$ . По данным Всемирного банка [26], страны ЦА могут столкнуться с большой вероятностью того, что в данном регионе произойдет более значительное потепление, чем в среднем по всему миру: к примеру, если в мире произойдет потепление на  $4^{\circ}\text{C}$ , среднегодовая температура в ЦА к концу текущего века поднимется на  $7^{\circ}\text{C}$ , по сравнению за 1951-1980 гг., а по сравнению с мировым

показателем повышение достигнет  $3^{\circ}\text{C}$ . Поэтому по данным региональных исследований изменения температуры в разных уголках планеты, в т.ч. и в ЦА, можно сделать вывод о потеплении климата, поскольку сравнение средних температур за два тридцатилетних периода (1942-1972 гг. и 1973-2003 гг.) доказывает, что среднегодовая температура в ЦА увеличилась на  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Согласно данным, «температура повысилась по сравнению с температурой 70-х годов прошлого столетия, за 1976-2014 гг. линейный тренд глобальной среднегодовой температуры увеличивался на  $0,17^{\circ}\text{C}$  за каждое десятилетие в мировом масштабе и на  $0,41^{\circ}\text{C}$  на территории СНГ, что почти в два раза превышает глобальную температуру» [39]. Наряду с температурой, изменение количества атмосферных осадков показывает, что в ЦА, особенно в Приаралье и пустынных регионах, количество осадков уменьшается более, чем на 5% каждое десятилетие [20, 27].

Доказательством этого является то, что тенденция повышения средней глобальной температуры продолжается и за 100 лет (1906-2005 гг.) она увеличилась на  $0,74\pm 0,18^{\circ}\text{C}$ . Результаты расчетов показывают, что «скорость её роста в период 1955-2005 гг. составила  $0,13\pm 0,03^{\circ}\text{C}$  за каждые 10 лет, что в 2,5 раза превышает значение, рассчитанное за последние 100 лет» [40]. Полученные результаты согласуются с климатическими моделями, разработанными с учетом обычного увеличения парниковых газов в атмосферы. По оценке, «в ЦА также в течение последних 40-50 лет среднее значение температуры увеличивалось с  $0,15^{\circ}\text{C}$  до  $0,5^{\circ}\text{C}$  каждые 10 лет» [41]. Тенденция потепления климата наблюдается больше в долинах и низменностях, чем в высокогорье, причем наибольшая скорость повышения температуры наблюдается весной ( $0,6^{\circ}\text{C}/10$  лет). По показаниям климатических моделей, в ЦА до конца XXI века температура может повыситься на  $2,5-6,5^{\circ}\text{C}$ . Также по многолетним наблюдениям АГ РТ среднегодовое значение температуры по всей территории Таджикистана за 1931-2020 гг. имеет следующую картину:

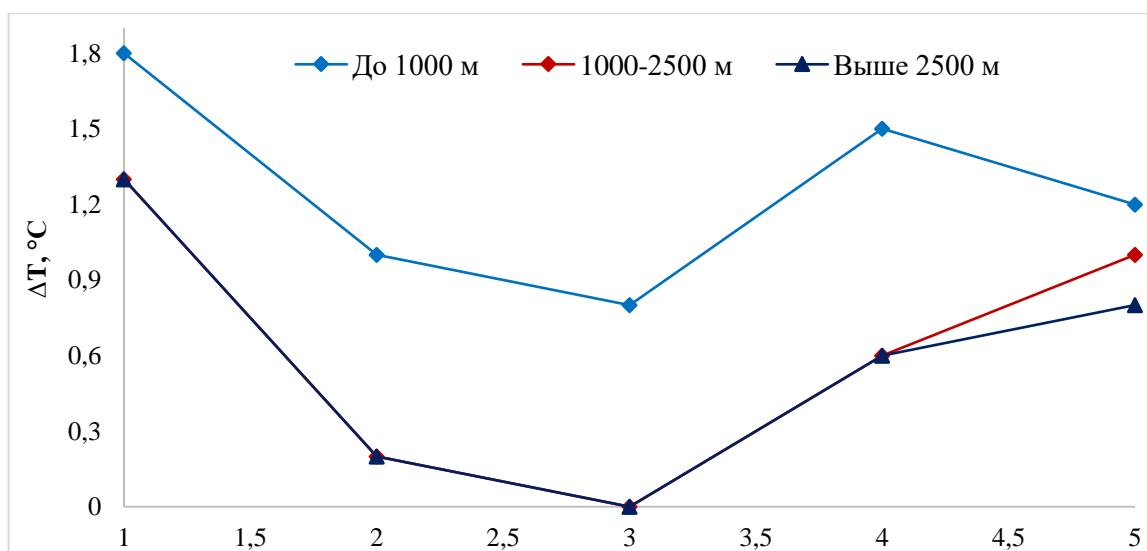
**Таблица 1.5.** Величина тренда среднегодовая температуры воздуха на территории РТ за 1931-2020 гг.

Метеостанция	Высота, м	Т/10 лет	Метеостанция	Высота, м	Т/10 лет
Карокуль	3930	0,16	Ховалинг	1468	0,20
Булункуль	3744	-0,11	Хушъёри	1361	-0,02
Мургоб	3576	0,13	Рашт	1316	0,07
Джавшангоз	3410	0,15	Пенджикент	1016	0,14
Анзоб	3373	0,12	Истаравшан	1004	0,16
Шахристан	3143	-0,00	Душанбе	796	0,16
Дехавз	2561	0,12	Дангара	660	0,30
Ишкошим	2524	0,13	Фархор	447	0,17
Мадрушкат	2254	0,11	Бохтар	427	0,24
Искандеркуль	2204	0,10	Худжанд	425	0,16
Хорог	2075	0,09	Шахритус	378	0,18
Сангистон	1502	0,12	Пяндж	361	0,16

Анализ расчетов показывают, что изменение регионального климата РТ аналогично глобальным изменениям и в зависимости от географо-орографического условия и зонально-высотного распределения сильно дифференцируется. По многолетним наблюдениям 24 метеостанций, расположенных на высотах от 361 до 3930 м, величина тренда среднегодовая температуры за каждое десятилетия за 1931-2020 гг., для долины и равнины (до 1000 м) составляет 0,19°C, для районы перехода от долины к высокогорью (до 2000 м) – 0,11°C, для горных районов (от 2000 до 3000 м) – 0,11°C и для высокогорных районов (выше 3000 м) – 0,07°C.

По мнению экспертов [42] и исследователей [32-33, 43-46], «в южной (Шахритус) и в северной (Худжанд) части республики среднегодовая температура оставалась практически без изменений, что, очевидно, связано с влиянием местных факторов (освоение земель и строительство водохранилищ). В целом, «зимний период характеризуется повышением температуры, за исключением низовья БРЗ, Кулябской и Яванской равнин и восточной части Памира, где она понизилась на 0,1-0,4°C. Наибольшее повышение зимней температуры отмечено в верховье БРЗ (Дехавзе), бассейне р. Кафирнихан (Файзабад) и южного склона Гиссарского хр. (Майхура)» [5], а также в крупных городах.

По оценке МГЭИК [20, 47], последнее десятилетие XX века, 1998 г. определен самым теплым периодом за всю историю метеороизмерений до начала XXI века. В тоже время, в соответствии с национальным сообщением об изменении климата [48], самое жаркое десятилетие в истории метеонаблюдений было зафиксировано 2001-2010 гг. При этом, увеличение среднедекадной температуры установлено: в районах высотой до 1000 м - на  $1^{\circ}\text{C}$ , на высотах 1000-2500 м – на  $0,8^{\circ}\text{C}$ , а в высокогорье – на  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Следует отметить, что 2001 год был чрезвычайно жарким, с увеличением на  $1,0-1,6^{\circ}\text{C}$ , а 2004-2010 гг. характерны приближением к этому показателю в долинах и горных районах, а в долинах и на равнинах увеличилось количество дней с температурой выше  $40^{\circ}\text{C}$ . Установлено, что температура имеет тенденцию к повышению, со среднегодовым повышением на  $0,02^{\circ}\text{C}$  в долинах и  $0,01^{\circ}\text{C}$  в районах выше 1000 м.



**Рис. 1.5.** Сезонный ход средней температуры воздуха на разных высотах

Кривые линии (рис. 1.5) показывают, что зимние температуры значительно повысились по сравнению с другими сезонами. Разумеется, повышение зимней температуры имеет негативные последствия, т.е. приводит к уменьшению твердых осадков, уменьшению снеготпасов, а также к отступлению ледников и уменьшению поверхностных и подземных вод в вегетационный период. Ибо, осадка, как другой важной метеопараметр, определяющей тенденцию климатических изменений, определяются, в основном, орографическими условиями и циркуляцией атмосферы. Иначе говоря, «количество осадков

определяется, в основном, орографическими условиями и циклонической деятельностью» [5]. Как известно, что на усиление циклонических осадков оказывает заметное влияние высота и ориентация гор. Установлено, что основное количество осадков, выпадающих в РТ, приносится воздушными массами со стороны Атлантики, Средиземноморье и иногда с Индоокеана [16, 32-33, 49-51]. Для них характерна большая изменчивость от года к году, наличие очень засушливых или влажных периодов.

Необходимо отметить, что «сопоставление аномального количества осадков с повторяемостью широтно-меридиональных типов циркуляции указывает на формирование избытка осадков при меридиональных потоках, в то время как дефицит осадков наблюдается в периоды увеличения широтного переноса воздушных масс» [5]. Ибо, мониторинги показывают, что в долинных районах РТ как дефицит, так и избыток осадков встречаются чаще, чем в горных регионах, и в засушливые годы страна получает до 30-70% от нормы осадков, а в более дождливые годы – 200-250%. В частности, согласно метеонаблюдениям, самым засушливым годом был 1944 г., когда наблюдался дефицит осадков в 30-70% по всей республики, за исключением горно-ущельных котловин, а в обратном случае, самым дождливым годом был 1969 г., когда годовых сумм осадков превысило норму в 1,5 раза. Для подтверждения вышеупомянутой мысли и определения изменения количества осадков на территории РТ в таблице 1.6 сравнительно показано изменение годовых суммах осадков для разных физико-географических провинциях страны за период с 1970 по 2005 годы.

**Таблица 1.6.** Изменения годового количества осадков с 1970 по 2005 год.

№	Метеостанция	Высота, н.у.м., м	Годовое суммы осадков в 1970 г., мм	Годовое суммы осадков в 2005 г., мм	Разница, мм	Разница, %
<b>Восточный Памир</b>						
1	Ховаркуль	3930	72	78	+6	8
2	Мургаб	3576	73	78	+5	7
3	Булункуль	3747	86	106	+20	23
4	Ирхт	3290	108	149	+41	38

<b>Продолжение таблицы 1.6</b>						
<b>Западный Памир</b>						
1	Горбунов	4169	1192	1226	+34	3
2	Хорог	2075	235	270	+35	15
3	Джавшангоз	3436	137	148	+11	8
4	Ишкашим	2523	94	117	+23	24
5	Рушан	1581	213	277	+64	30
6	Хумраги	1736	188	216	+28	15
7	Ляхш	1998	376	415	+39	10
<b>Центральный Таджикистан</b>						
1	Бустонабад	1964	679	829	+150	22
2	Дарбанд	1258	838	911	+73	9
3	Файзабад	1215	797	837	+40	5
4	Санглох	2239	738	713	-13	-3
5	Чормагзак	1726	695	687	-8	-1
6	Муминабад	1232	108	149	+41	38
7	Душанбе	796	613	664	+51	8
8	Майхура	1921	1252	1179	-73	-6
9	Эсанбай	563	231	316	+85	37
10	Яван	663	614	690	+76	12
<b>Северный Таджикистан</b>						
1	Худжанд	425	155	173	+18	12
2	Исфара	870	123	141	+18	15
3	Дехавз	2561	275	318	+43	16
4	Искандеркуль	2204	258	305	+47	18

Хотя в табл. 1.6 представлено увеличение количества осадков в большинстве метеостанций РТ, это происходит только за два отдельных года (1970 и 2005 гг.). Несмотря на это, анализ результатов показывают, что на Восточном Памире среднегодовое количество осадков в 1970 г. составило 84,75 мм, а этот показатель в 2005 г. достигнет 102,75 мм, что на 18 мм (19%) больше первоначального значения. На Западном Памире, которое имеет сравнительно сложный рельеф, где на динамику осадков оказывают влияние как орография, так и крупные ледниковые массивы, среднегодовое количество осадков в 1970 г. составило 347,9 мм, а в 2005 г. – 381,3 мм, что во второй период наблюдений на 33,4 мм (15,0%) больше, чем первым периодом. В отличие от Восточного и Западного Памира, в некоторых районах Центрального Таджикистана (Санглох, Чормагзак и Майхура), в период наблюдений зафиксировано

уменьшение годового количества осадков, но среднегодовое их количество, по данным 10 метеостанций, в 1970 г. составило 656,5 мм, в 2005 г. – 697,5 мм, что увеличилась на 42,2 мм (12,1%). В течение этих лет наблюдений, на Северном Таджикистане среднегодовое количество осадков в 1970 г. составило 202,75 мм, а в 2005 г. достигло 234,25 мм, что представляет увеличение на 31,5 мм (15,25%).

Наряду с этим, другие исследования показывают [32-33, 43-46], что количество осадков в холодный период за 1961-1990 гг. увеличилось в равнинных и предгорных долинах, а в верховье БРЗ и на Западном Памире оно незначительно увеличилось. Иначе говоря, «за базисный период 1961-1990 гг. в горах Центрального Таджикистана, в долинах Юго-Западного и Северного частях республики, предгорьях хр. Туркестан и высокогорных зонах Восточного Памира наблюдается уменьшение сумма годовых осадков» [5]. Несмотря на то, что показана динамика уменьшения осадков, исследования показывают [32-33, 43-46], что за 1961-1990 гг. для всей территории РТ не наблюдается общих наиболее влажных (или сухих) периодов. В аномально дождливые году сумма осадков превышает норму на 50-65%, в Ферганской и Кулябской регионах их количество увеличивалось на 60-100% и 30% соответственно.

Естественно, что «теплый период характерен неравномерным распределением осадков во времени, а наибольшее их сумма выпадает в апреле-мая, затем в июле-сентябре идет их уменьшение и долинах они практически не наблюдаются. В теплый период 1961-1990 гг. отмечено их уменьшения в долинно-предгорных районах, в верховьях БРЗ и на Восточном Памире этот показатель снизился на 6% и 70% соответственно» [5]. Однако за этот период в остальной горно-предгорной части РТ (выше 1500 м) их сумма увеличилась от 9% до 36%, а на леднике Ванджях – до 44%. Особенно, увеличилось количество осадков теплого сезона, ибо среднемноголетнее значение сезонных осадков в бассейне р. Вандж за 1991-2020 гг. по сравнению с 1961-1990 гг. изменяется следующим образом: зимой и весной оно уменьшается на 0,84 мм и 4,93 мм соответственно, а летом и осенью увеличивается на 4,65 мм и 4,89 мм

соответственно. В целом, где макроклиматические особенности температурного режима и атмосферные осадки характеризуются данными метеостанций (табл. 1.4 и 1.6), расположенных на разных районах республики.

Следовательно, исследования векового хода температуры и осадки на территории РТ указывают «на наличие существенных колебаний, в силу которых отдельные периоды, а тем более годы, оказывались то более теплыми или холодными, и более влажными или сухими. В прежние годы такие изменения носили естественный, природный характер, с развитием же промышленности, урбанизации, мелиорации на изменение климата стали оказывать в большей степени антропогенные факторы» [123]. С этого времени отмечается тенденция к систематическому повышению температуры, а наибольшие климатические изменения, в особенности температурного режима, произошли в районах, характеризующихся активным вмешательством человека в природу: урбанизация, освоение земель, строительство водохранилищ и т.д.

### **1.1.3. Оценка состояния и прогнозирование климатических изменений с использованием различных моделей**

Как уже отметили, что вопросы климатических изменений, особенно его негативного влияния на здоровье человека и климатическую систему планеты, а также обратного процесса, влияния антропогенных выбросов, в т.ч. парниковых газов, на изменение климата, очень важная тема и привлекло внимание мирового сообщества в течение последних нескольких десятилетий. Несмотря на то, что в последние годы основное внимание большинства региональных и международных институтов и отдельных стран было направлено на глобальные проблемы, связанные с изменением климата и его связью с проблемой дефицита воды, эти вопросы до сих пор остаются основными проблемами мирового сообщества и, с высокой вероятностью они станут более сложнее в будущем. Потому что на основе многолетних метеонаблюдений, математических и компьютерных расчетов и разработки моделей ОЦА, рядом научно-исследовательских организаций и различными учеными и экспертами разработано

несколько сценариев тенденции изменения климата, которых указывают на глобальную потеплению и негативные последствия изменения климата. Согласно [52], группа ученых провели очень масштабное компьютерное моделирование изменения климата, а также мировой экономико-энергетической системы. Они проанализировали различные сценарии изменения климата и различные методы снижения его негативных последствий, принимая во внимание множество неопределенностей в процессе изменения климата.

Так, если исследователи с учетом увеличения событий за каждое десятилетие до 2100 г., разработали 4000 диаграмм климатических изменений для 15 регионов земного шара [52], эксперты МГЭИК ещё в 1996 г. подготовили специальный доклад [53], который принял на заседании III рабочей группы МГЭИК (2000 г.). Долгосрочный и неопределенный характер климатических изменений, а также их определяющие факторы требуют разработки моделей на период до конца XXI столетия. Сценарии данного доклада, охватывают широкий спектр основных факторов выбросов – «от демографии до экономико-технологического развития» [53]. На основе развития различных отраслей экономики и динамики выбросов, VI группам моделистов МГЭИК разработали 40 моделей климатических изменений, все из которых имеют равное значение: «три из них (A2, B1, B2) имеют одну и ту же группу и «семейство», а также три другие группы (A1FI, A1B и A1T), описывающие альтернативные типы развития энергетических технологий: значительная доля добываемого топлива, прежде всего угля (A1FI); умеренное и сбалансированное использование ископаемого топлива (A1B) и переход к «зеленой энергетике» без использования ископаемого топлива (A1T) относятся к «семье» A1» [53].

Согласно МГЭИК [53-54], если в мировом развитии экономические цели преобладают над экологическими, то модель относится к группе моделей класса «А», а в моделях класса «В» общество на первое место ставит экологические стандарты и цели устойчивого развития. Также, если процессы носят глобальный характер, к модели добавляется индекс «1», а модели, имеющие региональный характер, получают индекс «2». Согласно результатам, в

которых за норму принимается концентрация парниковых газов на уровне 2000 г., рост глобального потепления имеет следующую картину: «для модели В1 температура в конце текущего столетия увеличится на 1,8°C, изменяясь в вероятном диапазоне от 1,1°C до 2,9°C, а для модели А1FI температура увеличится на 4,0°C, и в этот же период она колеблется в вероятном диапазоне от 2,4°C до 6,4°C».

**Таблица 1.7.** Проекция глобального среднего приземного потепления и повышения уровня моря на конец XXI века

Вариант	Наилучшая оценка	Вероятный диапазон	Основанный на модели диапазон без будущих быстрых динамических изменений в потоке льда
Постоянные концентрации на уровне 2000 г.	0,6	0,3-0,9	не применимо
Сценарий В1	1,8	1,1-2,9	0,18-0,38
Сценарий В2	2,4	1,4-3,8	0,20-0,43
Сценарий А1Т	2,4	1,4-3,8	0,20-0,45
Сценарий В2	2,4	1,4-3,8	0,20-0,43
Сценарий А1В	2,8	1,7-4,4	0,21-0,48
Сценарий А2	3,4	2,0-5,4	0,23-0,51
Сценарий А1FI	4,0	2,4-6,4	0,26-0,59

[https://archive.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch10s10-5.html](https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch10s10-5.html) [55]

Согласно МГЭИК [18, 20, 53, 56], на следующие две декады для целого ряда сценариев выбросов, прогнозируется потепление климата ~0,2°C за декаду, а также если бы концентрации всех парниковых газов удерживались на уровне 2000 г., ожидалось бы дальнейшее потепление ~0,1°C за декаду. Оцениваемые проекции показывают, что за 1990-2005 гг. среднеглобальной температуры повышается с 0,15°C по 0,3°C за декаду. Можно сравнить с наблюдаемыми значениями, составляющими ~0,2°C за декаду, что усиливает уверенность в краткосрочных проекциях. Анализ результатов показывают, что даже если бы все факторы радиационного влияния оставались постоянными, на уровне 2000 г., то в следующие два декада все равно имело бы место потепление со скоростью ~0,1°C за декады. Если выбросы будут находиться в диапазоне, указанном в сценариях А1В, А2 и А1FI, то скорость потепления климата вырастет вдвое. Проекция наилучших оценок на основании моделей показывают, что среднее потепление за 10 лет над каждым населенным континентом к 2030 г. будет нечувствительным к выбору названных сценариев и, весьма

вероятно, будет как минимум вдвое больше соответствующей смоделированной, естественной изменчивости за прошлое столетие. Однако, продолжение выбросов CO<sub>2</sub> существующими или более высокими темпами вызвало бы дальнейшее потепление и привело бы в текущем веке ко многим изменениям в глобальной климатической системе, которые, весьма вероятно, были бы значительнее тех, что наблюдались в XX веке. Естественно, что ни одна модель не показывает полностью перспективу процесса, поэтому на основе информации [17, 57], в табл. 1.8 показан отклик моделей глобальной температуры на удвоение CO<sub>2</sub>.

**Таблица 1.8.** Отклик глобальной температуры некоторых климатических моделей на удвоение содержания в атмосфере CO<sub>2</sub>

Модели	Страны	Чувствительность (°C)
UKMO-HADgem1	Великобритания	4,4
IPSL-CM4	Франция	4,4
MIROC3.2 (hires)	Япония	4,3
MIROC3.2 (medres)	Япония	4,0
CGCM3.1 (T47)	Канада	3,4
CGCM3.1 (T63)	Канада	3,4
ECHAM5/MPI-OM	Германия	3,4
GFDL-CM2.1	США	3,4
UKMO- HadGEM3	Великобритания	3,3
ECHO-G	Германия/Корея	3,2
CSIRO-Mk3.0	Австралия	3,1
GFDL-CM2.0	США	2,9
CCSM3	США	2,7
GISS-EN	США	2,7
GISS-ER	США	2,7
INM-CM3.0	Россия	2,1
PCM	США	2,1

**Источник:** IPCC Data Distribution Centre // <https://www.ipcc-data.org/> [57]

Видно, что у разных моделей (табл. 1.8) она различена и колеблется примерно от 2 до 4,5 К. Такие модели, как американская PCM – «параллельная климатическая модель» и российская модель INM Института вычислительной математики РАН, относятся к малочувствительным моделям, в то же время климатическая модель Хэдлевского центра метеорологической службы Великобритании (UKMO-Had).

Линейный тренд среднегодовой температуры за 1975-2023 гг. во всем регионе земного шара составил +0,20°C/10 лет [59], в тоже время по расчетам

массива HadCRUT5, (показания массива CRUTEM5), данный показатель для Северного полушария достигает  $+0,37^{\circ}\text{C}/10$  лет. Установлено, что подобный линейный тренд температуры на территории СНГ составляет  $+0,48^{\circ}\text{C}/10$  лет, что в 2,4 раза выше, чем скорость повышения глобальной температуры и в 1,3 раза выше скорости роста температуры в среднем по суше Северного полушария.

Поэтому для этой цели с учетом сценариев, представленных в табл. 1.7, и характеристик откликов моделей на глобальную температуру, отраженного в табл. 1.8, по различным сценариям и моделям [59-60], изменение среднегодовой температуры и соответствующие стандартные отклонения на территории стран СНГ для трех этапов – «начального» (2011-2030 гг.), «среднего» (2041-2060 гг.) и «конечного» (2080-2099 гг.) периода течение текущего столетия (для сценария В1 было использовано 14 моделей, для сценария А1В – 15 моделей и для сценария А2 – 19 моделей). Согласно сценарию В1, температура в Таджикистане повысится на  $1,2\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  в период 2011-2030 гг.; на  $1,9\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  за 2041-2060 гг. и на  $2,8\pm 0,7^{\circ}\text{C}$  в период 2080-2099 гг.; по сценарию А2, за эти периоды она повышается на  $1,2\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ ;  $2,4\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  и  $4,9\pm 0,9^{\circ}\text{C}$  соответственно, а также, с учетом умеренного и сбалансированного использования ископаемого топлива (сценарий А1В), где температура повысится на  $1,2\pm 0,4$  за 2011-2030 гг.; на  $1,9\pm 0,5$  в 2041-2060 гг. и на  $4,2\pm 0,9$  за 2080-2099 гг. Эти расчеты показывают, что повышение среднегодовой температуры в РТ выше не только среднегодового её повышения в Центральноазиатских странах СНГ, но и повышения температуры в Кавказских и Европейских странах СНГ.

Отсюда ясно, что вышеотмеченные цифры не только показывают, а свидетельствуют глубокое повышение температуры, т.е. глобальное потепление климата. Однако, это приблизительные цифры, которые основаны на иерархии моделей, и простая модель климата включают несколько моделей земной системы средней сложности и большое количество моделей ОЦА и океана. Также, рассчитаны аномалии относительно среднего значения за 1980-1999 гг. и приведены прогнозы и неопределенность повышения среденеглобальной

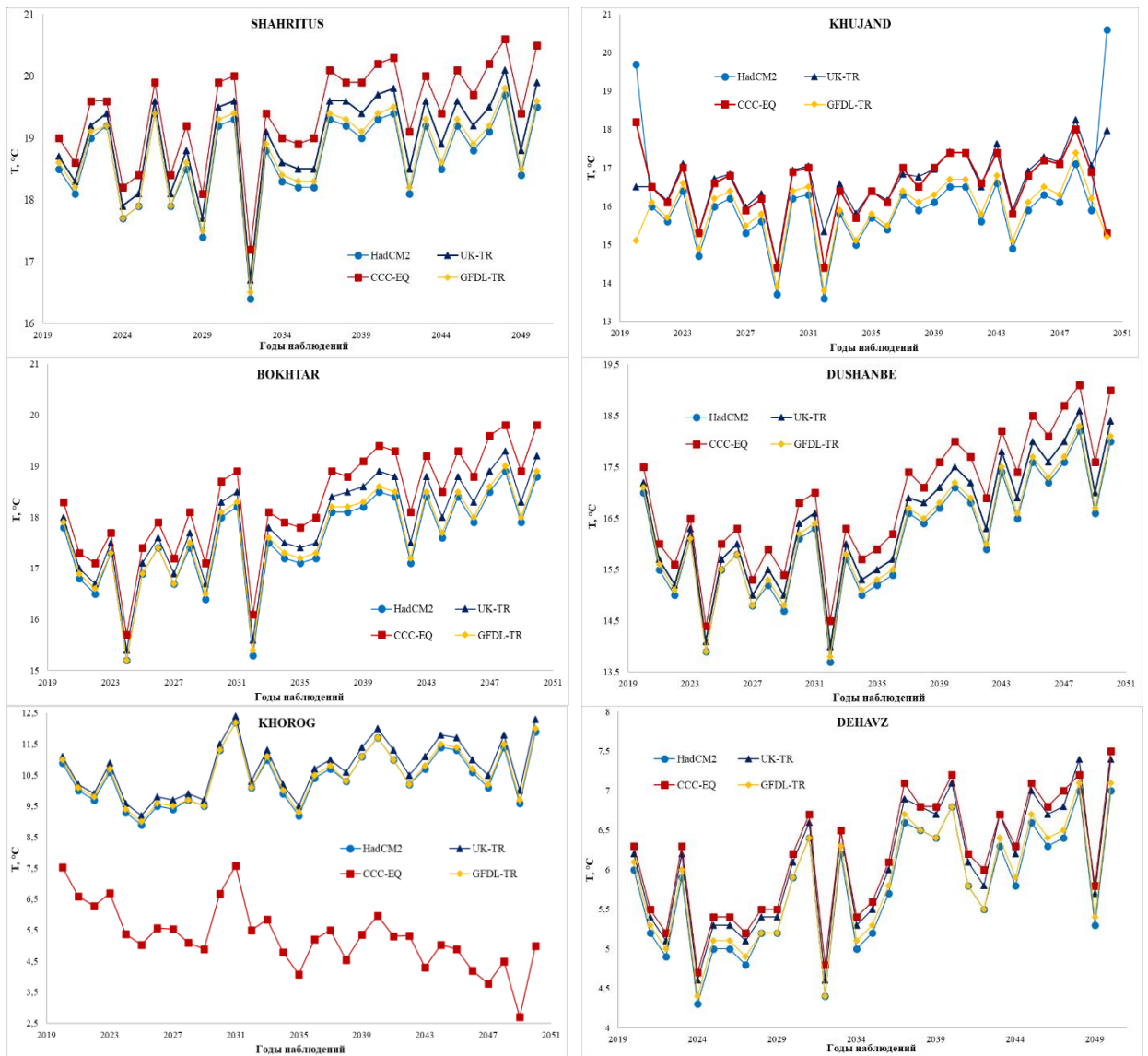
температуры для всех сценариев на период с 2090 по 2099 г. по сравнению со средним значением за 1980-1999 гг.

Как выше отметили, Таджикистан, как и многие другие страны и регионы мира, стал свидетелем значительных изменений в климате в последние несколько деkad. Анализ данных о среднегодовых температурах в различных городах и районах РТ за последние пятьдесят лет позволяет увидеть явную тенденцию к росту температуры. Это не только отражает глобальное потепление, но и имеет серьёзные последствия для сельского хозяйства, водных ресурсов, здоровья населения и социально-экономические секторы. Именно с этой целью, для изучения возможных сценариев климатических изменений в республике использовались четыре ведущих моделей ОЦА [59-60]:

**Таблица 1.9.** Краткие характеристики используемых моделей

<b>Модели</b>	<b>Полное имя модели и ее учреждения</b>	<b>Год выпуска</b>	<b>Глобальное потепление при удвоении концентрации CO<sub>2</sub></b>
UK89	United Kingdom Meteorological Office	1989	3,5°C
HadCM2	United Kingdom Meteorological Office	1996	2,5°C
CCCM	Canadian Climate Center Model	1989	3,5°C
GFD 3	Geophysical Fluid Dynamic Laboratory	1989	4,0°C

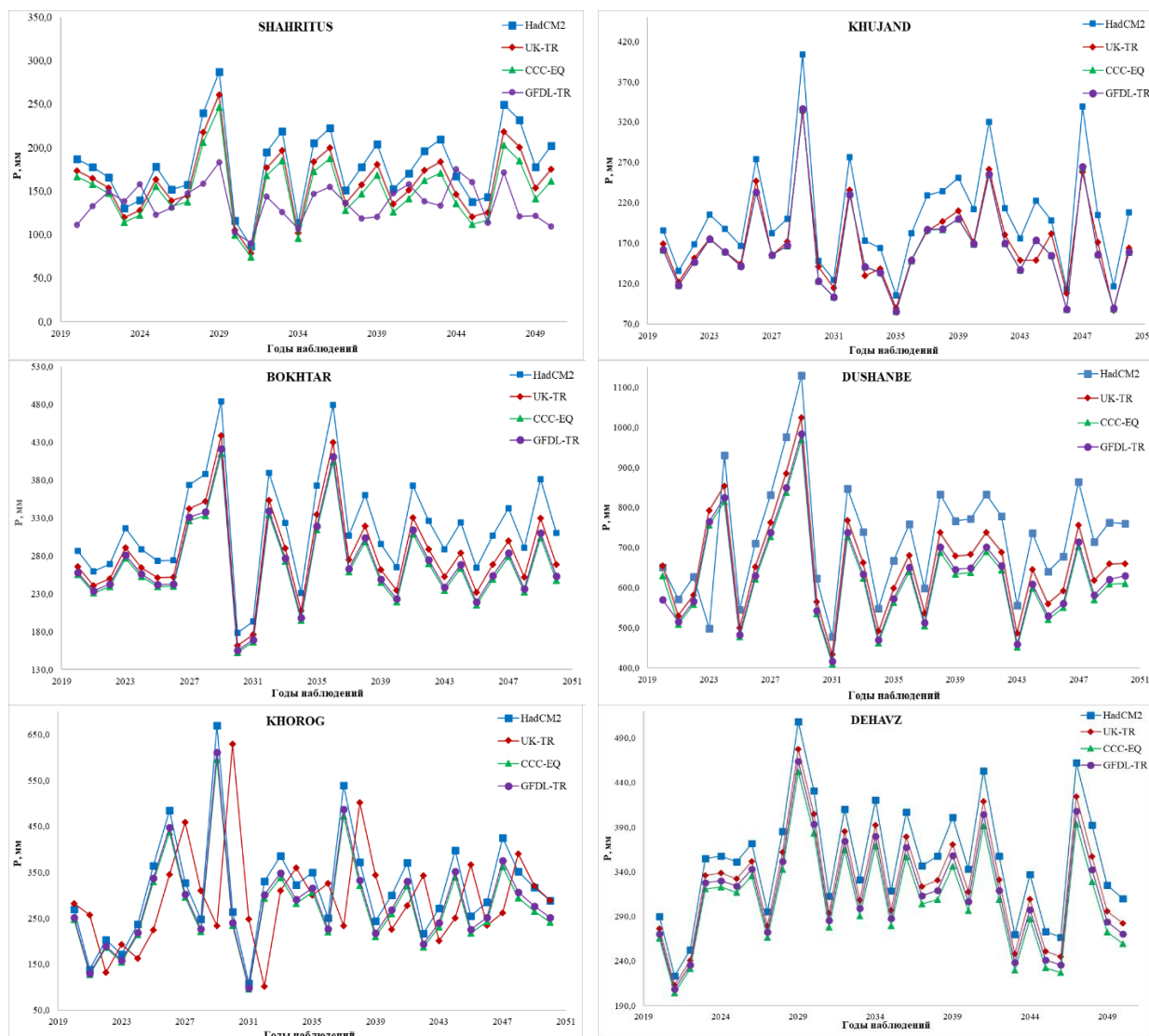
При моделировании, в качестве основы использовались данные реального климата за 1961-1990 гг. по 10 метеостанциям, репрезентативных для территории их расположения. Анализ и прогноз ожидающегося состояния климата для диссертационных исследований выбраны 6 метеостанций, расположенные на разных высотах: 1) Шахритус (37°19'Е; 68°09'N); 2) Худжанд (40°13'Е; 69°43'N); 3) Бохтар (37°50'Е; 68°47'N); 4) Душанбе (38°35'Е; 68°44'N); 5) Хоррог (37°30'Е; 71°30'N) и 6) Дехавз (39°27'Е; 70°12'N).



**Рис. 1.6.** Прогноз изменения температуры воздуха по разным моделям в разных регионах РТ в зависимости от высоты метеостанций на 2020-2050 гг.

Согласно расчетам (рис. 1.6), температура в Шахритусе имеет тенденцию к повышению с 2020 по 2050 год, а значения этого роста следующими:  $R^2 = 0,131$  (HadCM2),  $R^2 = 0,199$  (UK-TR),  $R^2 = 0,298$  (CCC-EQ) и  $R^2 = 0,142$  (GFDL-TR). Полученные результаты показывают, что значения среднегодового тренда температуры за период наблюдений в Худжанде составляют  $R^2 = 0,036$ ,  $R^2 = 0,282$ ,  $R^2 = 0,035$  и  $R^2 = 0,082$  соответственно. По сравнению с метеостанциями, расположенными на равнинах и в долинах, все четыре использованные модели (HadCM2, UK-TR, CCC-EQ, GFDL-TR) показывают наибольший тренд к повышению температуры в Бохтаре за 2020-2050 гг. Особо отметить, что хотя модель CCC-EQ показывает наибольшее значение тренда повышения

температуры для всех выбранных метеостанций, а наоборот, в Хороге она определяет тренд к снижению температуры, значение которого равно  $R^2 = 0,452$ . Согласно модельным расчетам, температура в основной зоне оледенения БРЗ в период 2020-2050 гг. имеет тенденцию к росту, а рассчитанные значения тренда, следующие:  $R^2 = 0,367$  (HadCM2),  $R^2 = 0,425$  (UK-TR),  $R^2 = 0,431$  (CCC-EQ) и  $R^2 = 0,368$  (GFDL-TR).



**Рис. 1.7.** Прогноз изменения атмосферных осадков по разным моделям в разных регионах РТ в зависимости от высоты метеостанций на 2020-2050 гг.

Анализ результатов (рис. 1.7) показывает, что в Шахритусе и Бохтаре в период 2020-2050 гг., согласно моделям HadCM2, UK-TR и CCC-EQ годовое количество осадков незначительно увеличится и по результатам модели GFDL-TR оно останется неизменным. В городах Душанбе и Худжанд,

наоборот, за период наблюдений, согласно первой модели (HadCM2), количество осадков оставалось неизменным, а по данными трех других моделей (UK-TR, CCC-EQ, GFDL-TR) оно незначительно уменьшилось. Согласно расчетам метеоданных по Хорогу, модели HadCM2, UK-TR и GFDL-TR показывают, что с 2020 по 2050 год, где количество осадков увеличится, а по модели CCC-EQ, оно останется практически неизменным. В этот период, в основной гляциальной зоне БРЗ, согласно моделям HadCM2 ( $R^2 = 0,009$ ) и UK-TR ( $R^2 = 0,0009$ ), количество осадков оставалось практически неизменным, а по результатами моделям CCC-EQ ( $R^2 = 0,0012$ ) и GFDL-TR ( $R^2 = 1E-06$ ) наблюдалось небольшое снижение.

Таким образом, при анализе изменения метеоусловий на территории РТ выявлено, что изменение климата в РТ очень тесно связано с изменением общей циркуляции атмосферы, особенно синоптико-климатологических представлений, характеризующие геопотенциалы – NOA и ENSO, которые оказывают непосредственное влияние на территорию региона. То есть, если тренд роста среднеглобальное повышение температуры в июле 1943-2023 гг. составляет  $R^2 = 0,804$ , то температура в РТ за 1961-2011 гг. повысилась на  $0,2-1,9^\circ\text{C}$ . Наибольшее повышение температуры в стране отмечается в осенне-зимний период, она увеличилась на  $0,6^\circ\text{C}$  в долинах и на  $0,7^\circ\text{C}$  в горах, и в весенне-летний период ее повышение в среднем по страну составило  $0,1-0,4^\circ\text{C}$ .

## **1.2. Природные и антропогенные факторы загрязнения окружающей среды и климатические изменения**

Хотя под «изменением климата на всем земном шаре или в отдельных его регионах понимают статистический рост тренда погодных переменных от их многолетнего значения в интервалах от десяти до миллионов лет» [5], однако мнения отличаются об основных воздействующих его факторах. Именно поэтому до сих пор существуют различные предположения о причинах и процессах, являющихся двигателем изменения климата. Тем не менее, «основные факторы климатических изменений разделяются на такие группы, как

астрономические, геофизические, метеорологические, антропогенные, и на основе полученных результатов предложено несколько гипотез потепления климата» [18].

Необходимо отметить, что «на основе многолетних метеонаблюдений, математических и компьютерных расчетов и разработки моделей ОЦА о состоянии и прогнозы климатических изменений» [61], в настоящее время существует только одна научно разработанная концепция – «теория глобального потепления климата вследствие антропогенного воздействия в результате усиления влияния парникового эффекта» [17], в которой антропогенное воздействие тесно связано с естественным изменением климата. Анализ результатов показывают, что концентрация парниковых газов по сравнению с доиндустриальной эпохой (1750 г.) в 2017 г. увеличилась следующим: CO<sub>2</sub> в 405,5 ppm (146%), CH<sub>4</sub> – 1859 ppm (257%) и N<sub>2</sub>O – 329,9 ppm (122%) (ВМО, [61]). Отсюда ясно, что среди вышеупомянутых причин изменения глобального климата наиболее распространенной и известной гипотезой современности является антропогенное воздействие. Потому что, высокая скорость климатических изменений связывается с интенсификацией антропогенной деятельности, которая способствует увеличению содержания парниковых газов в среде. По оценкам МГЭИК, «продолжающееся увеличение выбросов парниковых газов приведет к общему росту средней температуры на 1,4-5,5°C к концу текущего столетия по сравнению с уровнями 1990 г.» [22]. В V-ом оценочном докладе МГЭИК, «одна из основных причин глобального потепления отмечает антропогенное влияние и где показано, что за 1880-2012 гг. средняя глобальная температура поверхности повысилась примерно на 0,9°C» [20]. Поэтому в табл. 1.10 приведены источники основных газов и аэрозолей, и их характеристики, и негативные последствия.

**Таблица 1.10.** Источники основных и атмосферных газов и аэрозолей

<b>Субстанции</b>	<b>Источники</b>	<b>Сток</b>
CO <sub>2</sub>	Сжигание топлива и биомассы, сведение лесов, производство цемента	Океан и земная биосфера

<b>Продолжение таблицы 1.10</b>		
CH <sub>4</sub>	Рисовые плантации, заболоченные области, сжигание топлива и биомассы, термиты, животные, славки	Реакции с радикалом гидроксила в атмосфере
H <sub>2</sub> O	Биологические процессы в почве и водоемах, сжигание биомассы, удобрения, промышленные выбросы	Фотолитическое разрушение в стратосфере
Фреоны	Промышленные источники	Фотолитическое разрушение в стратосфере
H <sub>2</sub> O	Испарение с океанов, воздушный транспорт, процессы горения, охлаждение высотных зданий	Образование осадков
O <sub>3</sub>	Фотохимические реакции в тропосфере и стратосфере	Фотохимические реакции в тропосфере и стратосфере
Аэрозоли	Сжигание топлива и биомассы, сажа, вулканических извержения, пыль, морская соль, пыльца растений	Вымывание осадками, осаждение

В то же время следует упомянуть, что с начала 60-х годов прошлого века в результате человеческой деятельности в окружающую среду выбрасываются беспрецедентные объемы парниковых газов. Известно, что в этой период многочисленное население, мощная промышленность и интенсивное использование энергии воздействует на местный климат и окружающую среду, сельское хозяйство и здоровье человека. Также, урбанизация, резко возросшая во второй половине XX столетия, серьезно сказывается на обеспеченности ресурсами пресной воды и их использовании. В целом, выбросы автомобилей и промышленности, урбанизация, современная сельскохозяйственная практика и вырубку лесов привели к повышению концентрации парниковых газов, превышающих природные пределы и усиливающих естественный парниковый эффект. Эти изменения сказываются на глобальном климате, а если такая тенденция продолжается, прогнозируется дальнейшее изменение климата, хотя и разной величины в различных регионах мира [22]. Для подтверждения этих слов на рис. 1.8 показано изменение средней температуры воздуха и его

сопоставление с воздействия различных факторов. По данным Доклада по климатической науке [21] со времени начала зафиксированы данные приборных измерений до первого двадцатилетия текущего столетия.

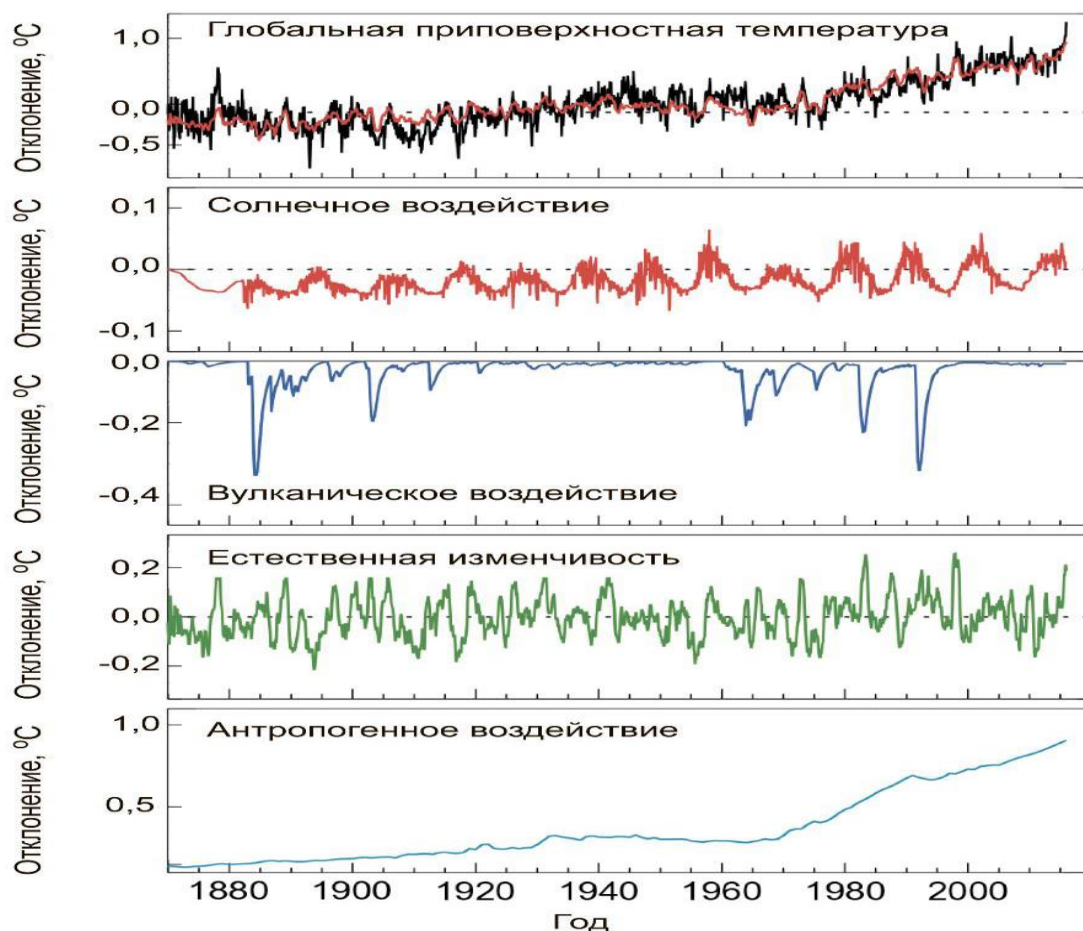


Рис. 1.8. Изменение температуры воздуха и его сопоставление с действием различных факторов

Источник: USGCRP: <https://science2017.globalchange.gov/chapter/3/>

Анализ результатов (рис. 1.8) показывают оценочный вклад нескольких воздействующих факторов на изменение среднеглобальной температуры с 1870 г., на основе эмпирического подхода, с использованием множественных моделей линейной регрессии. Верхние черные кривые линии (рис. 1.8) показывают глобальные температурные аномалии (°C) по данным наблюдений, а красные – результат множественной линейной регрессии (1901-1960 гг.). Нижние кривые линии с разными цветами (рис. 1.8), где написано название четырех воздействующих факторов, показывают предполагаемый их вклад в глобальные аномалии средней температуры: «1) солнечную изменчивость, 2)

извержение вулканов и 3) естественную изменчивость, связанную с ENSO и антропогенное воздействие» [21]. Выявлено, что вклад антропогенного влияния включает компонент потепления от концентрации парниковых газов и компонент охлаждения от антропогенных аэрозолей.

Из анализа вышеприведенных данных становится ясно, что процесс глобального потепления и загрязнения среды оказывает глубокое влияние на динамику изменчивости погоды и климата РТ, поэтому экспертам отрасли необходимо конкретно оценивать вопросы тенденции изменения климата в зависимости от географического положения, орографической особенности, экологического баланса и экономико-социального развития страны с различных аспектов, а также продолжают возбуждающие факторы и способы предотвращения и снижения его негативных последствий по отношению к научным ценностям. Ибо, хотя изменение климата имеет циклические тенденции и характеристики, однако его негативные последствия наносят очень огромный социально-экономико-экологический ущерб РТ как уязвимой стране в этом процессе, чем другим странам региона. Потому что, горные регионы, как РТ, обычно больше всех подвержены различным угрозам, связанные гидрометеорологическими факторами, оказывающие значительное влияние на благосостояние стран. Так как, по географическим оценкам по гористым странам мира, «РТ является самой горной страной не только в регионе ЦА, но и в земном шаре» [25, 62-63].

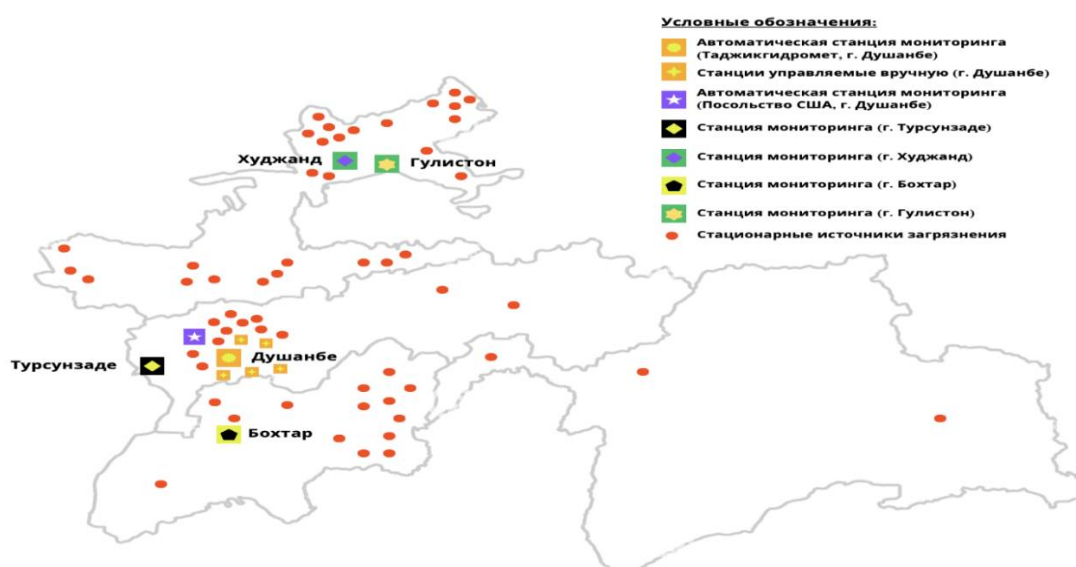
Поэтому климатические особенности Таджикистана, как и других стран с предгорьями, горами и высокогорными зонами, а также страны со сложным рельефом, и ещё удалённых районов от морей и океанов, характеризуются рядом внешних факторов, таких как географическое положение, сложный рельеф, высота над уровнем моря, характеристики активной поверхности, атмосферная циркуляция. Более того, РТ расположена в мировом пылевом поясе, на пути к источникам пыли из крупных пустынь больших Африканским и Азиатским континентами (Сахара, Аравийская, Сирийская, Каракумы, Кызылкум, Аралкум, Мойынкум, Бетпақдала, Марго, Регистан, Гоби, Такла-Макан, Алашан, Лоп, Хами, Сайдам и др.). Одним из основных провоцирующих факторов

климатических изменений, оказывающим негативное влияние на флору и фауну и здоровье населения, является загрязнение воздуха, которое происходит из-за увеличения количества пыли, выбросов парниковых газов и других аэрозолей в атмосферу. В вышеназванных пустынях возникают пыльные бури и пыльные мглы, которые выходят на территорию РТ в основном с юго-западной, а также, более или менее с северной и восточной стороны страны, и явления, происходящие в запыленной атмосфере, важны для стабильности климата и экологии.

Согласно данным ВМО [64], ежегодно выбрасывается ~2 млрд т пыли, что если отчасти этого будет естественным процессом, то большая его часть происходит в результате неправильного использования природных ресурсов, включая землю и воду. Ибо, мониторинги подтверждают, что «песчаные и пыльные бури возникают более чем в 150 странах мира, которые оказывают отрицательное влияние на здоровье населения, рост и продуктивность растений, окружающую среду и другие социально-экономические отрасли» [65]. Одновременно, песчаные и пыльные бури, образуют толстый слой пыли в составе воздуха, и снижают ее прозрачность и препятствуют на отражении длинноволновой радиации от поверхности, что является результатом парникового эффекта и потепления климата. Песчаные и пыльные бури очень опасны и серьезны, «особенно в 2019-2020 гг. они распространились в очень широких масштабах, поскольку ~55% выбросов пыли в мире происходит из Сахары, самая высокая среднегодовая концентрация фиксируется в некоторых регионах Северной и Центральной Африки, а затем на Аравийском полуострове, на низкотгорьях и плато Ирана, в странах ЦА и северо-западном Китае» [64-65].

Поэтому не только для РТ, которая постоянно находится под влиянием песочных и пыльных бурь, но и для всех стран региона и мира в целом, наряду с регулярными наблюдениями за изменением метеоусловий, одним из главных вопросов является мониторинг состояния атмосферного воздуха и оценка качества окружающей среды. Согласно авторам [66-67], мониторинг состояния окружающей среды представляет собой деятельность, включающую

наблюдения, сбор, хранение, учет, систематизацию, обобщение, обработку и анализ данных. Оценка качества воздуха проводится как по данным инструментальных замеров с помощью стационарных, маршрутных и передвижных постов наблюдения, так и по расчетным данным с использованием современных компьютерных моделей. Именно с этой целью, в настоящее время, организация и проведение мониторинга за уровнем загрязнения атмосферы по физическим и химическим показателям в РТ осуществляются с помощью 5 стационарных наблюдательных пунктов в городах Душанбе, Бохтар, Турсунзаде, Худжанд и Гулистон (рис. 1.9).



**Рис. 1.9.** Карта-схема расположения станций мониторинга и стационарные источники загрязнения в Таджикистане

Как известно, что контролируемые загрязняющие вещества – ( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  и  $PM_{10}$ ) взвешенные частицы,  $CO$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $NO_2$ ,  $HF$  и др. Важно отметить, что в РТ, в качестве приоритетных загрязнителей были выбраны мелкие ( $PM_{2.5}$ ) и крупные частицы пыли ( $PM_{10}$ ), оксиды азота ( $NO_x$ ) и диоксид серы ( $SO_2$ ), из-за их большого влияния на здоровье человека. Проводится сбор, обработка и хранение информации как в ручном так, и в автоматическом режиме, а также составление ежегодных обзоров по качеству атмосферного воздуха, степень загрязнения атмосферного воздуха оценивается при сравнении концентрации примесей ( $mg/m^3$ ) с ПДК.

Статистический ежегодник [68] охватывает данные загрязнения окружающей среды полученные в стационарных источниках загрязнения в общем объёме, по ингредиентам, по регионам и количеству вредных веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения окружающей среды. Согласно имеющимся данным, «в настоящее время, наряду со стационарными пунктами наблюдения, в Таджикистане используются также мобильные лаборатории маршрутные наблюдения, реализуемые в городах: Душанбе - 4, Яван - 5, Турсунзаде - 5, Шахринав - 1 и Гиссар – 1» [68]. На рис. 1.10 приведена динамика общих выбросов загрязняющих веществ по регионам РТ, где из общего объема выбросов вредных веществ больше всего приходится на РРП, в основном г. Турсунзаде и Согдийскую область.

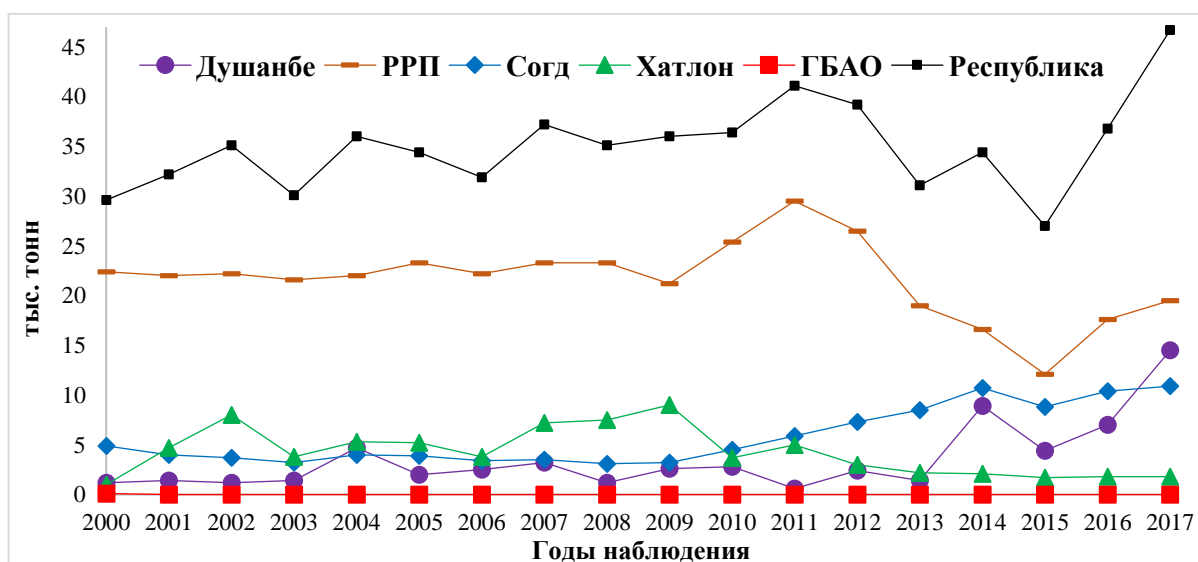


Рис. 1.10. Выбросы вредных веществ в атмосфере от стационарных источников выделения за 2000-2020 гг.

Динамика изменения общих выбросов твердых, газообразных и жидких веществ в атмосферу приведенные на рис. 1.10 показывают, что наиболее высокий уровень выбросов твёрдых, газообразных и жидких веществ в атмосферу приходится на 2017 г. Также из рис. 1.10 видно, что после 2010 г. объем выбросов вредных веществ в атмосферу от стационарных источников в РРП и Хатлонской области резко снижается, а в г. Душанбе и Согдийском области, наоборот, неуклонно увеличился.

Несмотря на то, что РТ имеет небольшую долю на выбросы углекислого газа не только в мировом масштабе, но и в региональном масштабе, согласно [69], по неравномерному соотношению выбросы этих газов с глобальными потеплениям, среди 192 стран мира РТ находится на 7-м месте. Это означает, что эколого-экономико-социальные ущербы в РТ из-за глобального потепления непропорционально превышают выбросы CO<sub>2</sub>, выбрасываемой республикой. Полученные результаты, на основе точных данных антропогенных выбросов и прогнозных моделей глобального повышения температуры в XXI веке [69], разделили разные регионы земного шара на «положительные» (низкое загрязнение, большие изменения температуры) и «отрицательные» (высокое загрязнение, небольшое изменение температуры) зоны. Анализ результатов показывают, что, хотя выбросы парниковых газов географически сконцентрированы, но потепление климата имеет глобальный характер. Поэтому «неравномерные положительные районы расположены в Арктике, Африке и ЦА, а неравномерные отрицательные регионы – в Западной Европе, Юго-Восточной Азии и восточной части Северной Америки. В тоже время, по оценкам, большая часть источников антропогенных газов сосредоточена между 30-55° северной широты, а наибольшие воздействия потепления в них результаты ощущается на 60° северной широты» [69].

Таким образом, что если по некоторым данным, РТ занимает 135-е место по выбросам парниковых газов, а из-за своего сложного рельефа и высокогорья является одной из самых уязвимых стран среди 28 стран СНГ, Балтии, Восточной и Центральной Европы, однако в рейтинге соотношения выбросов таких газов с глобальными потепления климата РТ занимает 7-е месте (после России, Монголии, Афганистана, Казахстана, Канады и Финляндии). Здесь важно отметить, что такие страны, как Россия, Канада и Финляндия, имеющие большие леса и в некоторой степени поглощают этих газов, выбрасываемые такими странами; Казахстан и Монголия также имеют очень большую территорию, выбросы оказывают меньшее влияние на такую огромную площадь, и они устойчивы к данному процессу. Однако если разделить эти влияния на

площадь вышеназванных стран, то РТ занимает еще более высокий уровень с точки зрения уязвимости и ущерба. В то же время, в данной работе [69], последние строчки занимают страны, которые выбрасывают больше отходов, но на их территории потепление климата оказывает небольшое влияние. В эту группу входят промышленно-экономически развитые страны (Германия, Нидерланды, Бельгия), а также Республика Корея и нефтедобывающие страны (Кувейт, Бахрейн).

### **1.2.1. Выбросы парниковых газов и меры по защите окружающей среды и смягчению изменения климата**

Независимо от существующих причин и факторов, сегодня человечество столкнулось с проблемой изменения климата, и одним из важнейших вопросов для мирового сообщества является выявление влияния процессов изменения климата на окружающую среду. В настоящее время этот процесс охватывает все стороны человеческой деятельности и наряду с экологическими системами оказывает негативное влияние и на экономико-социальные системы. Поэтому эксперты и исследователи постоянно изучают и оценивают положительные и отрицательные стороны процессов климатических изменений с разных научных позиций и высказывают свое мнение в зависимости от времени. Так как климатоэкологические аномалии, которые наблюдаются в настоящее время в различных регионах планеты, относятся к совокупности антропогенных проявлений и в большинстве случаев имеют специфический региональный характер. Некоторые ученые из разных областей науки привели множество примеров и убеждены, что гипотеза потепления климата верна только на основании увеличения количества  $\text{CO}_2$  именно за счет сжигания ископаемого топлива. Включая, во всех оценочных докладах МГЭИК, «парниковые газы рассматриваются как основная причина потепления климата, и в них показаны, что выбросы этих газов доиндустриальной эпохи вызвали значительное увеличение концентрации  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ , а за период 1750-2011 гг. их эмиссия составила  $2,040 \pm 310$  Гт» [18, 20, 47, 56, 71]. Анализы показывают, что если последнее десятилетие XX-

го века (особенно 1998 г.) были самыми теплыми за измерениями метеовеличин [22], однако за последние 1400 лет тридцатилетнего периода 1983-2012 гг. был зафиксирован самый теплый период для Северной полушарии.

Как было отмечено, в начале 60-х годов прошлого столетия группой ученых было высказано опасение о вероятности крупного изменения глобального климата при сохранении современных тенденций развития энергетики и увеличения выбросов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и др., создающих так называемый «парниковый эффект». В дальнейшем это предположение нашло многих сторонников среди ведущих климатологов, экологов и географов. Потому что, «глобальное потепление климата, обусловленное «парниковым» эффектом, стало важнейшей международной и политической проблемой, охватывающей комплекс взаимодействия между климатическими, экологическими, экономическими, социальными и технологическими процессами» [33]. По расчетам Кларка (1924), если среднегодовое значение  $\text{CO}_2$  обычно составляет 0,030%, то в 1902 году это значение достигло 0,032%. По данным Яншина, «количество  $\text{CO}_2$  в 1956, 1985 и 1989 гг. составляло 0,028%, 0,034% и 0,035% соответственно» [72]. Отсюда видно, что количество  $\text{CO}_2$  увеличилось на 25% за 33 года. В то же время, стоит отметить, что количество парниковых газов после научно-технической революции и начала промышленной революции (с 1750 г.) значительно возросло. Согласно данным, «измерения концентрации  $\text{CO}_2$  проводятся с 1850 г., а с начала наблюдений и измерений до 2000 г. его концентрации увеличилась с 0,028% до 0,037% или в 1,3 раза» [73].

Поэтому разработка модели о прогнозе изменения климата, с учетом ОЦА и регулирования выбросов парниковых газов позволяет, рассмотреть и реализовать конкретные меры, в связи с предотвращением этих процессов, адаптацией к ним, снижением негативных последствий изменения климата и других неприятных явлений, связанных с климатом. Как выше было отмечено, поскольку в настоящее время существует только одна научно разработанная концепция будущего состояния климата – «теория антропогенного глобального потепления за счет усиления парникового эффекта атмосферы» [17], поэтому

регулирование или сокращение выбросов таких газов всеми странами мира является основным решением существующих проблем. Для анализа данных о выбросах парниковых газов в глобальном масштабе и сравнения части этой информации с данными о выбросах РТ, используем информации базы данных EDGAR [74], BP [75], Всемирного банка [76] и Global Carbon Atlas [77]. Здесь нужно отметить, что в научной и других источниках информации  $\text{CO}_2$  используется как эквивалент для расчета общих их выбросов. По руководствам МГЭИК в 2006 г. [78] и Четвертом докладе [18], все выбросы  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и др. конвертируются в эквивалент  $\text{CO}_2$  с использованием значений потенциала глобального потепления климата.

База данных выбросов (EDGAR) [74] провела независимую оценку выбросов  $\text{CO}_2$  для каждой страны на основе стабильной и последовательной методологии, разработанной на основе Руководящих принципов МГЭИК [78], и окончательных данных о выбросах  $\text{CO}_2$ . Одновременно, по расчетам Всемирного банка [76], 191 страна выбросила 33,56 млрд т.  $\text{CO}_2$ , что 79,49% этих выбросов соответствуют в двадцатке стран с наибольшим выбросом  $\text{CO}_2$ . Также, по оценкам Global Carbon Atlas [77], где размещена вся информация, касающаяся  $\text{CO}_2$  с 1960 г. и охватывает данный о странах Европы (45), Центральной (32), Южной (14) и Северной Америки (5), Африки (56), Азии (36), Океании (18) и Ближнего Востока (15), 221 страна выбрасывают 37,12 млрд т. В отличие от вышеупомянутых данных [74, 76-77], другие результаты [75], также имеют статистику по записку выбросов  $\text{CO}_2$  в мировом масштабе, и поскольку ее реестр охватывают только данные стран с наибольшими выбросами (до 0,1% от мировых значениях), поэтому РТ, как страна с небольшой долей выбросов углекислого газа, не входит в этот список.

В целом, согласно вышеуказанным данным, также другим научно-информационным источникам по выбросам  $\text{CO}_2$ , «крупнейшие «экспортеры» углекислого газа (Китай, США, Индия), вместе выбрасывают более 50% глобального объема выбросов  $\text{CO}_2$ » [74-77]. Поскольку методика расчета парниковых газов очень сложна, поэтому цифры, приведенные в источниках [74-77] отличаются

друг от друга с небольшой разницей. Хотя статданные по выбросам  $\text{CO}_2$  по странам представлены по-разному, они составляют очень похожий рейтинг. Результаты показывают, что по всем расчетам первые семь выбросителем  $\text{CO}_2$  (Китай, США, Индия, Россия, Япония, Иран и Германия) одни и те же, и в вышеуказанных списках РТ занимает 108-й [75], 104-й [77] и 110-й [78] место, соответственно, является самым низким показателем среди стран региона.

Анализ результатов показывают, что хотя РТ имеет небольшую долю в загрязнении окружающей среды, но из-за увеличения концентрации  $\text{CO}_2$  и как следствие глобальное потепление климата имеет множество негативных последствий и неприятных последствий на ее территории. Поэтому, на рис. 1.11 в виде гистограммы представлены доля РТ в выбросах  $\text{CO}_2$  (млн тонн) в глобальном масштабе и её место в мировом рейтинге за 1991-2021 гг.

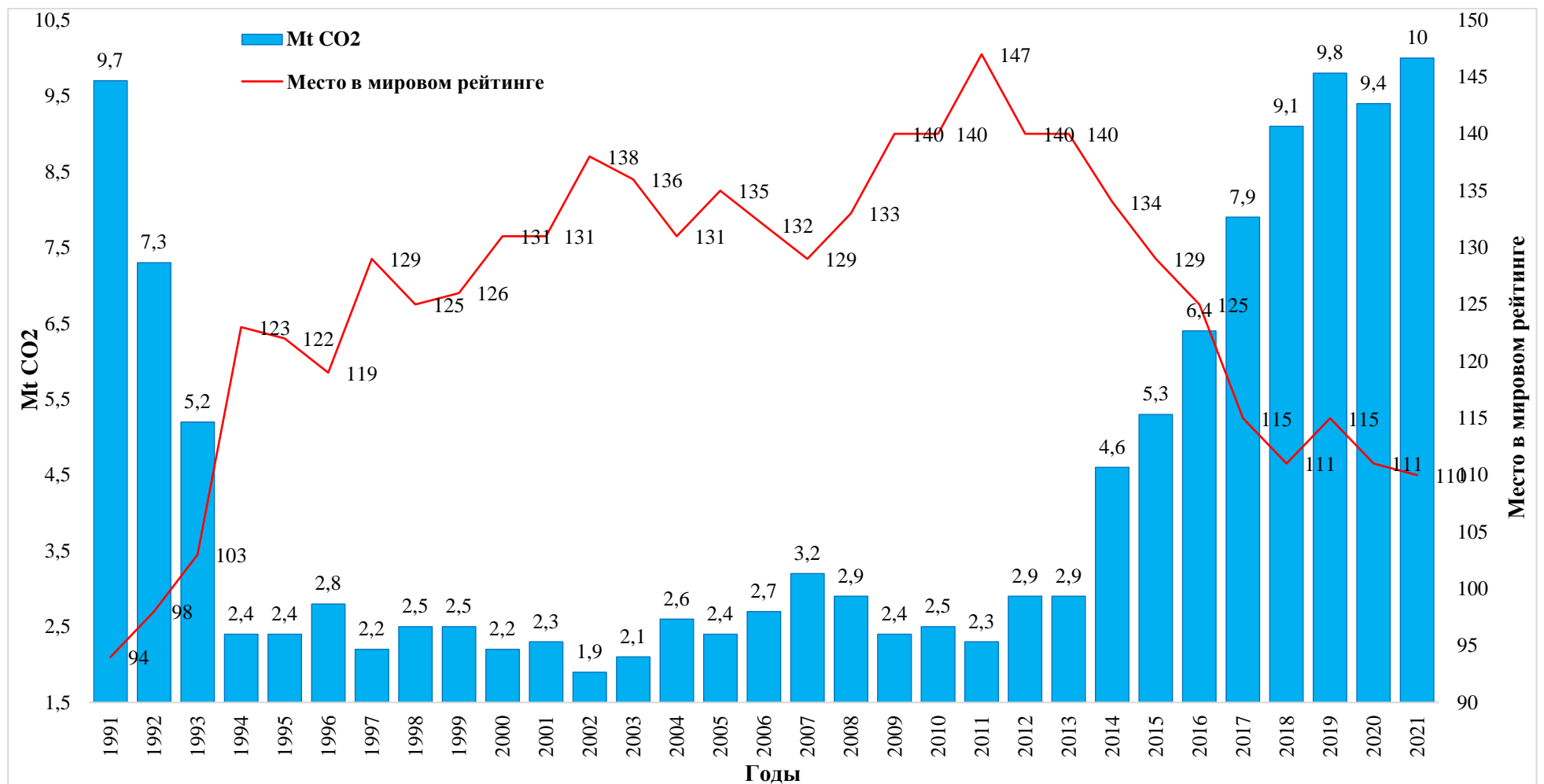


Рис. 1.11. Доля Таджикистана в выбросах CO<sub>2</sub> (млн тонн) в мировом масштабе, за 1991-2021 гг.

Согласно Четвёртому сообщению [37] и Первым двухлетним докладам по парниковых газов [79], основным источником выбросов парниковых газов в РТ является сельскохозяйственный сектор, на долю которого в 2014 г. приходится около половины всех выбросов этих газов, а в 2016 г. на этот сектор приходится 44,7% таких выбросов по республике. Второй по значимости ключевой сектор выбросов CO<sub>2</sub> является энергетический сектор, а на третьем месте находится сектор промышленных процессов и использования продуктов. Для этого на рис. 1.12 показана динамика выбросов парниковых газов из различных источников за период 2004-2016 гг.

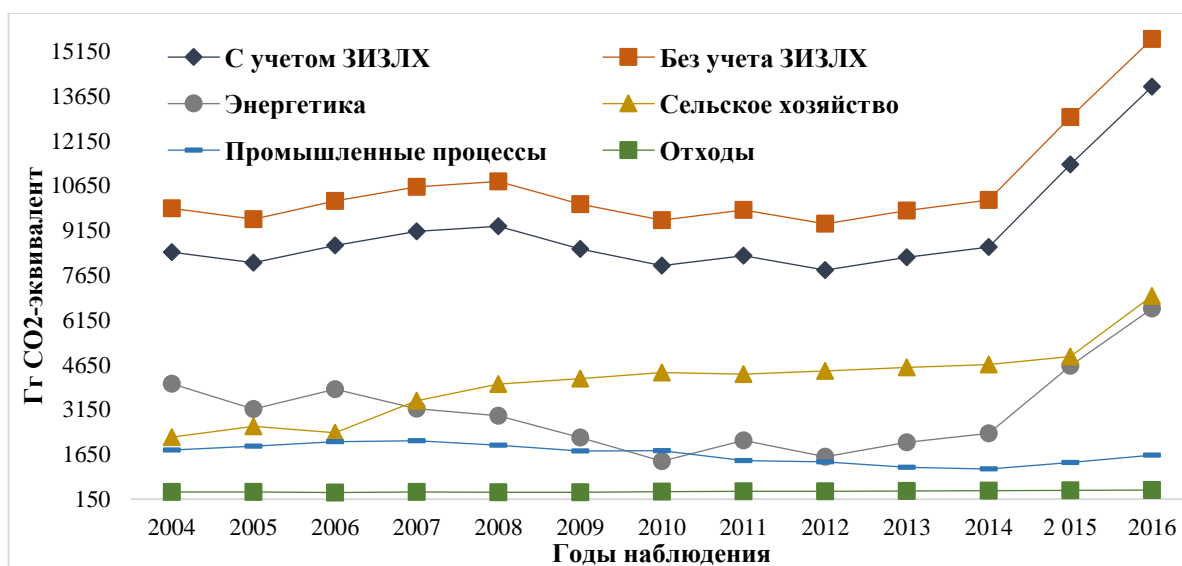


Рис. 1.12. Динамика выбросов парниковых газов за 2004-2016 гг.

Результаты (рис. 1.12) показывают, что в 2014 и 2016 г. произошел рост выбросов всех CO<sub>2</sub> по сравнению с началом наблюдения (2004 г.), т.е. по сравнению с 2004 г. в 2016 г. выбросы CO<sub>2</sub> возросли на 61,6%, CH<sub>4</sub> – 2,25 раза, N<sub>2</sub>O – 2,5 раза, а в 2014 значение роста выбросы парниковых газов показали повышения на 37,9%, 56,9%, 26,9%, соответственно [22, 79]. Однако, такие показатели очень низкие по сравнению с нормами, установленными для РТ международными конвенциями, соглашениями и протоколами. Тем не менее, сторона РТ приняла решение ускорить совершенствование системы движения транспортных средств, развитие безуглеродной промышленности и энергетики, и «зеленой экономики» с целью дальнейшего снижения выбросов CO<sub>2</sub>.

Согласно авторам [2, 5, 15, 80], РТ движется в правильном направлении в борьбе с глобальными экологическими проблемами, с учетом эколого-экономических особенностей и благосостояния населения, она считает принятие и реализацию конкретной госпрограммы по экологизации одним из основных решительных путей предстоящих вопросов. Наряду с этим, одна из главных целей внешней экологической политики Президента страны уважаемого Эмомали Рахмона на будущее, которое направлено на защиту среды и благосостояние ее жителей, принятие правильных и своевременных мер по решению актуальных вопросов международного сообщества, такие как адаптация к изменению климата и ликвидация его последствий, сокращение выбросов CO<sub>2</sub>, сокращение дефицита продуктов питания и питьевой воды и т.д. [80]. С этой целью РТ, как страна-инициатор водных, климатоэкологических инициатив, в рамках реализации «Стратегии развития «зеленой экономики» до 2037 года» [81] запланировала максимально сократить выбросов и реализовать госпрограмму по озеленению на период до 2040 года, за этот период она становится «зеленой страной» [80]. Для этого, прежде всего, еще более эффективная реализация программ восстановления лесов направлена на повышение потенциала по сокращению выбросов. Так как лес является основным поглотителем парниковых газов, и регулирование их баланса зависит от площади и состояния леса. Согласно расчетам [84], 1 га березового леса поглощает 3,3 т CO<sub>2</sub>, а 1 га дубняка поглощает 3,2 т углекислого газа. Хотя хвойные деревья обладают хорошей способностью поглощать CO<sub>2</sub>, но эта способность у них ниже, чем у лиственных деревьев. Потому, годовая норма поглощения CO<sub>2</sub> на 1 га соснового леса 2,4 т, на 1 га сосново-кипарисовой – 2 т, а на 1 га кедровой – 1,8 т углекислого газа.

### **1.2.2. Вариация концентрации взвешенных веществ в условиях аридной и горных территорий**

Как выше было отмечено в §1.1., §1.1.1 и §1.1.2, к климатическим особенностям РТ, наряду с географическим положением, рельефной сложностью,

атмосферной циркуляцией, солнечной радиацией, активной поверхностью, ещё крупнейшие пустыни региона оказывают глубокое влияние. В географическом отношении республики, на западе вклиниваются пустынные и полупустынные районы Центрально-азиатской низменности, которые постепенно переходят в предгорья, а на востоке территория страны примыкает к гигантским горным хребтам и плоскогорьям региона (Тибет, Тянь-Шань, Гиндукуш). Такое географическое положение обуславливает здесь большое разнообразие природно-климатических условий. На рис. 1.13 показаны основные индикаторы изменения климата в РТ, так как изменение климата, в основном, определяется изменением двух метеопараметрах – температуры и осадки.



**Рис. 1.13.** Индикаторы изменения климата в Таджикистане

Согласно метеоданным, наряду с вышеназванными факторами, «одним из особенных климатообразующих факторов, вызывающих застой воздуха, является антициклональная циркуляция, обуславливающая развитие мощных задерживающих слоев, т.е. слоя инверсии, когда температура воздуха с высотой повышается, или слоя изотермии, когда температура в некотором приземном слое атмосферы остается постоянной» [82]. Как известно, что инверсии, оказывающие наиболее существенное влияние, образуются в ясные и малооблачные ночи за счет выхолаживания приземного слоя воздуха. Согласно исследованию Абдуллаева С.Ф., «именно в результате таких метеоявлений в

атмосферном воздухе происходит задержание и скопление загрязняющих веществ, а к таким веществам относятся твердые частицы (пыль, продукты сгорания) и вредные газы (СО, СО<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, приземный озон и т.д.)» [83].

Как отмечено в §1.1.2, климат страны, особенно климата Юго-Западного Таджикистана, всегда находится под влиянием крупнейших пустынь региона. Ибо, посредством атмосферных течений пыльные бури (пыльные мгла) и аэрозоли различных размеров и масс попадают на территорию страны, загрязняют атмосферу и естественно, оказывают негативное влияние и последствия на сельскохозяйственный сектор и здоровье населения. Согласно данным [82], аридная зона РТ постоянно подвержена присутствию пылевых частиц субмикронной фракции, образующихся в результате пыльной бури и пыльной мглы, которые генерируются на сопредельной с РТ территории, и обогащаясь распространяются на тысячи километров во всех направлениях. Уже упоминалось что, «усиление пылевых выносов и распространение их на всю территорию ЦА может вызвать следующие последствия: существенное ухудшение здоровья населения и других компонентов флоры и фауны; снижение уровня прямой солнечной радиации; существенное ослабление процесса фотосинтеза в растениях; изменение режима деградации ледников; расширение территории пустынных зон, эрозии верхнего слоя почвы; снижение количества, а также срока созревания сельскохозяйственной продукции и т.д.» [82].

Анализ и оценка данных метеонаблюдений в последние годы [83], подтверждает факт увеличения количества засух и дней с максимальными температурами, способствующие увеличению количества пыльной бури и пыльной мглы связаны с глобальным потеплением климата. Установлено, что в результате увеличения количества засухи и резкого роста числа дней с максимальной температурой на территории РТ в 2001, 2008, 2009, 2010, 2011 и 2016 гг. в юго-западных районах республики зафиксированы сильные пыльные бури, которые представлены на рис. 1.14.

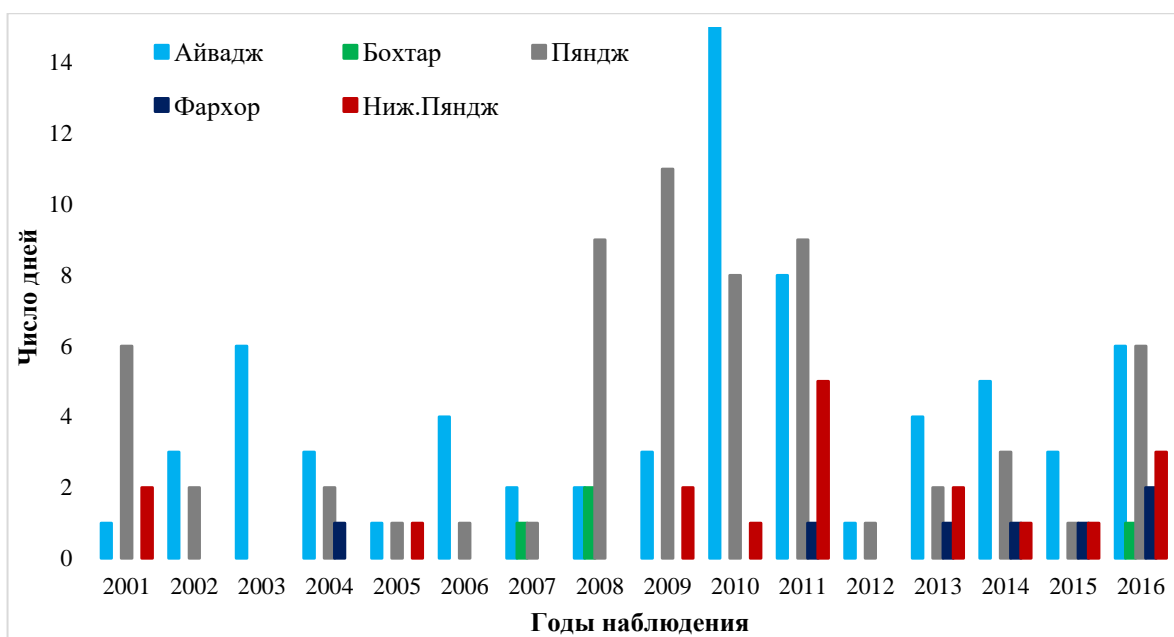


Рис. 1.14. Число дней с пыльными бурями в период 2001-2016 гг.

В результате вторжения холодного потока на территорию РТ и распространения на высотах 4000-5000 м наблюдается пылевая мгла. Поскольку засушливый сезон (лето и осень) является благоприятным условием для появления преобладающего количества именно в этот период. Следует отметить, что по данным АГ РТ [84], наибольшее количество дней с пыльной мглой наблюдалось в 1971 г. (Бохтар - 94 дня, Душанбе - 80 дней). Пылевая мгла, появляющаяся в течение десятков дней в году на юге республики, создает своеобразную природную лабораторию для изучения влияния аэрозоля на климат. Каждое подобное вторжение на территорию республики отличаются друг от друга. Исследования различных аспектов свойств аридного аэрозоля и влияния запыленности воздуха на климат исследуемой зоны ранее проводились.

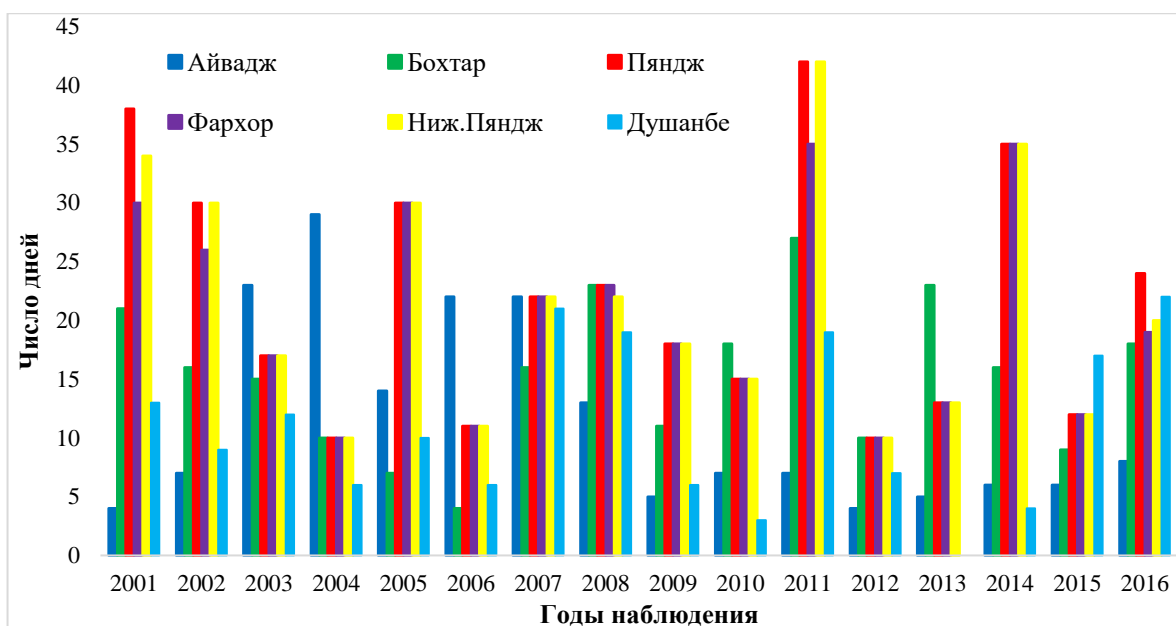


Рис. 1.15. Число дней с пылевыми мглами в 2001-2016 гг.

Диаграммы 1.14 и 1.15 показывают, что на территории РТ пыльные бури и пыльные мгла возникают в южных долинах Кафирнихана, Вахша, Сурхоба и Яхоба. Число дней с бурями и мглами на юго-западной части страны зависит в основном от расширения орошаемых земель и неуклонного уменьшения, и повторяемости воздействия холодных воздушных масс с северо-западной и юго-западной стороны. Появление таких дней не только приводит к повышению наземной температуры воздуха, но и негативно влияет на социально-экономические сферы, включая сельское хозяйство и здоровье население.

Получение результатов показывают, что траектория пыльной бури и пыльной мгли на высотах 500 м, 1000 м и 1500 м проходит над пустынями Аралкум, Кизилкум и Каракум, а также с восточной части Каспийского моря [85]. Важно отметить, что одним из эффективных методов определения характеристики аэрозолей состава атмосферы, имеющих как природные, так и антропогенные особенности происхождения, является «метод фотометрии прямого и рассеянного солнечного излучения», к таким исследованиям в РТ занимается Абдуллаев С.Ф. и его научная школа [83, 86-88]. Согласно авторов, «в настоящее время наиболее развитой системой с точки зрения автоматизации измерений, оперативности получения данных и глобального охвата, является сеть аэрозольных наблюдений AERONET» [89-92]. Достоинством этой сети

является высокая информативность. Благодаря применению современных методов решения обратных задач, кроме определения величины аэрозольной оптической толщины и влагосодержания атмосферы восстанавливаются такие параметры аэрозоля, как микроструктура аэрозоля, комплексный показатель преломления, альbedo однократного рассеяния аэрозоля и другие параметры.

Целью мониторинга характеристик атмосферного аэрозоля в Душанбе, как густонаселенного и промышленного, крупного города на станции AERO-NET является изучение климатического воздействия аэрозоля, выявление особенностей его временной изменчивости и оценка роли местных, региональных и глобальных факторов. Измерения в г. Душанбе проводятся в пригородной зоне на востоке города, высота фотометра над уровнем моря ~822 м, над уровнем земли ~16 м.

Необходимо отметить, что юго-западная часть РТ включает в себя целый ряд долин, разделяемых почти меридионально расположенными хребтами. По мнению Маслова В.А. «южнее Гиссарского хр. располагается Гиссарская долина, протяжённостью 115 км, которую с юга ограничивают невысокие (не выше 1800 м) Рангонского хр, а южные склоны Гиссарского хр. на всём его протяжении изрезаны узкими поперечными долинами и ущельями, и где склоны имеют значительную крутизну, что способствуют подъёму воздуха и формированию мощных облачных систем. Иными словами, орографическая изоляция долины, отсутствие ветра, низкий уровень осадков летом и высокая интенсивность солнечного излучения способствуют увеличению аэрозольного загрязнения данного региона» [85].

По этой причине здесь рост температуры продолжается десятки и даже сотни метров по высоте, а ее разница на верхней и нижней границах инверсионного слоя достигает 15-17°C при летних вечерних инверсиях. В горно-предгорных районах РТ инверсии довольно часто повторяются над долинами, причем над вершинами гор ясная погода с хорошей горизонтальной видимостью, а долины заполнены застоявшимся загрязнённым воздухом (пылью, дымом). Согласно Маслову В.А., «даже с небольших холмов инверсии хорошо видны

по загрязнённому слою воздуха, и они обычно обнаруживаются путём сравнения температур на метеостанциях, расположенных на предгорьях (1200-1400 м) и в долинах (400-800 м)» [85].

Согласно результатам, «в ясной атмосфере оптическая толщина имеет минимум в середине дня, а запыленность совершенно изменяет эту зависимость. А в фоновой атмосфере наблюдаются два максимума в дневном ходе концентрации частиц, утром и вечером» [86-88] (см. рис. 1.16, а). Такое поведение зафиксировано для всех фракций аэрозоля в диапазоне 0,3-1,0 мкм. Концентрация частиц с размерами в диапазоне 0,3-0,4 мкм изменяется от 25 до 300 частиц/см<sup>3</sup>. Концентрация частиц с размерами в диапазоне 0,5-1,0 мкм изменяется от 1 до 10 частиц/см<sup>3</sup>. В городе Душанбе чаще всего высокое значение оптической толщины утром, падение с середины дня и плавный рост к вечеру, т.е. атмосфера наиболее ясная днем, к вечеру и ночью количество частиц в приземном слое возрастает.

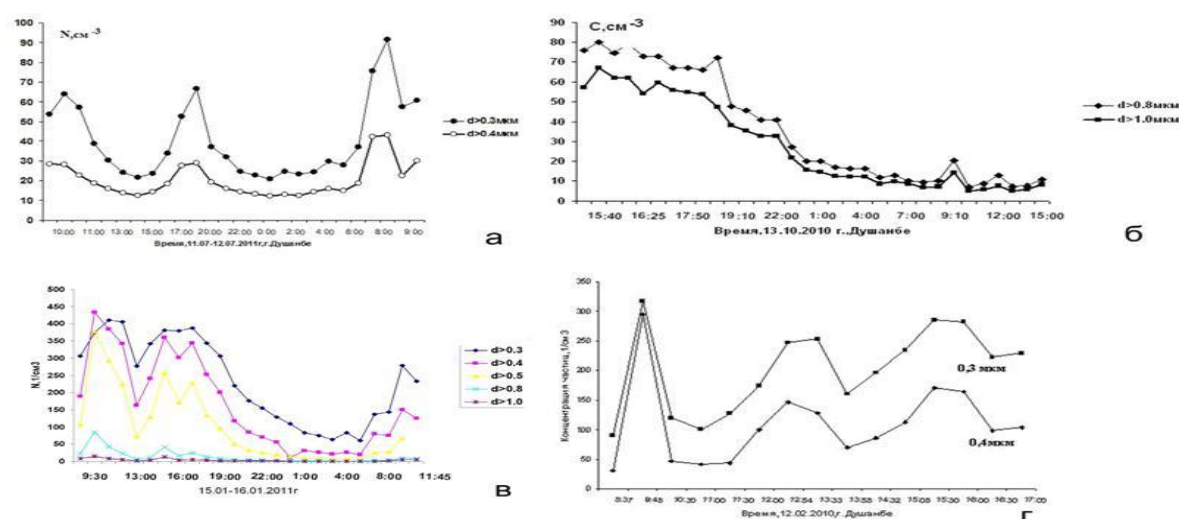


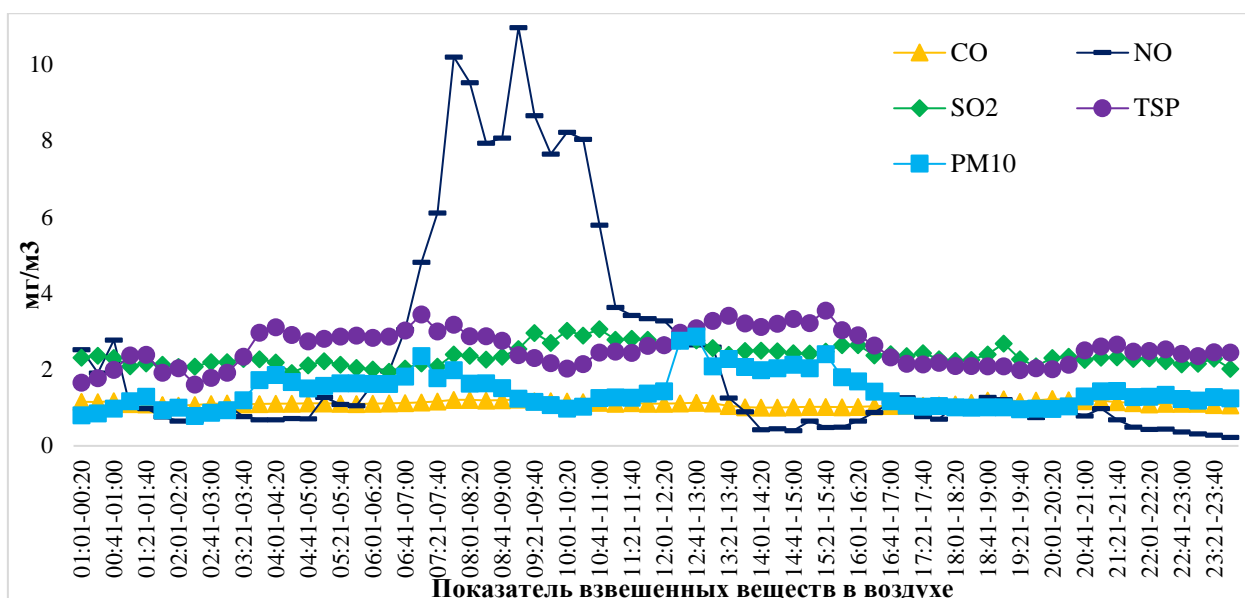
Рис. 1.16. Изменение концентрации частиц в течение суток

Можно предложить механизм, объясняющий такое поведение концентрации частиц аэрозоля. В предутренние часы в подинверсионном приземном слое происходит накопление аэрозоля, за счет которого формируется первый максимум дневного хода концентрации частиц. После разрушения температурной инверсии за счет солнечного нагрева, частицы аэрозоля поднимаются выше и распределяются в более толстом слое воздуха, что приводит к

уменьшению наблюдаемой у земли концентрации частиц. Турбулентное перемешивание воздуха и конвекция, связанное с сильным прогревом поверхности при высокой дневной температуре, заставляет частицы аэрозоля подниматься, что приводит к формированию второго суточного максимума концентрации частиц аэрозоля. Ночью концентрация аэрозольных частиц несколько понижается (в основном за счет осаждения грубодисперсной фракции аэрозольных частиц), а затем весь цикл повторяется снова.

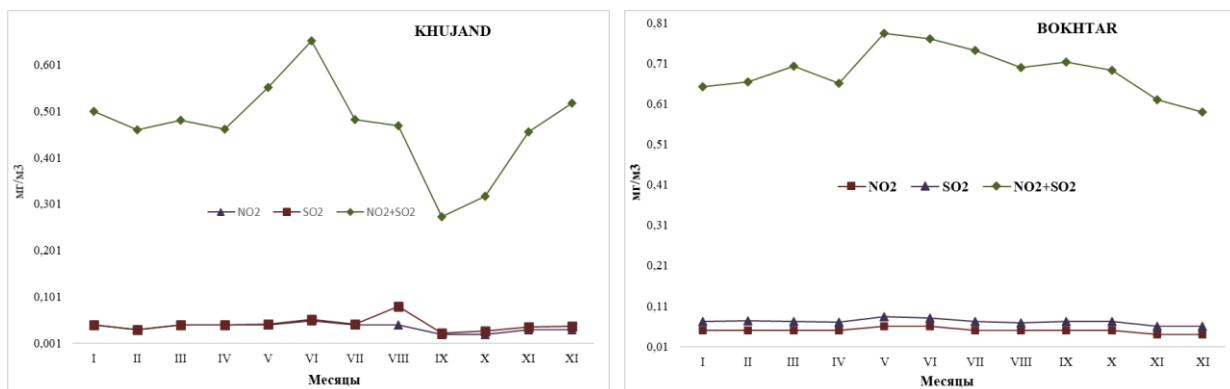
Установлено, что рост аэрозольной оптической толщины в августе связан с частыми вторжениями пыльной мглы на территории города Душанбе, а в сентябре наблюдается очищение атмосферы от пыли, некоторое загрязнение происходит в октябре, с дальнейшим монотонным падением оптической толщи до марта месяца. Таким образом, полученные данные позволили констатировать факт увеличения аэрозольной оптической толщины в жаркое время года с увеличением пыльной мглы и уменьшением в холодное время года с увеличением влажности и количества осадков. Исследованиями ученых (Абдуллаев С.Ф. и др.) суточной вариации углекислого газа в атмосфере пустыни (Айвадж), субаридной зоны (Душанбе) и высокогорной зоны (Зидди) [83], установлено, что для пустынной зоны и среднегорья среднесуточное значение содержания углекислого газа сравнимо со средним глобальным планетарным значением, в высокогорье эти значения сравнимы со значениями доиндустриального периода.

Наряду с аэрозолями, попадающих на территорию РТ посредством пылевых бурь и пыльной мглы, также большое влияние на загрязнение атмосферы оказывают промышленные и антропогенные выбросы. Как следует из анализа данных §1.2.1, хотя РТ имеет наименьшее количество промышленных и антропогенных выбросов, но сильно страдает от негативных их последствий. Для этого на рис. 1.17 представлены показатели взвешенных веществ в приземной атмосфере города Душанбе на 4 июня 2018 года.



**Рис. 1.17.** Суточный ход концентраций взвешенных веществ в Душанбе

Мониторинги показывают (рис. 1.17), что значение  $\text{NO}_2$  начинается в 5 часов и достигает максимального значения до 10 часов, а затем постепенно снижается в течение дня. В течение дня концентрация пыли очень высока, что свидетельствует об относительно высоком загрязнении воздуха аэрозолями. Также, среднесуточные концентрации частиц размером 10 мкр. (PM-10) и  $\text{SO}_2$  имеют определенную динамику и свидетельствуют о их глубокой антропогенной природе. В целом, наблюдения за атмосферным состоянием Душанбе проводились в 2018 году в 1 стационарной станции по концентрации веществ: CO, NO,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_2+\text{NO}_2$  и взвешенных веществ (TSP) (частицы диаметром 10 и 2,5). В Худжанде проводились наблюдения за 4 загрязнителями атмосферы:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_2+\text{NO}_2$  и TSP (пыль). В Бохтаре наблюдения проводились по 3 загрязнителям атмосферы:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_2+\text{NO}_2$ . Поэтому, наряду с городом Душанбе, на рис. 1.18 показана динамика среднемесячных концентраций  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2+\text{SO}_2$  в двух крупных северных (Худжанд) и южных (Бохтар) городах страны за 2018 год.



**Рис. 1.18.** Месячный ход концентраций взвешенных веществ в Худжанд и Бохтар

Анализ результатов (рис. 1.18) показывают, что в Душанбе среднесуточная концентрация следующих газов изменяется следующим образом: 1,4-2,43 (PM-10); 0,62-1,62 (PM-2,5); 1,35-1,67 (NO<sub>2</sub>); 0,6-0,85 (NO); 0,18-0,23 ПДК<sub>с.с.</sub> (CO); 0,63-0,78 (NO<sub>2</sub>+SO<sub>2</sub>); 2,7-2,16 (O<sub>3</sub>); 1,13-0,55 (CH<sub>2</sub>O); 0,2-0,0 (HF); 0,2-0,1 ПДК<sub>с.с.</sub> (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O). В западной части Гиссарской долины наблюдалось понижение среднесуточной концентрации: 0,047-0,045 (TSP); 0,18-0,16 (HF); 0,27-0,25 (NO<sub>2</sub>); 0,18-0,16 ПДК<sub>с.с.</sub> (SO<sub>2</sub>); 0,14-0,13 (NO<sub>2</sub>+SO<sub>2</sub>). В Худжанде наблюдалось повышение среднесуточной концентрации SO<sub>2</sub> (0,02-0,12), NO<sub>2</sub> (0,0-0,15 ПДК<sub>с.с.</sub>) и понижение концентрации NO<sub>2</sub>+SO<sub>2</sub> (0,012-0,002). В Гулистане наблюдалось понижение среднесуточной концентрации NO<sub>2</sub> (0,05-0,02), SO<sub>2</sub> (0,12-0,02 ПДК<sub>с.с.</sub>) и NO<sub>2</sub>+SO<sub>2</sub> (0,035-0,013). В юго-западной части (Бохтар) и относительно пыльным территориям страны, наблюдалось повышение среднесуточной концентрации NO<sub>2</sub> (0,75-1,25 ПДК<sub>с.с.</sub>), NO<sub>2</sub>+SO<sub>2</sub> (0,35-0,57) и понижение SO<sub>2</sub> (0,34 с 0,3 ПДК<sub>с.с.</sub>) [93].

## **Глава II. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ГОРНЫХ РЕГИОНОВ**

### **2.1. Ситуационный анализ социально-экономического развития в условиях климатических изменений**

По географической статистике, «горные регионы составляют около 27% поверхности земного шара и согласно расчетам» [94], в горных районах проживает почти 1,1 млрд человек, а также «горные экосистемы обогащают жизнь более половины населения планеты» [95], и эти ресурсы горных регионов обеспечивают, прежде всего, отрасли энергетики, водного и сельского хозяйства. Однако, повышение температуры и экстремальные изменения метеословий оказывают глубокое воздействие на леса, луга и водные ресурсы. Кроме того, «загрязнение окружающей среды, в результате добычи полезных ископаемых и развития промышленных и сельскохозяйственных производств, нарушает способность горных экосистем справляться с этим процессом» [39]. Население горных районов, которое тесно зависит от экосистем горных регионов, очень уязвимо в процессе глобального изменения климата. Поэтому одним из актуальных вопросов современной науки является комплексное исследование горных регионов, которые с 70-х годов XX-го столетия являются предметом внимания ученых, специалистов и экспертов в различных областях.

Необходимо отметить, что новый научный подход – «исследование горных регионов, было впервые инициировано Первой конференцией ООН по окружающей среде (Стокгольм, 1972 г.) и на основе которой были реализованы ряд крупных международных программ и проектов, в т.ч. Программа ЮНЕСКО – Человек и биосфера» [96]. Во время Саммита ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) горных регионов и их экосистемы впервые были включены в список 40 глобальных проблем человечества. В дальнейшем изучение и исследование горных районов земного шара расширилось, получившее большее распространение в Швеции, Швейцарии,

Франции, Италии и др. Наряду с традиционными формами международного сотрудничества активизировались и развивались новые виды сотрудничества, «свидетельством этого является создание Горного форума в Лиме (1995 г.)» [96]. В последствие - 2002 г. был объявлен Международным годом гор, и в этом контексте 2003 г. была принята резолюция ООН (A/RES/58/216) «Устойчивое развитие в горных регионах» [97], посвященная защите горной экосистемы и комплексному развитию горных районов. Резолюция ООН (A/RES/77/172) от 2022 г. [98], 2023-2027 гг. объявила Пятилетние действия по развитию горных регионов.

Горные регионы расположены в горных системах, таких как Альпы, Анды, Катскилл, Колорадо, Кордильеры, Кавказ, Гималаи, Каракорум, Гиндукуш, Памир, Тянь-Шань и Алтай. А также, горы являются основным источником воды для всех сфер жизнедеятельности человека, такие крупные реки, как Амазонка, Миссисипи, Енисей, Колорадо, Хуанхэ, Инд, Рейн, Брахмапутра, Янцзы, Амударья, Сырдарья и др., берут начало из горных районов [99]. Согласно расчетам [100], во влажных районах горы составляют 20-50% общего стока реки, в полузасушливых или засушливых регионах. Этот показатель достигает 50-90%, и в крайне засушливых районах более 90% общего стока зависит от гор. В третью группу входят такие реки, как Нил и Оранжевая в Африке, Амударья в Центральной Азии (ЦА), Колорадо в Северной Америке, Риу-Негру в Южной Америке.

Географические оценки показывают, что «48% поверхности суши находится на высоте более 500 м, 27% – на высоте более 1000 м, 11% – на высоте более 2000 м, 5% – на высоте более 3000 м и 2% на высоте более 4000 м» [62, 101], и согласно данным в 80-90-х годах XX-го века, «более 330 млн человек проживают в горных районах с выше 1000 м, из них 250 млн живут на высоте 1000-2000 м, 50 млн – на высоте 2000-3000 м и более 30 млн живут на высоте выше 3000 м» [102]. Благодаря изменению научных ценностей и росту

населения во всех регионах земного шара этот показатель достиг 1,1 млрд человек в пятой четверти XXI века [94].

По словам Мухаббатова Х.М., «до сих пор между монтологами или орологами не единого мнения по определению нижней границы горных территорий, т.е. того рубежа, откуда начинаются горы и их высотная дифференциация» [62]. Потому что, многие монтологи выделяют горные районы по гипсометрии, но за нижнюю границу горных территорий часто принимаются неодинаковые гипсометрические линии – от 200 до 800 м и выше н.у.м. По другому методу выделения горных территорий, «горы по абсолютной высоте разделяются на три группы – низкогорье (высота – 500-800 м, уклоны – 5-10°), среднегорье (высота – 800-2000 м, уклоны – 10-25°) и высокогорье (высота свыше 2000 м и уровень уклоны более 25°)» [62]. Именно, учитывая вышеупомянутые слова и цифры, в таблице 2.1 показаны распределение горных территорий по гипсометрическим линиям, которые проводились разными учеными.

**Таблица 2.1.** Разделение горных регионов в зависимости от гипсометрических линий

Специалисты	Высота, м					
	низкогорий		среднегорий		высокогорий	
	абс.	отн.	абс.	отн.	абс.	отн.
Герасимов Н.П.	500-1000	300-900	1000-2000	700-300	Более 2000	1000-1500
Марков К.К.	220-800	Более 500	700-3000	500-2000	2500-5500	2000
Тимофеев Д.	–	–	2000-500	750-1000	5000-5500	750-1000
Щукин Л.С.	500-1000	–	1000-2000	–	Более 2000	–

**Источник:** Мухаббатов Х.М., 2015.

Таджикистан расположен в юго-восточной части ЦА, территория которой на 93% покрыта горами и с максимальной высотой до более 7000 м н.у.м. (пик «Озоди» – 7105 м, вершина «Абуали ибн Сины» – 7143 м и пик «Исмоила Сомони» – 7495 м). Этими словами объясняется еще и то, что по некоторым географическим оценкам [62-63], около 50% территории РТ расположено на

высоте более 3000 метров. Иначе говоря, если 93% ее территории занимают горы, этот показатель в Норвегии составляет 91,3%, Швейцарии – 90,7%, Киргизии – 90%, Непале – 85%, Словении – 78%, Греции – 77,9%, Афганистане – 75%, Австрия – 73,4%, Словакии – 62%, Италии – 60,1%, Испании – 55,7% и в Иране – 54,5%. Сравнительные результаты показывают, что РТ как самая горная страна и большая часть её территория расположена на высотах, а равнинная территория составляет лишь 7%. Согласно автору, «доля равнинных земель, особенно пахотных земель, в республике очень мала, и по сравнению с некоторыми странами мира, сельскохозяйственные земли составляют 7% общей площади в РТ, такое значение в Канаде достигает 8%, в России – 13%, в Бразилии – 29%, в Китае – 43%, в США – 51%, и во Франции и Индии – 60%» [103]. В целом, основные элементы орографии РТ составляют: Алайская горная система с прилегающей к ней с севера западной частью Ферганской долины, Памир и относительно пониженная Таджикская депрессия.

Поэтому в табл. 2.2 представлены, территориальное распределение РТ в зависимости от природно-географического районирования и уклона, такое деление было произведено Х.М. Мухаббатовым в своих работах [62], в 90-е годы прошлого столетия. Однако, расчеты показали, что в названных работах и расчетах имеются некоторые ошибки. Поэтому, в табл. 2.2 представлено уточнённая и наиболее правильная форма территориального распределение республики по природно-географическому районированию, широте и уклону (в гектарах и процентах).

Таблица 2.2. Распределение территории Таджикистана по крутизне склонов, тыс. га

Природно-экономическая зона	Крутизна склонов, градус							Общая площадь	
	0-2	2-5	5-10	10-15	15-20	20-30	Более 30		Высшее
Гиссарская зона	123,9	11,2	–	24	310,3	293,1	332,7	72,3	1167,5
	10,61	0,96	–	2,06	26,58	25,10	28,50	6,19	100
Вахшская зона	361,7	175	90	251	218,7	123,8	–	10,2	1230,4
	29,40	14,22	7,31	20,40	17,77	10,06	–	0,83	100
Кулябская зона	120,7	73,4	105,9	112,5	403	290,5	7,8	95,6	1209,4
	9,98	6,07	8,76	9,30	33,32	24,02	0,64	7,90	100
Раштская зона	–	–	22	–	59	110,1	1051	452,6	1694,7
	–	–	1,30	–	3,48	6,50	62,02	26,71	100
Согдийская зона	251,4	226,4	107,9	203	111	108,7	–	18,4	1026,8
	24,48	22,05	10,51	19,77	10,81	10,59	–	1,79	100
Зерафшанская зона	–	16,5	38	72,5	71	320,2	582,6	279,7	1380,5
	–	1,20	2,75	5,25	5,14	23,19	42,20	20,26	100
Памир	–	768,3	29,3	157,2	97,2	1141	2127	2105	6425
	–	11,96	0,46	2,45	1,51	17,76	33,11	32,76	100
Все по стране	857,7	1270,8	393,1	820,2	1270,2	2387,4	4101,1	3033,8	14134,3
	6,07	8,99	2,78	5,80	8,99	16,89	29,02	21,46	100

Источник: Мухаббатов Х.М. (2015), а также расчеты и дополнения автора.

Предгорные, горные и высокогорные районы Таджикистана, подвержены различным угрозам, связанные гидрометеорологическими факторами и водой (наводнения, сели, оползни, засухи и другие опасные природные явления), оказывающие значительное влияние на различные секторы экономики страны и безопасности населения. В этой связи, Всемирный банк [70], наряду с Таджикистаном, включил Албанию, Армению, Грузию, Кыргызстан и Узбекистан в число пяти стран, уязвимых к климатическую изменению. Сравнение индекса уязвимости к климатическую изменению – чувствительность к изменению климата, интенсивности воздействия и возможности адаптации, позволяет утверждать, что наиболее уязвимой страной является Таджикистан.

По данным исследования Института окружающей среды и человеческой безопасности ООН [104-105], реализующий ежегодные исследования об уязвимости стран мира к климатическому изменению, среди 171 стран мира, РТ занимал 70-е место в 2014 г. и 75-е место в 2016 г. Согласно отчетам данного института [104-105], уровень уязвимости к изменению климата в РТ снизился с 7,47% в 2011 г. и 7,17% в 2014 г. до 6,72% в 2016 г. Согласно анализам, другие региона страны региона находятся соответственно на следующих местах: Афганистан на 41 месте (индекс мирового риска – 9,50%), Узбекистан на 45 месте (8,59%), Кыргызстан на 55 место (7,86%), Туркменистан на 84 месте (6,44%) и Казахстан на 130 месте (индекс мирового риска – 3,56%) [104-105]. Несмотря на это, по оценкам специалистов названного института, за последнее десятилетие увеличилось количество СГЯ в глобальном масштабе.

В то же время, по региональным оценкам [106], не только РТ, но и весь регион ЦА особенно подвержен воздействию климатических изменений, что усугубит и без того сложную ситуацию, характеризуемую низким уровнем осадков, засушливостью, резким колебанием метеоусловий и неравномерным распределением ресурсов. Поэтому, меры по адаптации к данным процессам входят в комплекс превентивных ответных мероприятий по борьбе с отрицательными последствиями изменения климата. Такие меры нацелены не только на смягчение отрицательного воздействия, но и на максимальное

использование существующих возможностей. Во всех странах ЦА приняты программы и разработаны законы в сфере охраны окружающей среды. Тем не менее, большинство из них носят декларативный характер, до сих пор не устранены существующие несоответствия между различными ведомствами.

Для мониторинга достижения цели Региональной стратегии по адаптации к изменению климата в ЦА, будет использована независимая оценка позиций каждой страны региона в рейтинге адаптационных индексов ND-GAIN. Индексы ND-GAIN состоит из оценок уязвимости (вода, сельское хозяйство, здравоохранение, инфраструктура, продовольствие, экосистемы), оценок компонентов (воздействие, чувствительность, адаптационная способность) и оценок готовности (экономическая, управленческая, социальная). Необходимо отметить, что Глобальная адаптационная инициатива ND-GAIN, определяющая индекс адаптации к изменению климата для более 180 стран ООН, с использованием до полумиллиона точек данных, включаемые показатели ND-GAIN за 20-летний период.

**Таблица 2.3.** Позиция стран ЦА в адаптационных индексах ND-GAIN на 2022 г.

Страна	Позиция и значение индекса ND-GAIN		
	Климатической устойчивости	Уязвимости	Готовности
Казахстан	36 (59,8)	22 (0,322)	51 (0,518)
Кыргызстан	65 (53,3)	28 (0,331)	100 (0,396)
Таджикистан	98 (47,6)	55 (0,372)	140 (0,325)
Туркменистан	117 (44,2)	36 (0,349)	183 (0,234)
Узбекистан	72 (52,2)	43 (0,364)	97 (0,408)
Афганистан	179 (32,8)	174 (0,590)	180 (0,246)

Источник: <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/rankings/>.

Индекс страны ND-GAIN суммирует уязвимость страны к изменению климата и другим глобальным проблемам в сочетании с ее готовностью повысить устойчивость. В то же время, важно отметить, что Глобальная инициатива ND-GAIN определила рейтинг 185 стран по индексу климатической устойчивости, рейтинг 185 стран по индексу уязвимости и рейтинг 192 стран по индексу готовности. В целом, основной целью ND-GAIN является помочь

правительству, предприятиям и сообществам лучше расставить приоритеты в инвестициях для более эффективного реагирования на ближайшие глобальные проблемы. Таким образом, в первую пятерку рейтинга климатической устойчивости ND-GAIN вошли такие страны, как «Норвегия (1; 75,0), Финляндия (2; 73,9), Швейцария (3; 72,5), Дания (4; 71,9), Сингапур (5; 71,5) и самую низкую пятерку занимают такие государства: Афганистан (179; 32,8), Демократическая Республика Конго (182; 32,4), Эритрея (183; 30,8), Центральная Африка (184; 27,7), Чад (185; 27,0)» [107].

Анализ результатов (табл. 1.2) показывают, что среднесезонные температуры больше всего повышается весной, а затем зимой, процесс которой приводит к сокращению ресурсов снега и ледников, а затем к увеличению метеорологических и гидрологических засух. Поэтому, для оценки региональных изменений климата используется ряд моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦ), а в табл. 1.9 показаны значения отклик наиболее важных моделей глобальной температуры на удвоение  $\text{CO}_2$ . Для создания сценариев климатических изменений, обычно используются различные модели или их комбинации, некоторые результатов для прогнозов климатических изменений в странах ЦА показаны в табл. 2.4.

По данным РЭЦАА [106], ниже показаны оценочные данные по сценариям климатических изменений для всех стран ЦА с использованием показателей температуры и количества осадков. Эти сценарии дают возможные картины климатического изменения ЦА на периоды до 2030, 2050 и 2085 гг. по сравнению с базовым периодом 1961-1990 гг. [108]. В некоторых странах во внимание принимаются и усредняются данные всех 4 сценариев выбросов Специального доклада об их сценарий МГЭИК, а в других странах сценарии А2 (пессимистический) и В2 (оптимистический). Здесь, важно отметить, что часть доклада МГЭИК [55], которая определяет прогнозы климатических изменений на периоды до 2030, 20250 и 2085 гг., полностью основывается на результатах, которые все пять стран региона показывают в своих национальных сообщениях об изменении климата.

**Таблица 2.4.** Сценарии изменения температуры и количества осадков для ЦА

<b>Страна</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2085</b>	<b>Значение</b>
Казахстан	+1,4°C +2%	+2,7°C + 4%	+4,6°C +5%	T, °C P, мм
Кыргызстан	- / - - / -	- / - - / -	6,1°C; 4,6°C -2,2%; +8.3%	T, °C P, мм
Таджикистан	+ 0,2-0,4°C +2%	- / - - / -	- / - - / -	T, °C P, мм
Туркменистан	- / - - / -	- / - - / -	4,6-5,5°C - 17-56%	T, °C P, мм
Узбекистан	+1,2°C +2,0%	2,2°C +4,0%	3,3°C 3,5%	T, °C P, мм

Источник: РЭЦЦА, 2011.

Наряду с этим, как написано в §1.1, в табл. 1.1 представили климатообразующие факторы в процентных показателях, а также на рис. 1.3 показано направление атмосферных течений на территории региона, и учитывая вышеприведенные научные данные, необходимость разделения упомянутого региона на климатические зоны обусловлена, прежде всего, сложностью орография и рельефа его юго-восточной части, многообразием климатических условий и свойственных к ним соответствующих закономерностей изменения метеопараметров. Территория РТ, особенно зона формирования водных ресурсов ЦА (Центральный Таджикистан, Памир), находятся на пути транзита воздушных масс, где Средиземноморская влажная воздушная заменяется, уступает место региональной сухой массе. Естественно, такой процесс оказывает глубокое воздействие на гидрологический режим и периодичность рек данного района. В целях научного описания процессов взаимодействия метеоусловий на гидрологических режим рек, и наоборот, гидрологический режим водных объектов (лимнологической, потомологической, гляциологической и др.) с климатическими факторами требуется систематический и последовательный мониторинг как метеорологии, так и гидрологических характеристик региона [109-111].

Анализы показывают, что основная трудность организации систематических и последовательных наблюдений гидрометеорологических характеристик горных и предгорных районов является их труднодоступность благодаря

сложным рельефом. Согласно авторам [111], хотя в настоящее время существует множество теоретических работ и математических моделей, их основным недостатком является то, что они калибруются с использованием скудных и противоречивых данных. Авторы считают, что для Памирского высокогорного региона, который имеет параллельный и зональный рельеф и состоит из многочисленных впадины (долины), необходимо избирательный подход, как в плане наблюдений, так и в описание гидрометеорологических процессов. В частности, одним из регионов страны со сложным рельефом и значительными климатическими контрастами является БРЗ [31]. Согласно дистанционным зондированиям, высота БРЗ варьируется от 874 м ( $h_{\min}$ ) до 5599 м ( $h_{\max}$ ), 0,8% территории которой расположены на высоте 800-999 м, 3,9% – 1800-1999 м, 7,9% – 2800-2999 м, 7,3% – 3800-3999 м и 0,2% - на высоте 4800-4999 м. Поэтому, для анализа изменения метеоусловий в зависимости от высоты, в табл. 2.5 представлено изменение среднесезонной температуры и сезонного сумма осадков в БРЗ относительно многолетней нормы.

**Таблица 2.5.** Изменение среднесезонной температуры и суммы осадков по сезонам в БРЗ по данным многолетних норм

Высоты, м	ХII- II	III- V	VI- VIII	IX- XI	Год	ХII- II	III- V	VI- VIII	IX- XI	Год
	Т, °С					Р, mm				
3373-1015	0,53	0,66	0,66	0,56	0,50	8,20	6,71	1,82	3,31	20,04
3143-1015	0,50	0,62	0,66	0,51	0,56	5,42	9,39	4,46	3,42	22,68
2680-1015	0,51	0,57	0,71	0,53	0,57	7,05	16,42	8,20	5,16	36,82
2561-1015	0,49	0,56	0,63	0,46	0,53	2,52	10,15	10,2	6,37	29,26
2236-1015	0,46	0,52	0,57	0,41	0,49	3,16	2,74	-0,60	-4,75	6,64
2204-1015	0,47	0,53	0,59	0,42	0,50	1,51	0,11	-3,32	1,23	-0,48
1502-1015	0,15	0,22	0,28	0,11	0,22	6,88	5,38	-3,05	1,89	11,11

Поскольку высотности Зерафшанской долины поднимается с запада на восток, и, согласно метеонаблюдениями станциями Пенджикент, Сангистон, Искандеркуль, Мадрушкат и Дехавз, температура на разных широтах колеблется в диапазоне 0,2-0,6°С в зависимости от высоты, времени года и влияния воздушных потоков. Анализ данных (табл. 2.5) показывает, что на всех высотах выше 3000 м наименьшая величина разницы между среднемесячной

температурой и многолетней среднемесячной температурой наблюдается в январе, а наибольшая – в июне. Однако наибольшая величина данной разницы наблюдается на высотах более 2500 м в июне-июле ( $0,72^{\circ}\text{C}$ ), а наименьшее значение этой разницы рассчитано на высотах 1000-1500 м в феврале ( $0,02^{\circ}\text{C}$ ). Выявлено, что на высотах более 3000 м значения разницы между среднемесячной температурой и многолетней среднемесячной температурой варьируется в пределах  $0,52-0,71^{\circ}\text{C}$ , на высотах более 2500 м этот показатель достигает  $0,46-0,69^{\circ}\text{C}$ , а на высотах 1000-1500 м колеблется в пределах  $0,02-0,43^{\circ}\text{C}$ . В целом, среднеминимальное значение составляет  $0,38^{\circ}\text{C}$ , а среднемаксимальное значение –  $0,65^{\circ}\text{C}$ , при этом разница между максимальным и минимальным величинами зафиксирована на высотах 1000-1500 м ( $0,41^{\circ}\text{C}$ ) и более 3000 м ( $0,19^{\circ}\text{C}$ ) соответственно.

Одновременно, анализ полученных результатов по атмосферным осадкам (табл. 2.5) показывает, что разница между месячным количеством осадков и среднемноголетним значением дифференцируется в зависимости от высоты, при этом наибольшая разница наблюдается на высотах 2000-2500 м, составляя от  $-7,17$  мм (октябрь) до  $2,02$  мм (ноябрь). Установлено, что наибольшее увеличение месячного количества осадков по сравнению со среднемноголетним показателем наблюдается на высотах 2500-3000 м, с максимальным значением  $6,96$  мм (май) и минимальным значением  $1,01$  мм (ноябрь). А также, в интервале высот между метеостанциями восточной стороны БРЗ (Мадрушкат, Дехавз) зафиксировано значительное увеличение месячного количества осадков по сравнению с многолетней нормой, варьирующееся от  $0,58$  мм (январь) до  $5,45$  мм (июнь).

Поскольку РТ, как горная страна со сложной орографией более уязвима к негативным последствиям изменения климата и ежегодно республика подвергается рискам ОЯ и СГЯ, влияющих на экономику и инфраструктуру страны, то для определения степени уязвимости страны к данному процессу весьма уместно перейти к административному делению, в отличие от речного бассейнового деления. Как известно, что бассейн одной реки принадлежит

административной территории нескольких городов и районов, а география возникновения и формирования СГЯ и ОЯ, охватывает административные территории не только отдельных городов и районов, но они охватывают также страны и регионы. С целью определения степени уязвимости природно-географических провинций, городов и районов было проведено совместное межведомственное исследование по оценке взаимосвязи изменения климата, безопасности и выявлению горячих (слабых) точек на территории страны, с выявлением степени уязвимости к ОЯ, и их последствиям, с выбором пяти наиболее уязвимых городов и районов республики (табл. 2.6).

**Таблица 2.6.** Наиболее горячие (уязвимые) точки к изменению климата в Республике Таджикистан и их последствия

Последствия	Повышение бедности	Внешняя миграция	Внутренняя миграция	Споры за использование воды	Повышение заболеваемости	Стихийные бедствия	Нехватка орошаемой и питьевой воды
Города и районы							
<b>Горно-Бадахшанская автономная область</b>							
Рошткала	5	5	3	5	5	5	—
Ишкошим	5	5	4	5	5	5	—
Шугнан	5	5	3	5	5	5	—
Дарвоз	5	5	4	5	5	5	—
Рушан	5	5	3	5	5	5	—
<b>Хатлонская область</b>							
Куляб	5	5	3	4	5	—	5
Ховалинг	5	5	3	3	4	—	2
Восеъ	5	5	3	4	5	—	3
Пяндж	5	5	3	4	5	—	3
Шахритус	5	4	5	4	5	—	5
<b>Согдийская область</b>							
Айни	5	5	4	2	5	5	—
Пенджикент	5	5	4	4	5	4	—
Ашт	5	5	4	4	5	5	—
Гарный Матча	5	5	3	2	5	5	—
Исфара	5	5	4	5	5	4	—
<b>Районы республиканского подчинения</b>							
Ляхш	5	5	2	3	5	5	—
Нурабад	5	5	2	3	5	5	—
Рашт	5	5	3	3	5	5	—
Рогун	5	5	4	2	5	5	—
Варзоб	5	5	4	5	5	5	—

Для определения уязвимости различных городов и районов республики к изменению климата, которая представлена в табл. 2.6, учитывались различные факторы и на этом основании она оценивалась от 1 до 5. Определение уязвимости различных городов и районов страны к изменению климата (табл. 2.6), осуществлено с учетом различных факторов, с оценкой по шкале от 1 до 5. Установлено, что наиболее уязвимым регионом страны на областном уровне является ГБАО (4,3 балла), далее Хатлонская область – 4, РРП – 3,7 и Согдийская область – 3,5. В соответствии с принятой шкалой оценки, среди всех СГЯ и ОЯ, наиболее часто фиксируемое на исследуемой территории вышеназванных городов и районов, наиболее негативные последствия ведущие к увеличению процессов уязвимости отнесены рост температуры (4,5), оползни и камнепады (4,5), сели (4), уменьшение осадков (4), засуха (4) деградация почвы (4), изменение осадков по сезонам (4), снижение водности рек (4), таяние ледников (4), изменения сезонов вегетации (3,5) и т.п.

Таким образом, следует отметить, и мировой опыт также показывает, что в процессе борьбы с изменением климата, уменьшения его негативных последствий и для принятия соответствующих решений и конкретных мер в этом направлении, очень важную роль играет уровень осведомленности и знаний населения о процессах изменения климата. По критериям Всемирного банка [112], данные приведенные в табл. 2.6, относительны, поскольку различия на индивидуальном уровне осведомленности очень велики. Потому что, исследование, проведенное по запросу этому банку, показало, что «уровень информированности общественности по изменению климата существенно различается в различных областях» [112]. Процент респондентов, считающих себя очень хорошо информированными или довольно хорошо информированными по вопросам изменения климата, составил 81% в Душанбе, до 60% в Согдийской области, 54% в Хатлонской области и 41% в РРП. Отсюда ясно, что различные регионы страны также могут иметь различные уровни доступа к адаптационным мерам, этот процесс не только способствует принятию и реализации нормативных документов и законодательства по защите социально-

экономических секторов от проявления климатических изменений, а также выполнению обязательств РТ по таким международным отраслевым документам.

## **2.2. Нормативно-правовые базы в области защиты социально-экономических секторов от природно-климатических проявлений**

Первый закон об охране природы в РТ был принят в 1959 г. [113-114]. За годы независимости Таджикистана, было принято более 25 отраслевых законов, большинство из которых со временем были усовершенствованы, с учетом возникших реалий, а для их реализации Правительством страны утверждены 27 нормативных правовых и нормативных отраслевых актов, позволившие сделать первые, реальные шаги в решении экологических проблем регионального и глобального уровней, также были приняты более 60 законов, концепций, стратегий и государственных программ, а также РТ присоединился к международным экологическим документам.

Отсюда ясно, что РТ «исходит из необходимости широкого и эффективного международного сотрудничества в целях сохранения природы и установления всеобщей и полной экологической безопасности мирового сообщества» [113]. По словам Исмонкулова С., «задачи природоохранительного законодательства являются регулирование отношений в сфере взаимодействия общества и природы с целью сохранения природных богатств и естественной среды обитания человека, предотвращения экологически вредного воздействия хозяйственной и иной деятельности» [113]. Законодательство в области охраны природы основывается на Конституции РТ, нормативно правовых актов РТ и международных правовых актов, признанных данной страной, а в 36 статье Конституции страны указывается, что «государство гарантирует право каждого гражданина на благоприятную экологическую обстановку». В республике для охраны природы, обеспечения рационального использования природных ресурсов, а также борьбе с экологическими проблемами приняты ряд законов, стратегий и программ и некоторые законы представлены в табл. 2.7.

**Таблица 2.7.** Законодательство в области охраны окружающей среды в Таджикистане

<b>Перечень законодательных актов</b>	<b>Дата поступления, номер</b>	<b>Перечень законодательных актов</b>	<b>Дата поступления, номер</b>
Конституция Республики Таджикистан	06.11.1994	Закон РТ «О питьевой воде и ее снабжении»	29.12.2010, №670
Водный кодекс РТ	19.03.2020, №756	Закон РТ «Об оценке воздействия на окружающую среду»	18.07.2017, №1448
Земельный кодекс РТ	13.12.1996, №326	Закон РТ «О биологической безопасности»	01.03.2005, №88
Лесной кодекс РТ	02.08.2011, №761	Закон РТ «О животном мире»	05.01.2008, №354
Закон РТ «Об охране окружающей среды»	21.07.2011, №208	Закон РТ «Об охране почв»	16.10.2009, №555
Закон РТ «Об экологическом просвещении населения»	16.12.2010, №107	Закон РТ «Об особо охраняемых природных территориях»	26.12.2011, №788
Закон РТ «Об экологическом аудите»	26.12.2011, №785	Закон РТ «Об охране и использовании растительного мира»	17.05.2004, №31
Закон РТ «Об экологическом мониторинге»	25.03.2011, №707	Закон РТ «О сборе, хранении и рациональном использовании генетических ресурсов»	01.08.2012, №892
Закон РТ «Об экологической информации»	11.03.2011, №145	Закон РТ «О гидрометеорологической деятельности»	03.03.2006, №177
Закон РТ «Об экологической экспертизе»	16.04.2012, №818	Закон РТ «О карантине и защите растений»	02.01.2019, №1567
Закон РТ «Об охране атмосферного воздуха»	10.10.2012, №931	Закон РТ «О сейсмической безопасности»	30.05.2017, №1416
Закон РТ «Об отходах производства и потребления»	28.06.2011, №736	Закон РТ «Об обеспечении экологической безопасности автотранспортных средств»	08.08.2015, №1214
Закон РТ «Об обращении с радиоактивными отходами»	30.05.2017, №1430	Закон РТ «Об Ассоциации водопользователей»	02.01.2020, №1668

В данных правовых актах, которых проведены на табл. 2.7, а также в других отраслевых документах, описаны основные права и обязанности учреждений и организаций, которые осуществляют контроль охраны природы и использованием природных ресурсов. Помимо этого, предусмотрены меры пресечения нарушения природоохранного законодательства. Одновременно, правительством страны разработаны и приняты более 30 подзаконных актов, регулирующих механизмы исполнения законов. По мнению авторов, «некоторые из них «об ответственности за нарушения водного законодательства», «об ответственности за нанесение ущерба незаконным добыванием и уничтожением объектов животного мира», «об организации непрерывного экологического воспитания и образования населения» и др.» [115].

Более того, хотя в РТ с целью совершенствования системы экологической статистики и упорядочения сбора данных об экологических проблемах страны в 2002 г. создана Национальная межведомственная координационная комиссия в области экологической статистики, а также в целях выполнения обязательств РТ по РКИК ООН в 2004 г. создан Центр изучения изменения климата и озонового слоя, однако в стране еще не разработано всеобъемлющее законодательство в области изменения климата, и связанные с ним вопросы еще не полностью отражены в законах об охране окружающей среды и атмосферного воздуха и по энергетике и т.п.

Несмотря на это, РТ одной из первых в регионе приступила к разработке адаптационных мер к климатическую изменению и подготовила «Национальный план действий по смягчению последствий изменения климата и адаптации» (2003) [35], «Национальная стратегия по адаптации (охране) здоровья в условиях изменения климата» (2011), «Первый двухгодичный доклад по инвентаризации парниковых газов по РКИК ООН» (2018) [79], а также приняла ряд важных и своевременных стратегий, концепций и программ, некоторые из которых перечислили выше (табл. 2.7). Здесь важно упомянуть, что четыре национальные стратегии, связанные с проблемами климата и водой – «Национальная стратегия по снижению риска стихийных бедствий на 2019-2030 гг.»

(2018, №602), «Национальная стратегия адаптации к изменению климата на период до 2030 г.» (2019, №482), «Стратегия развития «зеленой» экономики в РТ на 2023-2037 гг.» (2022, №482) и «Национальная водная стратегия на период до 2030 г.» (2024, №627), не встречаются в страны региона.

Также, следует отметить, что в период независимости во внешней экологической политике РТ были достигнуты очень хорошие и значимые достижения, а статус страны в системе международных отношений еще более укрепились. За этот период ряд конструктивных инициатив Лидера нации, уважаемого Эмомали Рахмона, таких как «Международный год пресной воды» (1), «Международное десятилетие действий «Вода для жизни, 2005-2015 гг.» (2), «Международный год водного сотрудничества» (3), «Международное десятилетие действий «Вода для устойчивого развития, 2018-2028 гг.» (4), «Международный год сохранения ледников» (6), «Десятилетие действий по криосферным наукам, 2025-2034 гг.» (5) и «Укрепление сотрудничества по водным ресурсам и изменению климата в ЦУР в Азиатско-Тихоокеанском регионе» (7), были признаны мировым сообществом на международной арене, что укрепило авторитету РТ, как инициатор и ведущей страны в решении глобальных проблем, в т.ч. проблемы, связанных с водными ресурсами и изменением климата, а также вопросы безопасности и гуманитарные, т.е. принимая во возрастающее внимание мирового сообщества к водному вопросу и актуальности водных ресурсов, для достижения устойчивого развития РТ расширяется вопросов, связанных с водой, в глобальной повестке дня [116].

В этой связи, накануне Всемирные водные форумы и в рамках подготовки к ним в странах ЦА, в частности в РТ, проводятся конференции высокого уровня, принимаются и представляются необходимые документы: перед IV-м форумом «Международной конференции по региональному сотрудничеству в бассейне трансграничных рек» (2005 г.), перед V-м форумом «Международной конференции по снижению стихийных бедствий, связанных с водой» (2008 г.), перед VII-м форумом «Субрегиональной подготовительной конференции» (2014 г.) и перед IX-м форумом «Субрегиональной конференции

«Водная безопасность для мира и развития» (2021 г.) [117]. Проведение конференций в РТ накануне Всемирных водных форумов является неопровержимым доказательством того, что «Глобальные инициативы Таджикистана способствовали активному сотрудничеству всех заинтересованных сторон в направлении управления водными ресурсами и реализации проектов в водном секторе, а также во внедрении современных технологий и инноваций» [116]. Более того, РТ, как инициатор решения глобальных вопросов, связанных с водой, активно участвует во всех форумах и предлагает инициативы глобального значения, проведение важных международных мероприятий в сферы водных ресурсов и климатических изменений в Душанбе является подтверждением вышесказанных слов.

**Таблица 2.8.** Глобальные водные инициативы Таджикистана и международные мероприятия высокого уровня

<b>Инициативы</b>	<b>Мероприятия</b>
2003 год – Международный год пресной воды, Резолюция ГА ООН A/RES/55/196	Международный форум по проблемам пресной воды, 29.08-01.09.2003
	Международная конференция по региональному сотрудничеству в бассейне трансграничных рек, 30.05-01.06.2005
Международное десятилетие действий «Вода для жизни, 2005-2015 годы», Резолюция ГА ООН A/RES/58/217	Международная конференция по снижению риска стихийных бедствий, связанных с водой, 27-29.06.2008
	Международная конференция высокого уровня по среднесрочному обзору комплексной реализации действий в рамках Международного десятилетия действий «Вода для жизни, 2005-2015 гг.», 8-10.06.2010
	Международная конференция высокого уровня по подведению итогов процесса реализации Международного десятилетия действий «Вода для жизни, 2005-2015 гг.», 9-11.06.2015
2013 год – Международный год водного сотрудничества, Резолюция ГА ООН A/RES/65/154	Международная конференция высокого уровня по сотрудничеству в водной сфере, 20-21.08.2013
	Международный симпозиум высокого уровня по VI-й цели устойчивого развития - «Обеспечение всеобщего доступа к воде и санитарии», 9-10.08.2016

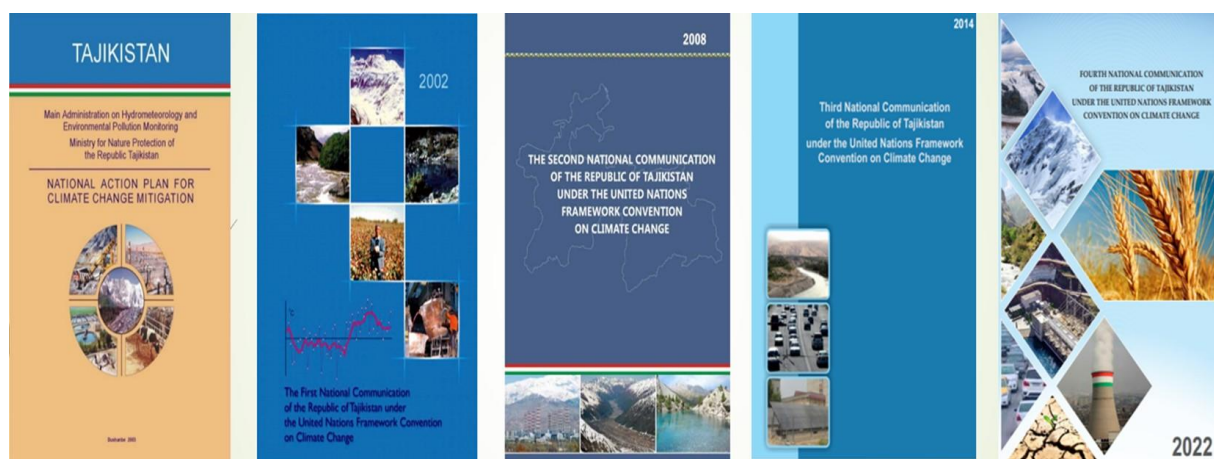
<b>Продолжение таблицы 2.8</b>	
Международное десятилетие действий «Вода для устойчивого развития, 2018-2028 гг.», Резолюция ГА ООН A/RES/71/222	Первая международная конференция высокого уровня, посвящённая Международному десятилетию действий «Вода для устойчивого развития, 2018-2028 гг.», 20-21.06.2018
	Вторая международная конференция высокого уровня на тему «Продвижение действий и партнерства в области водных ресурсов на местном, национальном, региональном и глобальном уровнях», 6-9.06.2022
	Третья международная конференция высокого уровня, посвящённая Международному десятилетию действий «Вода для устойчивого развития, 2018-2028 гг.», 10-13.06.2024
2025 год – Международный год сохранения ледников, Резолюция ГА ООН A/RES/77/158	Международная конференция высокого уровня по сохранению ледников, 29-31.05.2025

Анализ показателей (табл. 2.7-2.8) показывают, что РТ наряду с совершенствованием законодательства в области водных ресурсов, изменение климата и экологические проблемы, а также путем предложения глобальных инициатив и проведения важных международных мероприятий, связанные с ними, способствует как в практическом плане реализации принятых законов, так и решению глобальных проблем. Ибо многие наблюдения показывают [109], что проблемы воды и климата, т.е. вопросы гидрологии и климатологии, тесно связаны друг с другом, а некоторые ее научные аспекты, отражены в работе, как с точки зрения развития гидрометеорологии и проведения важных международных мероприятий, так и с точки зрения взаимоотношения этих наук и подготовки кадров в их области.

Естественно, что в настоящее время интегрированные управления водные ресурсы и сотрудничества в борьбе с глобальными экологическими проблемами, особенно изменение климата, а также нехватка питьевой воды, невозможно достигнут ЦУР и сохранить экобаланса в глобальном масштабе. Многолетние данные показывают, что без стабильной водоснабжений возникнет проблема доступа к питьевой воде, не будет обеспечена санитария, не будет

получен хороший урожай, и даже этот процесс негативно влияет на энергетическую сектору, особенно гидроэнергетику в тех регионах, где гидроэнергетические ресурсы глубоко зависят от метеоусловий. Эти проблемы, связанные друг с другом, нарушают процессу экономического, социального и экологического развития стран и создают препятствие для прогресса всех сфер человеческой деятельности и здоровья населения. Отсюда ясно, что в процессе глобального потепления климата интегрированное управление водными ресурсами, и охрана и снабжение питьевой водой часто становятся центральной темой международных мероприятий и деклараций, включая ЦУР. Для достижения этих целей странам мира нуждаются, что наряду с совершенствованием национальным законодательствам и реализациям климатической и экологической политики, также реализуются принятые законы на практике, выполнять свои обязательства перед международными нормативными отраслевыми документами и укреплять сотрудничество в целях усиления борьбы с проблемами изменения климата, в целом глобальными экологическими проблемами.

С целью реализации положений вышеупомянутых документов, в том числе РКИК ООН в РТ проделаны реальные действия по выполнению своих обязательств, «по координации международных соглашений, связанных с изменением климата, защитой озонового слоя и другими экологическими проблемами, включая координацию развития национального кадастра выбросов CO<sub>2</sub>, оценку уязвимости и адаптации к изменению климата, координацию деятельности по изучению и разработку планов действий по изменению климата и т.д.» [118] разработки и утверждения других нормативных актов и правовых документов. В целях выполнения своих обязательств по РКИК ООН Таджикистан, единственная страна в ЦА, подготовила четыре национальных сообщений об изменении климата: Первое (2002) [42], Второе (2008) [36], Третье (2014) [48] и Четвертое национальные сообщения (2022) [37], которая являются единственной страной региона и четвертой в пространстве СНГ после Молдовы, Армении и Азербайджана.



**Рис. 2.1.** Национальные сообщения РТ по РКИК ООН

Анализы показывают, что «Национальные сообщения об изменении климата» [36-37, 42, 48], «почти охвачены наиболее важные аспекты изменения климата, инвентаризация парниковых газов, воздействия изменения климата, уязвимость и адаптация, политика и меры по решению его проблемы, исследования и систематические наблюдения» [117], а также социально-экономические, такие как сельское хозяйство, промышленность, энергетика, образование, наука, здравоохранение и повышение уровня осведомленности населения об изменении климата и экологических проблемах. В частности, в сельскохозяйственном сфере принята «Программы реформирования сельского хозяйства на 2012-2020 гг.» [113], в рамках реализации целей и задач данной программы определены основные риски, связанные с изменением климата и их воздействие на развитие названного сектора, а также основные меры по адаптации сельскохозяйственного сектора республики к процессам изменения климата. В энергетическом секторе, где РТ производит 98% электроэнергии из возобновляемых источников энергии (особенно, гидроэнергетики), «принят и реализован ряд отраслевых программ и стратегий, связанных с развитием малой гидроэнергетики, эффективным использованием гидроэнергоресурсов и энергосбережением» [113], и с этой целью разработана «Национальная стратегия развития энергетического сектора». В то же время, в национальных стратегиях по адаптации к изменению климата и развитию «зеленой» экономики, энергетический сектор включен как приоритетный сектор по адаптации изменения климата.

В области водных ресурсов, разработаны и приняты стратегия мелиорационной и ирригационной реформы и программа реформы водного сектора, ибо первый документ определил пути совершенствования системы управления мелиорацией и ирригацией до 2020 г., а второй документ показывает эффективное использование водных ресурсов на период до 2025 г. Согласно документу, «вопросы воздействия климатических изменений на водные ресурсы в обоих документах в контексте влияния глобальных вызовов, связанных с гидрологическими режима источников воды и ледников, улучшение прогнозирования отрицательного воздействия климатических изменений на возникновение наводнений, селей и оползней, и их влияния на мелиорацию и ирригацию» [119-120]. В целях снижения негативных последствий изменения климата и снижения стихийными бедствиями, связанными с ними, была принята и реализована первая национальная стратегия борьбы со стихийными бедствиями на 2010-2015 гг., однако из-за отсутствия финансовых ресурсов план реализации данной стратегии выполнено всего на 15%. Поэтому, именно с этой целью в последние годы в республике были разработаны и приняты две стратегии, связанные с изменением климата и управлением его последствиями, которые находятся в процессе реализации, т.е. стратегия адаптации к изменению климата и уменьшения стихийных бедствий климатического характера.

В сфере образования, принята «Государственная комплексная программа развития экологического воспитания и просвещения населения РТ на 2021-2025 гг.» [119], которая «отражает основные этапы воспитания и образования населения на всех уровнях, включая дошкольное, начальное, среднее и высшее профессиональное образование» [119], и этот документ также охватывает аспекты изменения климата, воды и энергетики, и охраны озонового слоя. В сфере здравоохранения разработаны «Национальная стратегия и план действий по адаптации здоровья населения в условиях изменения климата на период до 2020 г.» [113], которые определяют стратегические направления и конкретные меры по адаптации на основе междисциплинарного подхода в контексте изменения климата.

Необходимо отметить, что наряду с экономическим и промышленным секторами, одной из социальных проблем, на которой сосредоточено внимание всех общественных и государственных институтов, особенно в контексте изменения климата, является вопрос гендерного равенства [117], особенно уязвимости женщин в сложных условиях климатических изменений, потому что, по мировой статистике, в результате стихийных климатических бедствий женщины и дети погибают в 14 раз чаще, чем мужчины, а также во всем мире четверть экономически активных женщин работают в сельском хозяйстве [120]. Поэтому, уязвимость женщин в процессе климатического изменения находится в центре внимания Правительства РТ, а гендерные вопросы освещались во второй, третьей и четвертой национальных сообщениях об изменении климата. В частности, в Втором сообщении [25, 36], проведено первичное исследование в рамках раздела «Уязвимость и адаптация» в секторе «Влияние изменения климата на состояние здоровья населения», которое ставило своей целью оценить уязвимость беременных женщин и их репродуктивное здоровье в условиях изменения климата. Также здесь написано, что влияние волн тепла, в связи с потеплением климата, может отразиться на смертности уязвимых групп населения (дети, пожилые люди), ярким примером которого процесса является рост смертности населения в стране из-за резкого повышения температуры и сильной засухи в 2000-2001 гг. В Третьем сообщении [25, 48] представлена отдельная глава «Гендер, репродуктивное здоровье и изменение климата» в разделе «Политика и меры», в котором обсуждается влияние изменения климата на жизнь и средства жизнедеятельности, а также неравенство между женщинами и мужчинами, и показывает, что без активного участия женщин, стратегии по снижению риска и изменению климата не могут быть успешными. В Четвертом сообщении [25, 37], эти вопросы подробно отражены, в котором выделены разделы «Гендерные вопросы в контексте изменения климата», «Нормативно-правовые аспекты гендерных вопросов к изменению климата» и «Гендерные аспекты с учетом ЦУР и изменения климата», в них всесторонне

анализируются развитие гендерных отношений в условиях изменения климата.

Таким образом, из анализа результатов «Национальных сообщениях РТ», принятия и реализации отраслевых программ и стратегий, связанных с изменением климата и практической реализации глобальных инициатив республики в сфере водных ресурсов и климата, видно, что вышеназванные вопросы очень важен и требует решения, с учетом вышеупомянутого анализа, связанного с природно-географическими условиями и социально-экономическим развитием РТ, определена ранжирования адаптационных мероприятий в ответ на изменение климата в стране, которые представлены в табл. 2.9.

**Таблица 2.9.** Ранжирование адаптационных мероприятий в ответ на изменение климата в Таджикистане

<b>Ранг мероприятия</b>	<b>Мероприятия</b>
<b>Технические</b>	«Повышение коэффициент полезного действия оросительных систем и внедрение прогрессивных способов орошения и водосбережения; Увеличение уровня зарегулированности стока и количества водохранилищ; Регулирования и реконструкция оросительных систем; Модернизация ТЭЦ и строительство ГЭС; Модернизация системы обработки питьевой воды и сточных вод крупных городах, как Душанбе, Худжанд, Куляб и Бохтар»
<b>Агрономические</b>	«Создание береговых насаждений. Усиление селекционной работы по выведению засухоустойчивых и высокоурожайных сортов сельхозкультур с большей долей зимнего водопотребления»
<b>Общественные</b>	«Организация в Средства массовой информации по пропаганде достижений науки и техники в области водосбережения; Участие общественности (НПО, движения и др.) и водопользователей (через ассоциации водопользователей) в вопросах управления водой, вододеления и водосбережения»

**Продолжение таблицы 2.9**

<b>Институциональные</b>	«Продажа соседним странам своего лимита на минерализацию речных вод; Совершенствование организационного управления водным хозяйством на национальном уровне; Совершенствование интегрированного управления водными ресурсами (по бассейновому и административному принципам); Участие общественности и водопользователей в вопросах управления водой, вододеления и водосбережения; Обучение кадров и их тренинг с целью развития и поддержки научного и инженерного водного хозяйства; Поддержка развития фермерской инициативы и ассоциированных хозяйств, ориентированных на рыночную экономику; Экономическое стимулирование снижения удельных затрат воды и требований на воду – управления спросом».
--------------------------	--

Таким образом, в РТ с принятием основных государственных программ, стратегий, планов действий, законов и нормативно-правовых актов, связанных с вопросами изменения климата, сформирована нормативно-правовая база данной сферы, в целях уменьшения его неприятных последствий и снижения связанных с ним ущербов, республика присоединилась к ряду международных экологических конвенций и соглашений, а также адаптировал вышеупомянутые правовые документы и стандарты к международным условиям и стандартам и выполнил свои обязательства по этим документам, как на национальном, так и на международном уровне. Необходимо отметить, что Правительство РТ обратило внимание на этот вопрос в конце 90-х и начале 2000-х гг., и именно в эти годы было принято ряд планов действий по охране окружающей среде [113], включая «Национальный план действий по борьбе с опустыниванием», «План действий по сохранению и рациональному использованию биологического разнообразия», «План действий по смягчению последствий изменения климата», «План действий по здравоохранению» и др. Одновременно, в целях усиления потенциала устойчивости и адаптации к климатическим изменениям, направлен на укрепление институционального потенциала и повышение осведомлённости об изменении климата среди различных заинтересованных

сторон, и для улучшения предоставления услуг и метеорологические, климатические и гидрологические данные, направлен на улучшение национальной системы гидрометеорологического мониторинга.

### **2.3. Реализация признанных Таджикистаном межгосударственных соглашений и правовых актов, в области охраны окружающей среды**

Учитывая существующие проблемы, мировое сообщество предпочитает действовать сообща на глобальном уровне, и для смягчения последствий изменения климата и адаптация к этому процессу идет уверенными шагами. В этом плане главными и обнадеживающими шагами являются принятие РКИК ООН [121] и проведение конференций сторон данной конвенции. Необходимо отметить, что к настоящему времени проведено 29 конференций сторон РКИК ООН, и основной целью конференции сторон или климатических саммитов является рассмотрение национальной сообщения и кадастра отходов, представленных странами, и на основе этой сообщения будут оцениваться меры, принятые сторонами, и прогресс в достижении конечной цели названной конвенции [122]. Параллельно с этим, на каждой климатической конференции ещё одной новый ключевой вопрос обсуждается всеми сторонами. Согласно данным [123], конечным результатом COP7 утверждением механизма торговли квотами на выбросы парниковых газов и плана его реализации, основной темой COP9 вопросам помощи развивающимся странам в адаптации к изменению климата, основная цель COP13 является принятие дорожной карты по разработке нового соглашения взамен Киотского протокола, ключевые вопросы COP16 является создание центров по передаче «зеленых» технологий и «Зеленого климатического фонда» для помощи странам, уязвимым к изменению климата, итоговый документ COP19 принятием соглашения о системе финансирования мероприятий, направленных на защиту тропических лесов как основного поглотителем углекислого газа и главным результатом COP25 является решение о представлении двухгодичных отчетов о корреляции деятельности стран с динамикой выбросов CO<sub>2</sub>.

Отсюда ясно, что на основе вопросов и тем, обсуждаемых в ходе климатических саммитов, и результатов, полученных на каждой конференции, делаются выводы, на основании которых принимаются документы, важнейшими из которых являются Киотский протокол [124] и ПКС [125]. Ибо названный протокол был принят как дополнительный документ к принятию РКИК ООН, а вышеупомянутому соглашению была принята в рамках данной конвенции. Общеизвестно, что Киотский протокол принят 11.12.1997 г. и вступил в силу 16.02.2005 г., а ПКС было подписано 12.12.2015 и вступило в силу 22.04.2016.

Основная цель Киотского протокола, «является стабилизированы концентрации парниковых газов в атмосфере до уровня, не допускающего опасного антропогенного воздействия на климатическую систему Земли» [124]. Протокол основан на принципе общей, но дифференцированной ответственности, т.е. признает, что страны имеют неравные возможности в борьбе с изменением климата из-за разных уровней экономического развития. Поэтому Киотский протокол установил для каждой страны квоту на выбросы парниковых газов. Если страна выбрасывает меньше парниковых газов, чем выделенная ей квота, то она может продать оставшуюся долю другой стране и получить таким образом возможность выбрасывать больше парниковых газов. Выполнение обязательств данного протокола рассматривалось в ходе COP11, COP12 и COP13, первый период его реализации включает 2008-2012 гг., а во второй период к нему была добавлена Дохинская поправка (COP18). К 2019 г. эту поправку приняли более 130 стран, а РФ взял на себя обязательства как страна, не включенная в Приложение I.

В ходе климатических саммитов по поводу мер, принятых после окончания второго периода обязательств Киотского протокола (в 2020 г.), возникла необходимость принятия нового документа – ПКС в 2015 г. Данное соглашение является не поправкой к этому протоколу, а соглашением в рамках РКИК ООН, которое регламентирует меры по сокращению выбросов CO<sub>2</sub> с 2020 г. Основная цель ПКС, «является «улучшение реализации» данной конвенции, включая сохранение повышения средней глобальной температуры на уровне

менее 2°С по сравнению с доиндустриальным уровнем и попытки ограничить повышение температуры до 1,5°С» [125]. ПКС было принято 135 членами РКК ООН, включая РТ, в качестве итогового документа COP21. Таджикистана выразил свою позицию относительно принятия и реализации данного соглашения следующим: «Республика Таджикистан, выразив свою национальную позицию в ответ на призыв ООН касательно положений ПКС по сохранению средней температуры планеты, активно сотрудничала в этом процессе в рамках Дурбанской Рабочей группы» [116]. В целом, РТ подписала данной соглашении 22.04.2016 г., а его ратифицировала 13.02.2017 г.

В целом, все пять стран ЦА входят в группу развивающихся стран, потребность которых таких ресурсах, как энергия и вода, постоянно растет. Планы стратегического развития и экономического роста в этих странах разрабатывались без учета вопросов охраны окружающей среды и планов по адаптации к изменению климата. Естественно, такой подход привел к тому, что цели и политика всех компетентных ведомств не согласованы и зачастую противоречат друг другу [123]. В настоящее время обсуждается в основном только политика в сфере смягчения последствий климатических изменений, вопросам же адаптации внимания уделяется мало, хотя именно этот инструмент может стать основным в этом регионе. Причины возникновения такой ситуации лежат не только в недоработках в сфере наращивания потенциала и формирования понимания сути проблемы. Дело в том, что адаптационные меры являются, по сути, очень высокочрезмерными: отсюда и недостаточность финансирования. Кроме этого, на местах не хватает опыта работы по моделированию изменения климата, и применяются противоречивые модели и способы прогнозирования, которые затем сложно использовать для построения сравнительных данных. Не стоит сбрасывать со счетов и тот факт, что традиционно точность прогнозирования изменений климата невысока.

Как выше упомянули, что несмотря на существующие трудности, Правительство Таджикистана разработало и приняло четыре важные национальные стратегии, касающиеся проблем климатических изменений и водных

ресурсов, и эффективно использует все возможности для их практической реализации. В международном масштабе, РТ активно участвует в практической реализации экологических конвенций и решении глобальных экологических проблем, стала первой страной в ЦА, присоединившейся к ряду важнейших международных экологических документов – Стокгольмской, Рамсарской, Боннской конвенциям, а также Картахенскому и Нагойскому протоколам (табл. 2.10).

**Таблица 2.10.** Конвенции, которые со стороны страны ЦА ратифицированы или их присоединились к ним

Наименование конвенции	Казахстан		Кыргызстан		Узбекистан		Туркменистан	
	Р.	П.	Р.	П.	Р.	П.	Р.	П.
Стокгольмская конвенция	2007	–	2006	–	2019	–	2020	–
Конвенция о биологическом разнообразии	1994	–	1996	–	1995	1995	1996	–
Боннская конвенция	–	2005	–	2014	–	2004	1998	–
Венская конвенция	–	1997	2000	–	1993	–	1993	–
Монреальский протокол	–	1997	2000	–	1993	–	1993	–
Киотский протокол	2009	–	–	2003	2006	–	1998	–
Конвенция об изменении климата	1995	–	2000	–	1993	–	1995	–
Конвенция Ромсара	–	2005	–	1971	–	2001	–	2008
Конвенция по борьбе опустынивание	1997	–	1997	–	1995	–	1996	–
Базельская конвенция	–	2003	1995	–	1995	–	1996	–
Картахенский протокол по биологической безопасности	2008	–	–	2005	–	2019	2008	–

<b>Продолжение таблицы 2.10</b>								
Роттердамская конвенция	2007	–	200	–	2000	–	–	–
Нагойский протокол	2023	–	–	2015	–	–	–	2020
Поправки Кигали	–	2001	2020	–	–	–	–	2020

**Примечание:** Р – Ратификация, П – Присоединение.

Естественно, что после присоединения к этим важным международным экологическим документам обязательства страны, в т.ч. обязательства РТ, возрастут, и в то же время Таджикистан, как инициатор глобальных инициатив по водным и климатическим вопросам, предложил мировому сообществу несколько инициатив, все из которых направлены на решение существующих проблем и защиту окружающей среды в будущем. Поэтому, РТ подготовила и представила свои «Национальный план» [118] и ведёт процесс реализации Киотского протокола и ПКС наряду с этим совместно с международными агентствами развития реализуются ряд проекты по устойчивости к изменению климата и по адаптации к изменению климата, а также «с учетом актуальности глобальных экологических проблем и их тесную связь с условиями и состоянием окружающей среды, РТ присоединился и ратифицировал ряд важнейших международных соглашений» [113]. В их числе:

**Таблица 2.11.** Международные экологические конвенции, к которым присоединилась Таджикистан

<b>Конвенция</b>	<b>Поступление</b>	<b>Вступления в силу</b>	<b>Присоединение Таджикистана</b>
Венская конвенция об охране озонового слоя	22.03.1985	22.09.1988	6.05.1996
Конвенция ООН о биологическом разнообразии	5.06.1992	29.12.1993	12.02.1997
Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием	14.10.1994	26.12.1996	16.07.1997
Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой	16.09.1987	1.01.1989	7.01.1998

<b>Продолжение таблицы 2.11</b>			
Рамочная конвенция ООН об изменении климата	20.06.1992	21.03.1994	7.01.1998
Рамсарская конвенция о водно-болотных угодьях	2.02.1971	21.12.1975	24.10.2000
Боннская конвенция по сохранению мигрирующих видов диких животных	6.11.1979	1.11.1983	1.02.2001
Орхусская конвенция о доступе к информации, участии общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся ОС	25.06.1998	30.10.2001	9.06.2001
Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях	22.05.2001	17.05.2004	20.05.2002
Конвенция о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения	3.03.1973	1.07.1975	30.03.2016
Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением	22.03.1989	5.05.1992	13.05.2016

Целью присоединения РТ или другой страны к данным международным конвенциям является, с одной стороны, является объективно оценивать процессы тенденции изменения климата, с другой стороны, является соединением научных ценностей на разных уровнях для оценки воздействия данной тенденции на дальнейшее развитие экономики страны. Вышеуказанные факты свидетельствуют о том, что политика РТ в решении глобальных проблем, особенно проблемы климатических изменений и водных ресурсов, идет в ногу со временем.

Учитывая данную проблему, с начала 90-х годов прошлого века, именно после публикации оценочного отчета МГЭИК [56], решение проблемы снижения выбросов парниковых газов стало одним из приоритетных и актуальных

направлений мирового сообщества. Как выше упоминалось, первым практическим шагом на пути решения предстоящей проблемы является принятие важного документа под названием Киотский протокол [124], и ясно, что его основной целью является снижения общие выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу на 5,2% к 2008-2012 гг. по сравнению с уровнем выбросов 1990 г. Согласно протоколу, «данный документ вступит в силу после ратификации странами, которые вместе выбрасывают в атмосферу не менее 55% CO<sub>2</sub>, и его ратифицируют 120 стран, включая Евросоюз, Японию, Китай и Индию, на долю которых приходится ~44% углекислый газ. Мониторинги и анализы показывают, в начале 2000-х годов США, выбрасывавшие в атмосферу 36% выбросов CO<sub>2</sub>, отказались от своих обязательств по названному протоколу в 2002 г. и вышел из него» [13]. Однако, вклад России, составляющий 17% мировых выбросов CO<sub>2</sub>, был включен в этот протокол в 2005 г.

В целом, что анализ законодательства, стратегий и программ показывает, что Таджикистан проделала значительную работу по реализации положений международных документов в области выполнения обязательств, таких как координация международных соглашений по изменению климата, охране озонового слоя и другим экологическим проблемам, а также координация разработки национального кадастра выбросов CO<sub>2</sub>, уязвимости и адаптации к изменению климата, разработка плана действий по изучению изменения климата и т.д., и как мировой инициатор по водно-климатическим проблемам на всех уровнях, к настоящему времени активно участвует и разработала и представила свои национальные планы по положениями Киотского протокола [124] и ПКС [125], потому что присоединение страны к международным экологическим документам и выполнение обязательств по ним, а также принятие программ и стратегий и их практическая реализация, способствует развитию и реализации государственной политики в области изменения климата и адаптации.

РТ, активно выступает в качестве инициатора глобальных инициатив по водным и климатическим вопросам, предложивший мировому сообществу ряд

предложений, направленные на решение существующих проблем в том числе в области защиты окружающей среды. К настоящему времени, РТ подготовил и представил свои Национальные планы и реализует положения Киотского протокола, а также ПКС и совместно с международными агентствами развития реализует ряд проектов по устойчивости и адаптации к изменению климата. Таджикистан присоединился и ратифицировал ряд важнейших международных соглашений в области охраны окружающей среды. Также необходимо отметить, что в рамках РКИК ООН все страны обязаны разработать национальный кадастр выбросов парниковых газов и реализовать конкретные меры по сокращению их выбросов.

После принятия ПКС [125] ряд стран, в т.ч. РТ в 2021 г. главной целью которого является реализации решительных мер в борьбе с изменением климата, представили ОНУВ [126], объединяющая более 200 участников, включая более 115 развитых и развивающихся стран, а также более 80 институтов. Потому что, согласно пункту 12, статья 4 данного соглашения, ОНУВ, разработанные странами, вносятся в общий реестр, и по запросу стран участники предлагают индивидуальный набор экспертных знаний, техническую помощь и финансирование [126]. Эта совместная поддержка предоставит развивающимся странам условия для адаптации к изменению климата и сокращения выбросов парниковых газов, способствует их устойчивому развитию.

Следует отметить, что из стран-членов СНГ к этому партнерству присоединились Таджикистан, Кыргызстан и Армения, при этом РТ выразила свою национальную позицию в ответ на запросы его секретариата, в рамках реализации планов и стратегий. Согласно этому документу, «РТ обязана придерживаться строгого вклада в сокращение выбросов CO<sub>2</sub>, и к 2030 г. с объемом выбросов не превышающий 60-70% выбросов парниковых газов 1990 г. Условный вклад в сокращение выбросов парниковых газов и воздействия на климатическую систему к 2030 г. с учетом значительного международного финансирования и внедрения современных технологий не должен превышать 50-60% выбросов углекислого газа в 1990 г.» [126]. Принятие таких конкретных

мер демонстрирует глубокое понимание уязвимости страны к процессу климатических изменений, а также включает в себя 5 важных стратегических секторов и 27 конкретных направлений деятельности.

Более того, сторона РТ приняла решение ускорить совершенствование системы движения транспортных средств, развитие низко- и без углеродной промышленности и энергетики и зеленой экономики в целях дальнейшего снижения выбросов CO<sub>2</sub>. Наряду с этим, присоединение РТ к международным экологическим документам и выполнение обязательств по ним, а также принятие программ и стратегий и их практическая реализация, способствует развитию и реализации государственной политики в области изменения климата и адаптации. А также, эти программы и стратегии, которые приняла РТ для нее на международном уровне, как ключевой инструмент в продвижении и продвижении его позиции на переговорах в рамках РКИК ООН, сообщает о выполнении обязательств в рамках названной конвенции и дальнейшем планировании национальной экономики в контекст изменения климата.

## Глава III. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ТАДЖИКИСТАНА

### 3.1. Изучение и оценка стандартного отклонения изменения метеорологических условий в горных и предгорных районах

Прежде всего, необходимо отметить, что в § 1.1.1 представлена скорость линейного тренда среднесезонной температуры (табл. 1.2), в § 1.2 – изменчивости среднегодовых температур и их стандартных отклонений за XXI-го столетия (табл. 1.8) и в § 2.1 – сценариях изменения температуры и осадков во всех странах ЦА (табл. 2.4), и данные прогнозов показывают, на то, что климатических изменений в данном регионе ускоряется из-за продолжения и расширения глобального потепления. Поэтому прогнозы по температуре, осадкам и речному стоку бассейнов рек региона, которые были разработаны на основе национальной сообщения стран ЦА об изменении климата [127], представлены в табл. 3.1.

**Таблица 3.1.** Рост температуры, процента осадков и речного стока в основных речных бассейнах ЦА по сравнению с базовым периодом (1961-1990 гг.).

<b>Бассейн / Страна</b>	<b>Т°С, 2030</b>	<b>Р, % 2030</b>	<b>V, % 2030</b>	<b>Т°С, 2050</b>	<b>Р, % 2050</b>	<b>V, % 2050</b>
<b>Амударья</b>						
Таджикистан	0,2-0,4	нд	нд	1,8-2,9	95-126	90-93
Узбекистан	1,1-1,2	114-116	~100	1,9-2,3	116-117	85-90
Туркменистан	нд	нд	нд	нд	нд	нд
<b>Зерафшан</b>						
Таджикистан	0,2-0,4	нд	нд	1,8-2,9	95-126	90-93
Узбекистан	1,1-1,2	114-115	98	1,9-2,3	116-118	84
<b>Сырдарья</b>						
Кыргызстан	~1.5	нд	~100	~2,3	нд	~95
Узбекистан	1,1-1,2	115-117	~100	2,2-2,3	115-118	95-98
Казахстан	1,4	102	нд	2,7	104	нд

Анализ результатов показывают, что для некоторых стран названных речных бассейнов (табл. 3.1), отсутствуют данные о прогнозы изменения температуры, осадки и речного стока на 2030 и 2050 гг. Несмотря на это, гидрометеорологические данные подтверждают, что в Туркменистане до конца

текущего столетия температуры повысится на 4,1-6,1°C, осадки – на 44-100% и речной сток – на 108-111%, а в Кыргызстане на этот период осадки увеличатся на 98-102%. Согласно совместном докладе АГ РТ и Азиатского банка развития, «в РТ паводки чаще всего случаются в бассейнах рр. Зерафшан, Пяндж и Вахш, а также на небольших реках, таких как Сурхоб (южный), стоки в периоды паводков могут превышать ~5 раза, тогда как на более крупных реках (Пяндж), этот показатель обычно составляет 2 раза» [127]. В связи с этим, для подтверждения правильности показателей табл. 3.1 проведены в работах ученых [128], которые охватывает 8 речных бассейнах зона формирования водных ресурсов бассейнов рр. Амударья (Зерафшан, Кафирнихан) и Сырдарья (Исфара), показывает и ещё как выше отметили, что до 2030 г. по водным ресурсам в названных бассейнах рек серьезных изменений не ожидается, и возможно, к 2050 г. эти ресурсы сократятся с 2-5% (бассейн р. Сырдарья) по 10-15% (бассейн р. Амударья).

Поскольку в данной работе упоминается, что «будущие изменения среднегодовой региональной температуры выше по сравнению со среднеглобальным значением, и согласно сценарию RCP 8.5, к концу XXI-го столетия прогнозируется более чем 5-6,5°C в летние месяцы» [128]. Поэтому в таблице 3.2 показаны прогнозной аномалии максимальной, минимальной и среднесуточной температуры в пределах РТ по 4-ем сценариям на 2040-2059 и 2080-2099 гг., который разработаны на основе база данных (1986-2005 гг.) репрезентативных путей концентрации. Здесь важно отметить, что для оценки прогнозов температурной изменчивости за эти периоды использовали модели проекта сравнения сопряженных моделей (CMIP5), которые используются в ходе подготовки V-ом докладе (AR5) МГЭИК, предоставляя оценки будущей температуры и осадков [129]. Как выше представлены проекции среднеглобального приземного потепления и повышения уровня моря на конце текущего столетия (табл. 1.7) и прогноза повышения среднегодовой температуры на территории СНГ, в табл. 3.2 показаны изменение температуры на территории РТ на

основе четырех репрезентативных сценариев концентрации парниковых газов (от низкого (RCP 2.6) до высокого (RCP 8.5) уровнем выбросов).

**Таблица 3.2.** Прогнозируемая аномалия для максимальных, минимальных и средних суточных температур на 2040-2059 и 2080-2099 гг.

Сценария	Среднесуточная минимальная температура		Среднесуточная температура		Среднесуточная максимальная температура	
	2040-2059	2080-2099	2040-2059	2080-2099	2040-2059	2080-2099
RCP2.6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,7	1,7
RCP4.5	2,1	2,8	2,0	2,8	2,2	3,1
RCP6.0	1,8	3,6	1,8	3,6	1,9	3,9
RCP8.5	2,8	5,8	2,7	5,8	2,8	6,0

Источник: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/tajikistan> [130]

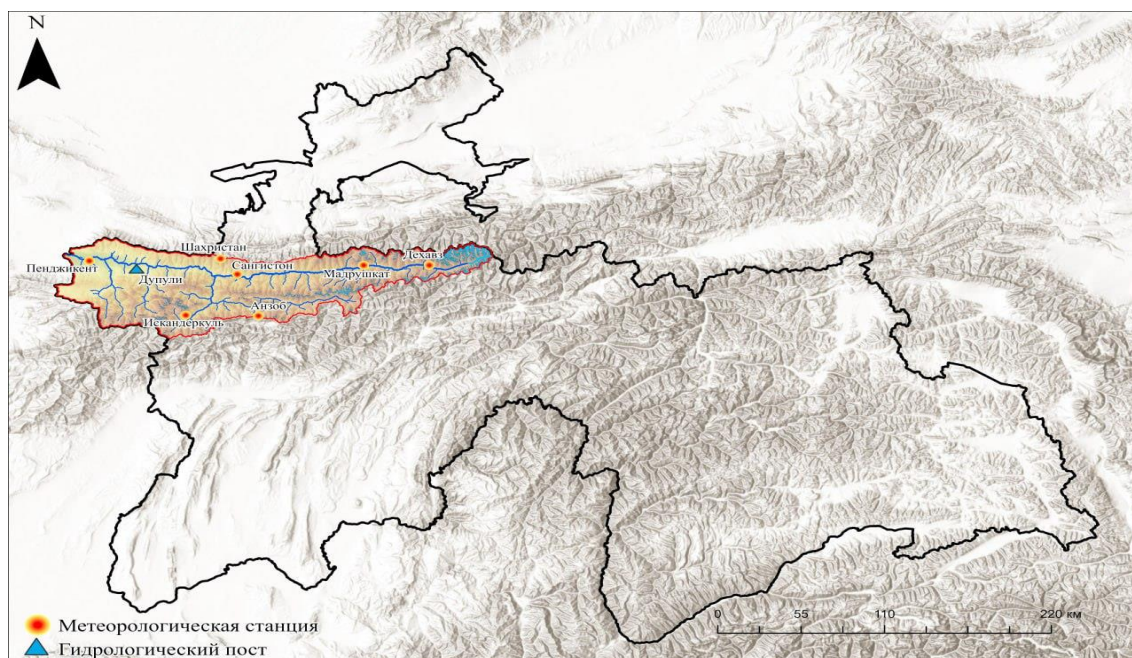
С учетом показателей таблиц 3.1-3.2 и другие очевидные данные об изменчивости гидрологического цикла рек, сокращении водных ресурсов и ускорения деградация ледников, в современных условиях, особенно в процессе глобального потепления, одним из основных индикаторов его тенденций является определение воздействия изменения метеоусловий на гидрологический режим и периодичность (паводка, межень) рек, озер, водохранилищ, поверхностные и подземные воды, некоторые различные аспекты данного вопроса на примере разных рек, озер, водохранилищ и других водных объектах Таджикистана, в частности, влияние изменения метеоусловий в зонах формирования крупных рек республики, таких как Пяндж, Мургаб, Гунт, Бартанг, Вандж, Вахш, Кафирнихан, Зерафшан, а затем озер («Искандеркуль») и крупных водохранилищ («Таджикское море», «Нурек»), опубликованы и отражены в научных работах [49-51, 131-152] сотрудников кафедры метеорологии и климатологии (Норматов И.Ш.) Таджикского национального университета.

Поскольку одним из речных бассейнов РТ, гидрометеорологические особенности которого относительно наиболее изучены вышеназванной научной школой, в т.ч. и автором данной диссертации, является БРЗ, поэтому ниже анализируем изменения метеоусловий данного бассейна как горно-предгорного района за три стандартных тридцатилетних периода.

Как известно, что климатических изменений связано с 12-15-летними, 30-летними, 70-летними, вековыми и многовековыми циклами, и изменения ледников, площади оледенения и гидрологические циклы подчиняются этим закономерностям. Поэтому здесь используем этот стандарт для оценки изменений метеоусловий на примере БРЗ. Необходимо отметить, что Варшавская конференция (1935 г.) [153], в качестве стандартного периода осреднения рекомендовала 30 лет (1901-1930 гг.). Далее Вашингтонская конференция ВМО (1957 г.) и Женевская первая Всемирная конференция по климату (1979 г.) в качестве стандартного периода осреднения также рекомендовали период в 30 лет (1931-1960 гг.). С учетом вопросов, в ходе XVII Всемирного метеорологического конгресса (2015 г.) был одобрен ряд изменений, которые отражены в техрегламенте в определениях, касающихся климатических норм. Наиболее значительное из этих изменений заключалось в изменении определения климатологических стандартных норм, и теперь они применяются к последнему 30-летнему периоду, который завершается годом, кончающимся цифрой 0 (1901-1930 гг., 1931-1960 гг., 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.) [154]. Однако период 1961-1990 гг. был сохранен как стандартный опорный период для долгосрочной оценки изменения климата. В то же время, на XVI-й сессии Комиссии по климатологии (2014 г.) [155] был принят новый «нормальный» 30-летний ряд, т.е. 30-летних климатических показателей на период 1981-2010 гг. В связи с происходящими климатическими изменениями ВМО приняла новый техрегламент об обновлении климатонорм, по которому была рекомендована 1991-2020 гг. Это предложение и стандарт получили поддержку во всем мире и многие европейские страны уже перешли на новый базовый период, в частности НОАА обновило климатические нормы по базовому 30-летнему периоду 1991-2020 гг.

Согласно [31, 156], в связи с этой, «анализ и оценка современного климатического состояния БРЗ осуществлены мониторинговыми исследованиями динамики изменения метеопараметров за период 1931-2020 гг.» [157], при этом, «оценка воздействия орографии на климатическое состояние,

реализованы на основе данных метеостанций БРЗ, расположенные на разных высотах над уровнем моря и разных широтах» [157]: 4 метеостанции расположены вдоль русла р. Зерафшан (вверх по течению) - Пенджикент, Сангистон, Мадрушкат и Дехавз; метеостанция Искандеркуль на берегу одноимённого озера; метеостанция Анзоб (Анзобский перевал – на юге) и Шахристан (Шахристанский перевал – на севере) (рис. 3.1; табл. 3.3).



**Рис. 3.1.** Расположение метеостанций и гидропост в бассейне реки Зерафшан

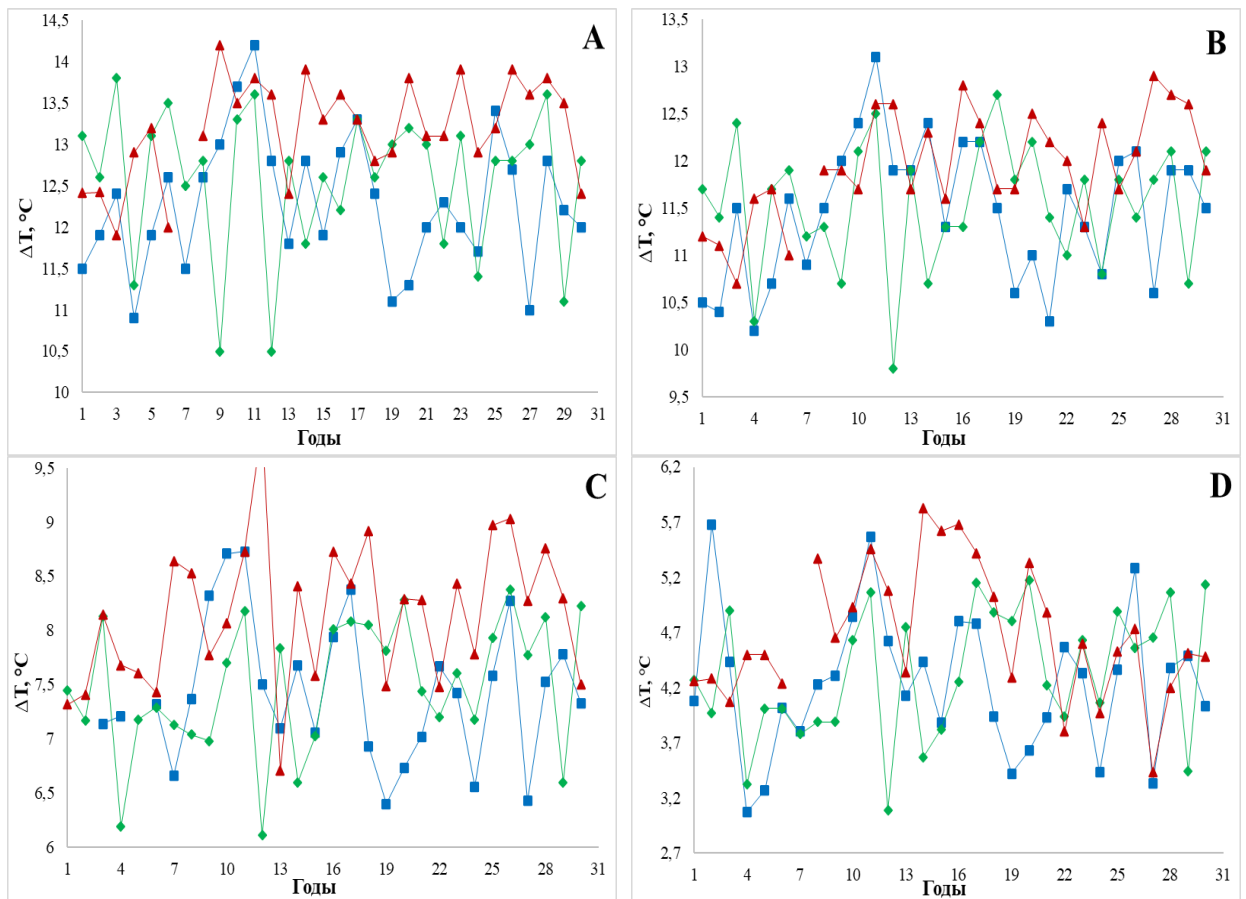
Как показано на рис. 3.1, местоположения метеостанций и гидропост, использованных в данной диссертации, на географо-орографической карте РТ, а в таб. 3.3 представлены общая информация о метеостанциях БРЗ (средние значения температуры и осадков, рассчитанные за 1931-2020 годы).

**Таблица 3.3.** Общие данные о метеостанциях бассейна реки Зерафшан

Станция	Год	Индекс	Высота, м н.у.м.	Геокоординаты		$\Delta T$ , °C	$\Sigma P$ , mm
				N	E		
Пенджикент	1879	38705	1016	39°48'94"	67°59'91"	12,68	411,77
Сангистон	1932	38716	1502	39°39'19"	68°58'62"	11,64	225,74
Искандеркуль	1929	38718	2204	39°08'47"	68°37'09"	6,77	301,87
Мадрушкат	1932	38725	2254	39°44'65"	69°66'45"	7,70	230,70
Дехавз	1928	38734	2561	39°44'75"	70°19'45"	4,42	319,86
Шахристон	1933	38715	3143	39°54'35"	68°55'02"	0,53	455,32
Анзоб	1939	38719	3379	39°07'86"	68°86'87"	-1,76	434,43

Полученные результаты (табл. 3.3) показывают, что среднемноголетняя температура в БРЗ от низовья к верховью названной реки варьируется в диапазоне от 12,68°C (Панджакент) до 4,42°C (Дехавз), а среднемноголетнее значение годовое количество осадков в западной части долины составляет 411,77 мм (Панджакент), в восточной части – 319,86 мм (Дехавз), а в средней части бассейна – 225,74 мм (Сангистон). Установлено, что минимальные и максимальные значения среднегодовой температуры в период 1931-2020 гг. на высотах 1000-1500 м дифференцируется от 9,8°C (Сангистон, 1972 г.) до 14,2°C (Панджакент, 1999 г.), на высотах 2000-2500 м – от 3,1°C (Дехавз, 1934 г.) до 9,9°C (Мадрушкат, 2016 г.), а на высотах более 3000 м – от -3,3°C (Анзоб, 2010 г.) до 2,1°C (Шахристан, 1941 г.). Отсюда видно, что центральная часть данного бассейна является одним засушливых регионов страны, где годовое количество осадков за период наблюдения колеблется в пределах 225,74-230,70 мм (по данным метеостанциями Сангистона и Мадрушката). Расчеты метеоданные подтверждают, что в суббассейне реки Фондаря среднемноголетнее значение годовое количество осадков за 1931-2020 гг. составляет 301,87 мм (Искандеркуль), а в южной части БРЗ оно достигает 434,43 мм (Анзоб) и в северной части – 455,32 мм (Шахристан) [31].

Следует отметить, что в настоящее время действуют два стандарта – новый базовый стандарт (1991-2020 гг.) и старый исторический стандарт (1961-1990 гг.), способствующие общественному и научному пониманию скорости и процессов изменения климата. С учетом вышеизложенного нами осуществлен анализ изменения температурного режима воздуха и годового количества осадков в БРЗ по многолетним данным метеостанций за три тридцатилетних стандартных периодов (1931-1960 гг., 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.). На рис. 3.2 представлены среднегодовые изменения температуры за три тридцатилетних периода (1931-1960 гг., 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.) на основании многолетних наблюдений метеостанций, расположенных вдоль реки. Здесь, следует отметить, что, кроме метеостанции Мадрушкат, в трех других метеостанциях отсутствует данные за 1997 г.



**Рис. 3.2.** Изменение среднегодовой температуры за три тридцатилетних периода 1931-1960 гг. (■), 1961-1990 гг. (◆) и 1991-2020 гг. (▲) по наблюдениям метеостанций Пенджикент (А), Сангистон (В), Мадрушкат (С) и Дехавз (D)

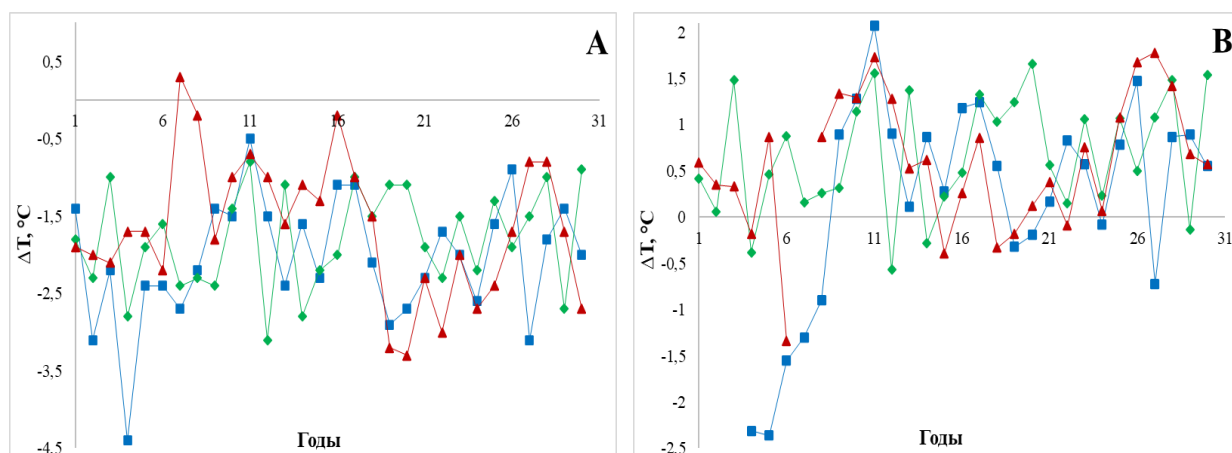
Анализ полученных данных (рис. 3.2), позволил выявить, что зависимость от местоположения метеостанций Зерафшанской долины, динамики среднегодовой температуры различная. На основе полученных данных установлено, что в трех метеостанциях, за исключением метеостанции Дехавз, тенденция повышения температуры в третьем тридцатилетнем периоде (1991-2020 гг.) очень велика по сравнению с двумя предыдущими тридцатилетними периодами (1931-1960 и 1961-1990 гг.).

В соответствие с данными метеостанции Пенджикент (рис. 3.2, А), температура за 1931-1960 гг. не изменилась, со значением тренда  $R^2 = 6E-06$ . Во втором тридцатилетии она незначительно повысилась, при значении тренда  $R^2 = 0,001$ . Однако с 1991 по 2020 год температура повышается и значение тренда при этом достигает  $R^2 = 0,145$ . В центральной части БРЗ (рис. 3.2, В) температура в период первого и второго тридцатилетий имела небольшой тренд к

повышению и значительным повышением в период третьего тридцатилетия, значение которой составляет  $R^2 = 0,330$ .

Данные метеостанции Мадрушкат (рис. 3.2, С), позволили установить, что температура в период 1931-1960 гг. при значении тренда  $R^2 = 0,013$  имеет тенденцию к понижению. Установлено, что для двух тридцатилетних периодов 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг. тенденция повышения температуры примерно одинакова, при величине их роста равная  $R^2 = 0,119$  и  $R^2 = 0,070$  соответственно. В отличие от данных, полученных на нижерасположенных метеостанциях, в верховьях БРЗ (метеостанция Дехавз) в тридцатилетнем периоде (1961-1990 гг.) наблюдается тенденция к повышению температуры ( $R^2 = 0,118$ ), а за 1931-1960 гг. и 1990-2020 гг. температура имеет тенденцию к снижению, с величинами их понизительного тренда равные  $R^2 = 0,002$  и  $R^2 = 0,011$  соответственно.

Как упоминалось выше, воздушные течения, поступающие в данном бассейне с юга и севера или выходящие из БРЗ, фиксируются метеостанциями перевалов Анзоб и Шахристон, которые расположены в хр. Гиссар и Туркестан. Поэтому на рис. 3.3 показано изменение среднегодовой температуры по многолетним названным метеостанциям за вышеупомянутые тридцатилетние периоды. Необходимо отметить, что как метеостанции долины Зерафшан, по метеостанции Шахристан отсутствует метеоданные за 1997 г., а также за 1931-1933 гг.



**Рис. 3.3.** Изменение среднегодовой температуры за три тридцатилетних периода 1931-1960 гг. (■), 1961-1990 гг. (◆) и 1991-2020 гг. (▲) по наблюдениям метеостанций Анзоб (А) и Шахристан (В)

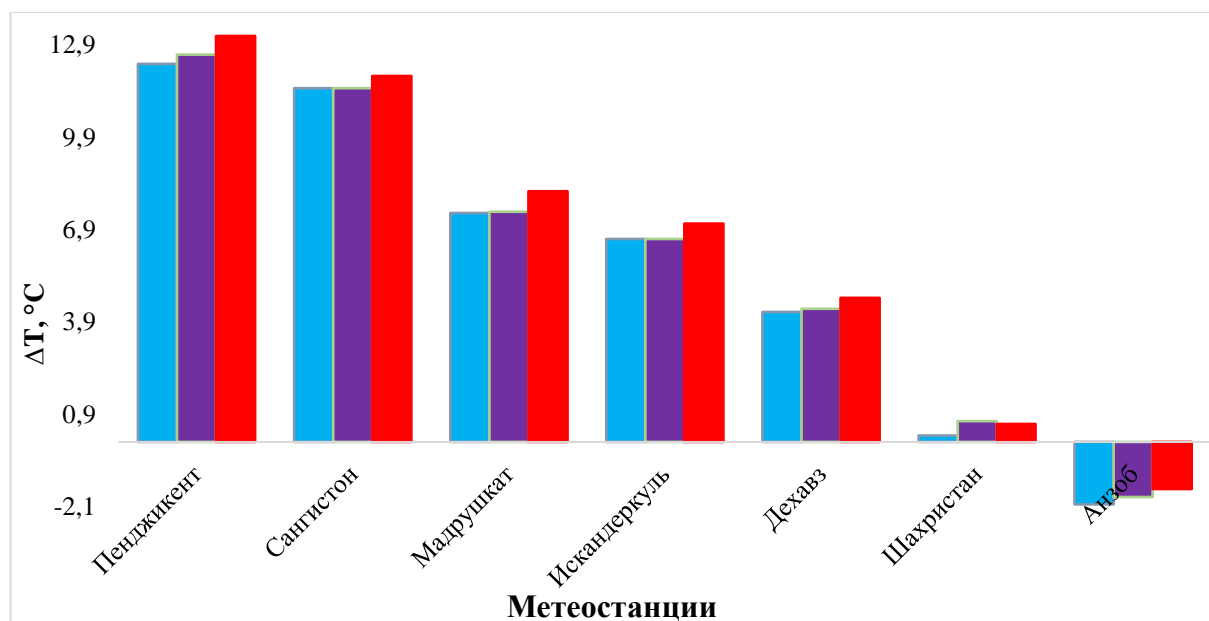
Из рис. 3.3 (А) видно, что температура воздуха в первую (1931-1960 гг.) и вторую (1961-1960 гг.) тридцатилетия имеет тенденцию к повышению, и величина ее роста для этих периодов составляет  $R^2 = 0,041$  и  $R^2 = 0,054$  соответственно, но в период 1991-2020 гг. она имеет незначительную тенденцию к снижению, и величина ее достигает  $R^2 = 0,059$ . Почти так, как показатели рис. 3.3 (В), на территории метеостанции Шахристан во все периоды наблюдений температура имеет тенденцию к повышению и их тренд снижается от первого к третьему тридцатилетию, а величина тренда роста температуры для трех периодов составляет  $R^2 = 0,209$ ;  $R^2 = 0,070$  и  $R^2 = 0,047$  соответственно.

Результаты исследований позволили установить факт, свидетельствующий о том, что в высокогорных районах БРЗ в период 1931-1990 гг. температура имела тенденцию к повышению, однако после 90-х годов прошлого века и в первой четверти текущего, выявлена тенденция к её снижению. Вместе с тем, среднемноголетнее значение температуры во всех метеостанциях БРЗ (кроме метеостанции Шахристан) за рассматриваемые тридцатилетние периоды выявлено значительное потепление климата.

Свидетельством вышеизложенного является, то что по данным метеостанции (Пенджикент), среднее многолетнее значение температуры в период 1931-1960 гг. составляло  $12,3^{\circ}\text{C}$ , то этот показатель за 1961-1990 гг. повысился до  $12,6^{\circ}\text{C}$ , а в период 1991-2020 гг. достиг значения  $\sim 13,2^{\circ}\text{C}$ . Относительно других зон следует отметить, что за тот же период наблюдений, в Фон-Ягнобском ущелье (метеостанция Искандеркуль) составили  $6,6^{\circ}\text{C}$ ;  $6,6^{\circ}\text{C}$  и  $7,1^{\circ}\text{C}$  соответственно; в тоже время по данным самой высокогорной метеостанции исследуемого бассейна (Анзоб) они составили  $-2,0^{\circ}\text{C}$ ,  $-1,8^{\circ}\text{C}$  и  $-1,6^{\circ}\text{C}$ , соответственно.

Результаты исследований представлены на рис. 3.4 – снижение среднемноголетнего значения температуры за три тридцатилетних периода: 1931-1960 гг. (*синий*), 1961-1990 гг. (*фиолетовый*) и 1991-2020 гг. (*красный*). Для определения процесса повышения температуры воздуха на рис. 3.5 – среднее

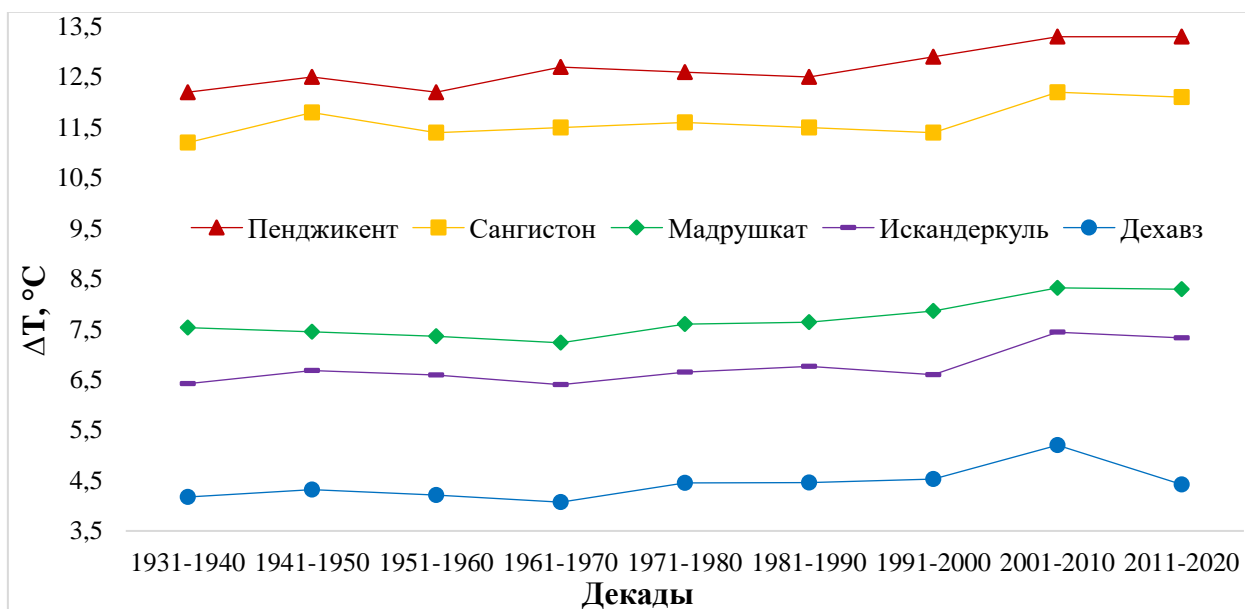
значение за каждые декады периода 1931-2020 гг. по многолетним наблюдениям метеостанций Зерафшанской долины.



**Рис. 3.4.** Зависимость среднееголетнего значения температуры от высоты географической местности метеостанций

Отсюда хорошо видно, что температура воздуха снижается с повышением местоположения метеостанции и в каждом последующем тридцатилетии значение температуры выше, чем в предыдущем, что подтверждается процессом повышения температуры воздуха на всей территории БРЗ. Установлено [31], что среднееголетнее значение температуры за период 1931-2017 гг. на метеостанциях составляет: Пенджикент - 12,7°C, Сангистон - 11,6°C, Мадрушкат – 7,7°C, Искандеркуль – 6,7°C, Дехавз – 4,4°C, Шахристан – 0,5°C, Анзоб – 1,8°C. При этом, разница температур между метеостанциями, расположенными вдоль р. Зерафшан, составляет 7,6°C, в тоже время этот показатель между высокогорными метеостанциями бассейна составляет 2,3°C. Одновременно, «тренд роста температуры в БРЗ продемонстрировало следующее увеличение ее значений за 1950-2020 гг. по метеостанциям: Пенджикент – 1,1°C, Сангистон – 0,6°C, Мадрушкат – 1,0°C; Искандеркуль – 0,9°C; Дехавз – 0,68°C; Анзоб – 0,2°C» [157]. Поэтому, для более глубокого определения процесса повышения температуры воздуха на рис. 3.5 показаны ее среднее значение за каждые декады периода 1931-2020 гг. по многолетним наблюдениям

метеостанций Зерафшанской долины. Как показано на рис. 1.5, где показано трендовое значение среднегодовой температуры на территории РТ за 1931-2020 гг., из рис. 3.4 ясно, что среднедекадные значения температуры в БРЗ имеет глубокую динамику.



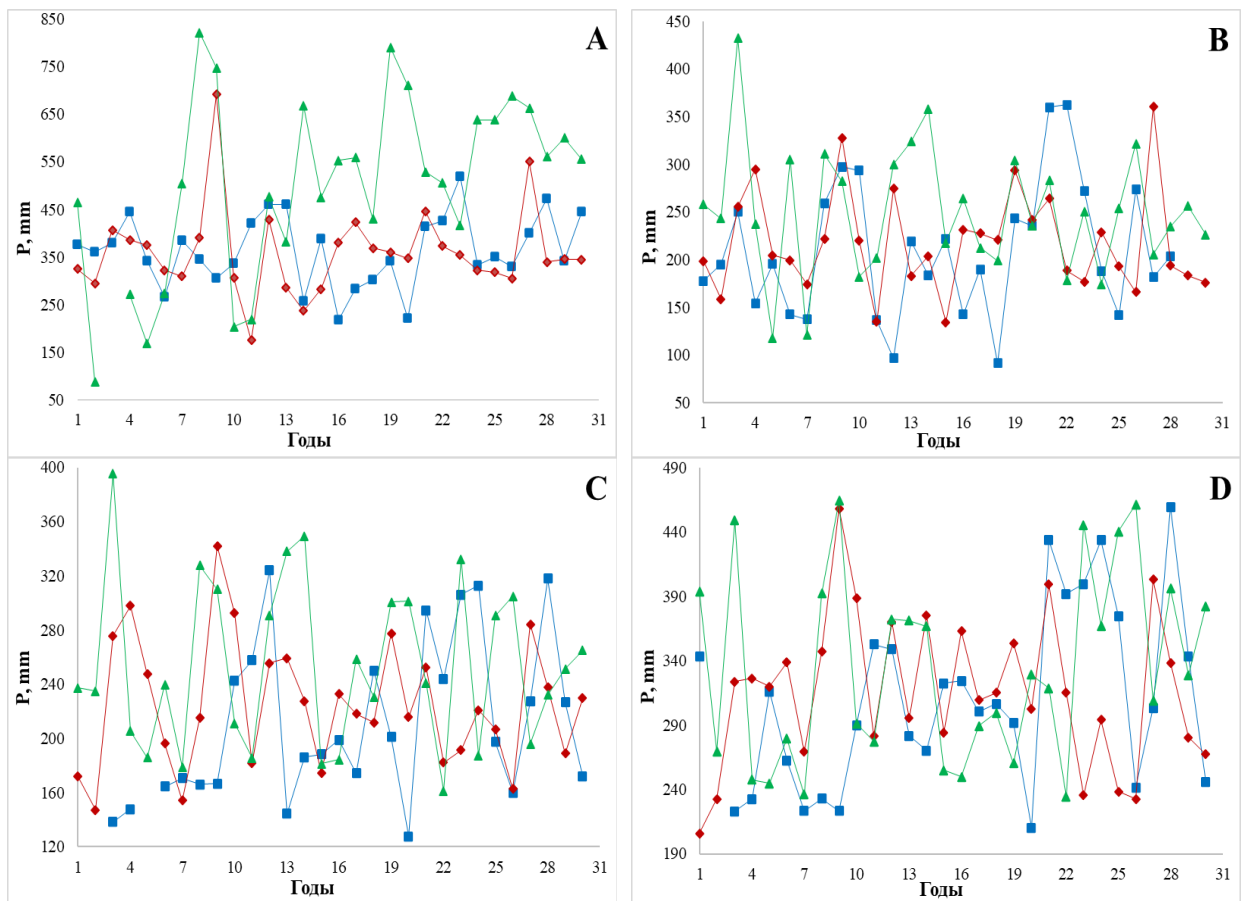
**Рис. 3.5.** Среднее значение температуры по декадам в Зерафшанской долины

На основе анализа полученных результатов (рис. 3.5) выявлено, что температура в Зерафшанской долине в целом повышается, особенно после 6-го десятилетия прошлого столетия (рис. 3.5, четвертые декады) во всех субрегионах долины. В частности, 8-е декады (2001-2010 гг.) были самыми жаркими периодами десятилетия, подтверждающие 80-летние данные АГ РТ [26-29], в частности в стране в 2000-2001 гг. была засуха (НАСА – за 1950-2013 гг.).

ЦА отнесена к самым жарко-засушливым регионам мира и по данным Третьего национального сообщения РТ [48], период 2001-2010 было самое жаркое десятилетие в истории метеонаблюдений страны. В целом, на основе полученных результатов наблюдений за температуры в БРЗ можно утверждать, что с 1931 по 2020 год ее повышение составляло  $0,11^{\circ}\text{C}/10$  лет, а к 2050 году в исследуемом бассейне повышение температуры ожидается на  $3,1-3,4^{\circ}\text{C}$ .

Согласно автору, «наряду с термическим условием, важным метеоусловиям, предопределяющий состояние снежно-ледового состояния и речных стоков бассейна являются атмосферные осадки» [157]. Согласно данным [31],

«климат БРЗ субтропический, внутриконтинентальный с жарким летом при умеренно холодной зиме, и основная доля осадков выпадает весной и осенью. Особенностью рассматриваемой долины является наличие западных и юго-западных ветров, приносящие осадки в БРЗ с Атлантики» [157]. Естественно, при встрече с Гиссарским хр. влагообеспечивающие потоки достигают БРЗ ослабленными, и в своем пути теряют большое количество влаги (~2000 мм/г) на южных склонах названных хребтов, в долинах рр. Кашкадарья, Сурхандарья и Кафирнихан. Вышеизложенное предопределила необходимость оценки изменения осадков в данном бассейне. На рис. 3.6 приведена график динамики осадков за три стандартных тридцатилетних периода по многолетним наблюдениям метеостанций, расположенных вдоль р. Зерафшан.



**Рис. 3.6.** Динамика атмосферных осадков Зерафшанской долины за три тридцатилетних периода 1931-1960 гг. (■), 1961-1990 гг. (◆) и 1991-2020 гг. (▲) по наблюдениям метеостанций Пенджикент (А), Сангистон (В), Мадрушкат (С) и Дехавз (D)

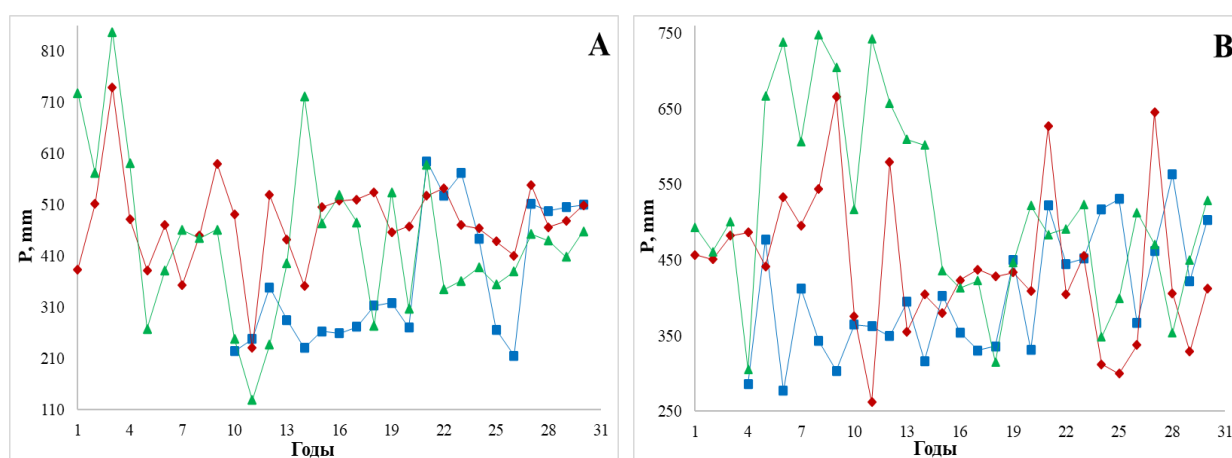
Здесь, необходимо отметить, что отсутствуют данные, зафиксированные осадков по метеостанции Пенджикент за 1992, 1993 гг., по Мадрушкату за 1931, 1932 и 1935 гг. и по Дехавзу за 1932 год.

Из рис. 3.6 хорошо видно, что наибольшее количество осадков выпадает в западной части Зерафшанской долины (метеостанция Пенджикент, рис. 3.6, А), а относительно наименьшее их значение наблюдается в центральной части долины (метеостанция Сангистон, рис. 3.6, В). Согласно расчетам, среднемноголетнее значение суммы годовых осадков на метеостанции Пенджикента за 1931-1960 гг. равно 364,2 мм, за 1961-1990 гг. – 359,9 мм и за 1991-2020 гг. – 503,5 мм. Эти показатели для таких периодов наблюдений на метеостанции Сангистон (рис. 3.6, В), равны 208,7 мм, 217,7 мм и 249,7 мм соответственно, по данным метеостанции Мадрушкат (рис. 3.6, С) они составляют 211,4 мм, 225,1 мм и 253,7 мм соответственно. В восточной части данной долины (метеостанция Дехавз, рис. 3.6, D) среднемноголетнее значение суммы годовых атмосферных осадков за 1931-1960 гг. составляет 309,7 мм, за 1961-1990 гг. – 315,4 мм и за 1991-2020 гг. – 334 мм. Как кривые линии рис. 3.6 (А, В, С, D), так и среднемноголетние значения суммы годовых осадков показывают, что в БРЗ годовое количество осадков в следующем тридцатилетием увеличилось по сравнению с каждым предыдущим периодом.

В целом, на основе метеоданных Пенджикента, установлено, что количество атмосферных осадков в период 1931-1960 гг., незначительно увеличивалось ( $R^2 = 0,015$ ), а с 1961 по 1990 год практически не изменилось ( $R^2 = 0,001$ ), но за период 1991-2020 гг. выявлено увеличение со значительной тенденцией ( $R^2 = 0,269$ ). Исследования данных многолетних наблюдений метеостанции Сангистон позволили установить, что годовое количество осадков на данной территории за первые тридцатилетнее периода увеличилось, при  $R^2 = 0,0399$ . Однако в течение последующих двух тридцатилетних периодов он имеет тенденцию к уменьшению, а тренд уменьшения годового количества осадков равна  $R^2 = 0,0005$  и  $R^2 = 0,012$  соответственно. По многолетним данным метеостанции Мадрушкат, выявлено, что количество осадков в период 1931-1960

гг. увеличилось ( $R^2 = 0,151$ ), с 1961 по 1990 год немного уменьшилось ( $R^2 = 0,004$ ), в тоже время за 1991-2020 гг. практически не изменилось ( $R^2 = 0,0005$ ). В районе метеостанции Дехавз динамика осадки практически аналогична ситуации на станции Мадрушкат, где количество осадков увеличивалось в период 1931-1960 гг., уменьшалось за 1961-1990 гг. и снова увеличивалось с 1991 по 2020 год, а величина его тренды составляет  $R^2 = 0,188$ ,  $R^2 = 0,002$  и  $R^2 = 0,049$  соответственно.

Анализ результатов (рис. 3.6) показывают, что хотя динамика атмосферных осадков за все периоды наблюдений в БРЗ имеет разные картины в зависимости от орографических особенностей и географического местоположения метеостанций, но в целом наблюдается его роста. Поэтому для сравнительного анализа на рис. 3.7 представлена динамика атмосферных осадков в высокогорные районы БРЗ за три тридцатилетних периода 1931-1960 гг., 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.



**Рис. 3.7.** Динамика атмосферных осадков за три тридцатилетних периода 1931-1960 гг. (■), 1961-1990 гг. (◆) и 1991-2020 гг. (▲) по наблюдениям метеостанций Анзоб (А) и Шахристан (В)

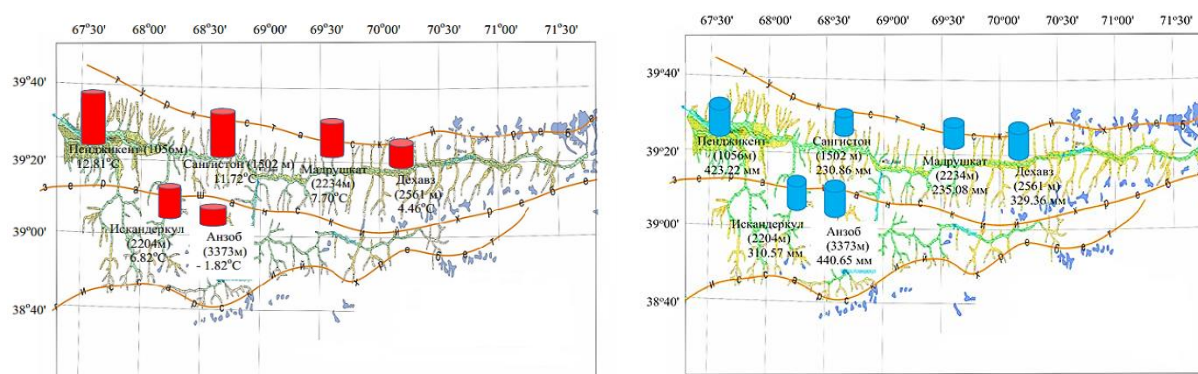
Из рисунков 3.7 видно, что в отличие от данных метеостанций долины динамика осадки в высокогорных районах БРЗ имеет иную картину за периоды наблюдений. По данным метеостанций Анзобского и Шахристанского перевалов годовое количество осадков за первые тридцатилетнего периода (1931-1960 гг.) имеет значительную тенденцию к увеличению, а значение его тренда для вышеназванных станций составляет  $R^2 = 0,396$  и  $R^2 = 0,399$ . Однако

годовое количество осадков за период 1961-1990 гг. в районе Анзоба осталось практически неизменным, а в районе Шахристана оно значительно снизилось. В третьем тридцатилетнем периоде (1991-2020 гг.) годовое количество осадков для обеих метеостанций уменьшилось, и величина его уменьшения для вышеупомянутых станций составляет  $R^2 = 0,075$  и  $R^2 = 0,156$  соответственно. В целом, «динамика атмосферных осадков, как и в случае температуры, характеризуется возрастающим трендом, хотя скорость увеличения происходит по-разному в каждой из перечисленных выше метеостанций. Следует отметить, что здесь особый интерес представляет данные по температуре и осадки метеостанции Дехавз поскольку она более ближе к леднику Зерафшан и полнее характеризует климатические условия района расположения ледника» [157].

Аналогично вышеприведенным данным, расчеты автора показывают, что «интегральное изменение атмосферных осадков в БРЗ за 1940-2020 гг. в среднем составляло 20 мм/10 лет, которое по различным географическим широтам бассейна зарегистрированные соответствующими метеостанциями соответствует (мм/10 лет): Пенджикент – 30,3; Сангистон – 3,8; Мадрушкат – 50; Искандеркуль – 42 и Анзоб – 12. Однако в восточной части БРЗ изменения осадки сохраняла почти постоянное значение с некоторым трендом уменьшения после 2010 г.» [157]. По мнению автора [59-60], «уменьшающийся тренд осадков по данным Дехавз было прогнозировано также моделями GFD3, CCCM и UK-89 согласно которым к 2050 году уменьшение осадков составит до 1% по отношению к базисному периоду (1961-1990 гг.)» [157]. В отличие от атмосферных осадков, повышение температуры за эти периоды составляло  $0,11^{\circ}\text{C}/10$  лет и к 2050 году в данном бассейне повышение температуры ожидается с 3,1 до  $3,4^{\circ}\text{C}$ .

В целом, представленные данные об осадках, полученные в результате наблюдений на метеостанциях БРЗ, «однозначно показывают об отсутствии функциональной зависимости между изменением атмосферных осадков и высоты расположения местности, и показывают о решающей роли орографии местности на распространении воздушных масс и сумма формируемых

осадков» [157]. Здесь важно отметить, что о связи метеоусловий и орографией местности, на примере некоторых речных бассейнов, в т.ч. БРЗ Норматов И.Ш. и его ученики опубликовали ряд научных работ, которые выше отметили. Исходя из этого, на рис. 3.8 показаны пространственное распределение температуры воздуха и среднемноголетние значения атмосферных осадков по субрегионам данного бассейна.



**Рис. 3.8.** Пространственное распределение температуры и среднемноголетние значения атмосферных осадков по субрегионам БРЗ

Таким образом, «климат Зерафшанской долины резко континентальный, что связано с его положением почти в середине азиатского континента, в зоне субтропических пустынь и здесь распределение осадков в течение года очень неравномерно» [133]. Расчетами автора, что «общегодовое количество осадков колеблется от 306 мм на высоте 2200 м до 841 мм на высоте 3600 м, а также оно достигает своих максимальных значений с конца марта до начала мая (50% годовой суммы осадков) и второй пик приходится на середину октября до начала декабря, было неправильно» [157]. Потому что распределение количество атмосферных осадков по сезонам тесно зависит от местоположения метеостанций Зерафшанской долины, во всех суббассейнах всех метеостанций весной выпадает не более 50, но более 40% годовой суммы осадков. Для подтверждения реальности вышесказанного слова, в таб. 3.4 представлены распределение годового количества осадков в процентах за период 1931-2020 гг. по сезонам на метеостанциях Зерафшанской долины.

**Таблица 3.4.** Распределение количества осадков в процентах за 1931-2020 гг. по сезонам на метеостанциях Зерафшанской долины

<b>Метеостанция</b>	<b>Зима</b>	<b>Весна</b>	<b>Лето</b>	<b>Осень</b>
<b>Пенджикент</b>	30,92	48,44	4,62	16,03
<b>Сангистон</b>	18,28	48,85	14,62	18,25
<b>Мадрушкат</b>	12,90	47,76	25,27	14,07
<b>Искандеркуль</b>	20,13	49,75	14,86	15,26
<b>Дехавз</b>	11,92	44,64	27,00	16,45

Анализы (табл. 3.4) подтверждают, что в большинстве субрегионов БРЗ соотношение количества летних и осенних осадков примерно одинаковое. Однако в восточной части долины количество летних осадков очень мало, а в западной ее части количество летних осадков превышает количество осенних и зимних осадков. Поскольку западная часть долины является высокогорной, поэтому большая часть осадков выпадает здесь в твердом виде. Согласно мнению автора, «расположение метеостанции на низких широтах и высокая среднегодовая температура способствуют тому, что холодная западная воздушная масса, поступающая в БРЗ, обеспечивает достаточное количество атмосферных осадков в жидкой фазе, а затем более легкая и сухая воздушная масса поступает в центральную часть названного бассейна» [157].

### **3.2. Влияние изменения климата на гидрологические характеристики водных артерий горных бассейнов**

Поскольку зона формирования водных ресурсов БАМ, особенно верховья бассейна р. Амударья, имеет континентальный климат, и, как показано в табл. 1.1 и рис. 1.1 (§1.1), основным теплообеспечивающим факторам в данном регионе являются южные воздушные течения, а влагообразующим – юго-западные воздушные массы. Поэтому, «среднегодовое количество осадков в альпийские зоны региона превышает 1000 мм, в предгорьях и прилегающих равнинах составляет всего 100 мм, а также ~80% осадков выпадает в основном зимой и ранней весной, когда стоит холодная погода и средняя температура достигает 23,8°С» [157]. По многолетним метеонаблюдениям, «в данном бассейне летом и ранней осенью погода сухая и жаркая, средняя температура

июля достигает 30,8°C, а снег в основном выпадает зимой и весной, а затем тает, являясь важным источником воды региона» [157]. Согласно данным, «в бассейне р. Амударьи 80% стока аккумулируется в апреле-сентябре и в декабре-феврале приходится лишь 13%, а в бассейны рр. Пяндж и Вахш поступает ~70% основного стока, а остальные притоки вместе составляют оставшиеся 30%» [157-158]. Поэтому, как представлены в табл. 2.4 сценарии изменения температуры и осадков в странах ЦА на 2030, 2050, 2085 гг., в табл. 2.5 указаны прогнозы снижения среднегодового стока некоторых крупных рек РТ на период до 2050 г. по сравнению с нормам 1990 г., а также в табл. 3.1 изменения среднегодовой температуры, количества осадков и речного стока в основных речных бассейнах ЦА на 2030 и 2020 гг. по сравнению с тридцатилетним базовым периодом 1961-1990 гг., для сравнительного анализа в табл. 3.5 показаны изменения среднегодовой температуры и годового осадков в трёх речных бассейнах центрального РТ за 2011-2040 гг., 2041-2070 гг. и 2070-2100 гг. по сравнению с базовым периодом 1981-2010 гг. по сценариями RPC 4.5 и RPC 8.5.

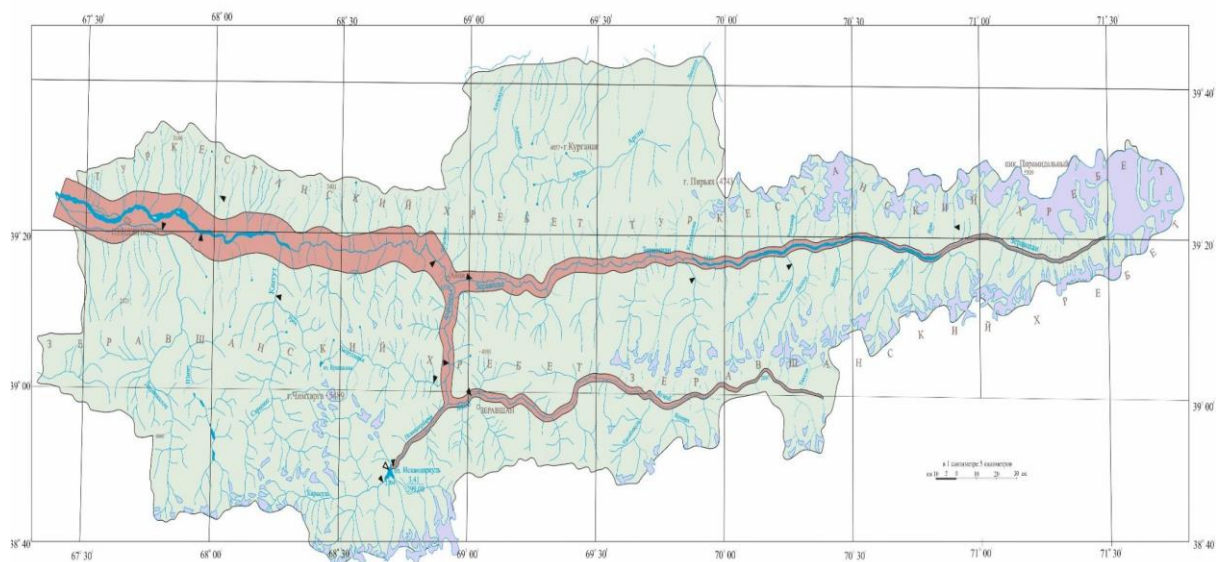
**Таблица 3.5.** Изменения среднегодовой температуры и осадков на три речных бассейна за 2011-2040 гг., 2041-2070 гг. и 2070-2100 гг. относительно периода 1981-2010 гг. в рамках RPC 4.5 и RPC 8.5.

Бассейн	RPC	ΔT, °C			ΔP, %		
		2011-2040	2041-2070	2070-2100	2011-2040	2041-2070	2070-2100
Исфара	RPC 4.5	1,2	2,4	3,1	0,9	1,8	1,9
	RPC 8.5	1,5	3,4	5,6	-3,6	-1,3	-2,0
Зерафшан	RPC 4.5	1,2	2,4	3,1	0,6	0,3	-0,4
	RPC 8.5	1,5	3,3	5,5	-5,8	-2,8	-4,0
Кафирни-хан	RPC 4.5	1,2	2,5	3,2	1,3	0,8	-0,1
	RPC 8.5	1,6	3,5	5,7	-5,3	-1,9	-2,9

Результаты (табл. 3.5) показывают, что температура в течение текущего столетия на водосборной территории трёх рек увеличилась с 3,1 (в бассейне р. Исфара, по RPC 4.5) до 5,7°C (в бассейне р. Кафирнихан по RPC 8.5), а годовое количество осадков колеблется от увеличения на 1,9% в бассейне р. Исфара (по RPC 4.5) до уменьшения на -4,0% в БРЗ (по RPC 8.5). Ибо согласно

расчетам [158], среднегодовая температура в период 1951-2007 гг. увеличилась на 0,48°C в бассейне р. Пяндж, на 0,63°C в бассейне р. Вахш и на 0,33°C в БРЗ.

С целью оценки влияния климатических изменений на гидрологический режим водных артерий речных бассейнов горно-предгорных районов, осуществлен анализ изменения метеоусловий и гидрологической динамики р. Зерафшан (39°22'56"N 68°32'59"E) и взаимосвязь между ними за период 1940-2020 гг. Согласно авторов, гидрографосеть БРЗ не очень сложна, но расположена неравномерно (рис. 3.9) и несмотря на это, «с обеих стороны к названном реке присоединяются более 200 малых и больших притоков, общая протяженность которых достигает 2290 км (общее количество речек БРЗ 4191, имеющие протяженность 13323 км). Из них 86 рек имеют длину более 10 км, 3 реки – более 50 км, и общая длина водных артерий составляет более 10 км достигает почти 1 700 км» [169]. В то же время, важно отметить, что в прошлом сама Зерафшан была одной из самых крупных притоков Амударьи, но в настоящее время она не достигает её. Сейчас она отдельная река, имеющая собственный бассейн. Таким образом, по сравнению с Восточной Европой речная сеть бассейна реки Зерафшан почти в три раза меньше, приблизительно соответствует 138 м на каждую 1 км<sup>2</sup> ее бассейна. Поэтому на рис. 3.9 представлена гидрологическая карта БРЗ и, как видно из этого рисунка, водосбор р. Зерафшан, до слияния р. Фондарьи, относится к числу наиболее высоко расположенных бассейнов ЦА.



**Рис. 3.9.** Гидрологическая карта бассейна реки Зерафшан

Согласно данным [159-163], «в питании р. Зерафшан и ее притоков основной роль играют высокогорные снега и ледники и поэтому данной реки является одной из представителей рек, питающихся ледниками» [169]. Ибо, в ее питании вклад сезонных осадков очень мал (таблица 3.4). Например, водные артерии южных склонов Туркестанского хр. являются правыми притоками реки Зерафшан, которые имеют 10-18 км длины, и относительно друг другу параллельно тянутся и текут с севера на юг. А притоки северных склонов восточной части Зерафшанского хр., аналогично левым притоком реки, намного больше похожи на реки южных склонов Туркестанского хр. Поскольку, северные склоны Зерафшанского хр. находятся в тени, и такое расположение привело к тому, что половодья в левых притоках Зерафшан относительно рек южных склонов Туркестанского хр. осуществляется позднее и это половодье длится 40 дней. Реки северных склонов Гиссарского хр. тоже являются левыми притоками Зерафшан, от которых берут начало рр. Фондаря, Киштут и Могиан, и они пересекут Зерафшанский хр. впадают в вышеуказанную реку. Из каждого км<sup>2</sup> бассейна правых притоков вытекает 6-11 л/с воды, а из каждого 1 км<sup>2</sup> бассейна левых притоков вытекает от 8-9 до 17-24 л/с воды, соответственно. Половодья рек северных склонов Гиссарского хр. продолжаются с мая по сентябре, при этом самое высокое вытекание приходится в июле месяце

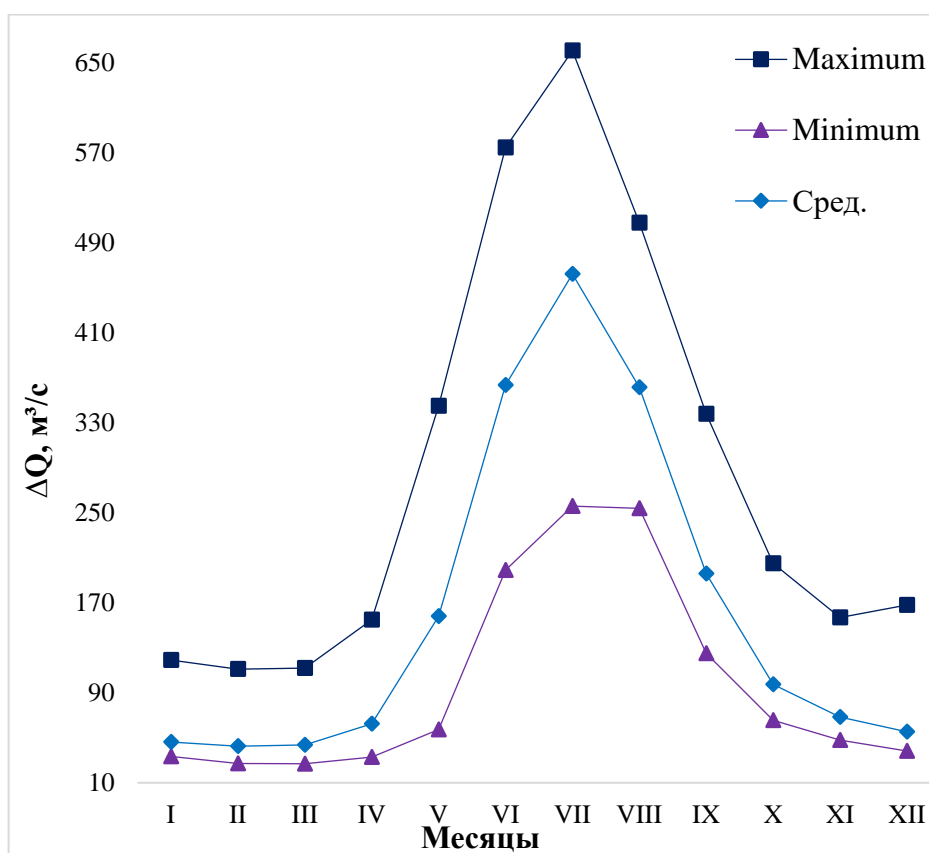
и самое низкое вытекание приходится в феврале месяце [162-163]. Поэтому, именно с учетом вышеупомянутых мнениях, в табл. 3.6 проведены характеристики крупнейших рек БРЗ, основанные на данных Шульца В.Л. [159], Кеммериха А.О. [160], Абророва Х. [162-163] и Курбона Н.Б. [31], которые подкрепляют друг друга.

**Таблица 3.6.** Некоторые характеристики крупнейших рек БРЗ

Река	Источник питания, % от среднегодового стока				Виды питания рек	Среднее показатели в годы наблюдения		
	Подземные воды	Ледниковые	Снеговые	Дождевые		Модуль стока,	Слой годового	Объем годового стока, млн. м <sup>3</sup>
Матча	19	56	25	-	Ледниково-снеговые	42,2	991	1090
Зерафшан	31	32	37	-	Ледниково-снеговые	15,2	479	4870
Фондаря	-	-	-	-	Ледниково-снеговые	19,3	570	1700
Могиян	-	-	-	-	Ледниково-снеговые	7,9	249	253
Киштут	-	-	-	-	Ледниково-снеговые	9,1	287	227
Ягноб	29	13	58	-	Снегово-ледниковые	21,9	690	1002
Искандар	-	-	-	-	Ледниково-снеговые	24,2	762	596
Пасруд	56,1	25	18,9	-	Ледниково-снеговые	13,2	-	147

Согласно данными [31, 148, 159-163], в р. Зерафшан расход воды в половодье образуется на 87% за счет рр. Матча и Фондаря и ~10% за счет рр. Киштут и Могиян. Гидрологические данные показывают, что «в течение года два раза становится полноводной: первое начинается в марте месяце (на западе) и продолжается до конца мая-июня, которую называют «малым половодьем», а второе происходит за счет таяния ледников, и мутность возрастает достаточно, происходит промывание берегов рек и притоков» [169]. Поэтому гидрологический режим р. Матча в низовьях очень отличаться от ее верховья, где половодья начинается со второй декады апреля. Как и другие реки горных районов страны, максимальный расход воды приходится в июле и минимальный расход реки в марте месяце, т.е. половодье в низовье названной реке

относительно к р. Вахш происходит позднее в течение одного месяца. Среднегодовое значение расхода р. Матча в ее устья (территория слияния с р. Фондарьи) составляет  $81,1 \text{ м}^3/\text{с}$  и средний модуль стока равна  $17,5 \text{ л/с}$ . Поэтому, наблюдения гидрологических характеристик р. Зерафшан производится на гидропост Дупули ( $39^{\circ}29'31''\text{N } 67^{\circ}43'54''\text{E}$ ). По многолетним наблюдениям вышеназванным гидропостом на рис. 3.10 представлены среднемаксимальный, среднеминимальный и среднемноголетний гидрограф р. Зерафшан за период 1940-2020 гг.



**Рис. 3.10.** Среднемаксимальный (■), среднеминимальный (▲) и среднемноголетний (◆) гидрограф реки Зерафшан за период 1940-2016 гг.

По данным гидропост Дупули, среднемноголетнее значение расход реки Зерафшан равно  $163,2 \text{ м}^3/\text{с}$ , а максимальное среднее значение –  $287,8 \text{ м}^3/\text{с}$ , среднее значение -  $97,0 \text{ м}^3/\text{с}$ . Хотя данные показывают, что «на реке в июле расход воды составляет 25,4% годового расхода и в марте – 1,84%» [169], но нами полученные результаты утверждают, что за период 1940-2020 гг. расход воды в этом месяце составляет 23,61% годового расхода, а в марте – 2,23%. То

есть, по мнению авторов [159-163], месяц, который в него расход воды достигает наименьшего значения является марта, но анализ данных гидропост Дупули за 1940-2020 гг. показывают, что наименьшего значения расход воды достигает не в марте, а в феврале (2,20% годового расхода). А также, согласно данным, «в течение марта-июня месяцы ее расход воды составляет 30,3% годового расхода, в промежутке между июлем-сентябрем – 56% и в октябре-феврале месяцев – 13,7%» [161]. Однако, нами полученные расчёты показывают, что за 80-летний период (1940-2020 гг.) 82,6% годового расхода воды приходится с апреля по октябрь, а расход с ноября по март составляют 17,4% годового расхода воды.

Как выше упоминалось, БРЗ имеет очень множество притоков, поэтому для мониторинга гидрологических характеристик и качества воды водных артерий названного бассейна в разных местностях долины были построены 8 гидропостов (рис. 3.9.). Три гидропоста (Хушекат, Дупули и Пенджикент) на реке Зерафшан и остальные на её следующих притоках: на реке Ягноб – Такфон, на реке Фондарья – Пете, на реке Матча – Похут, на реке Киштут – Зергиссар и на реке Могиян – Суджина. Поэтому, на рис. 3.11 представлены среднегодовой гидрограф р. Ягноб (39°11'20"N 68°32'18"E), Фондарья (39°11'21"N 68°32'17"E) и Могиян (39°29'44"N 67°42'38"E) за 2000-2008 гг. по наблюдениям гидропостами Такфон, Пете и Суджина.

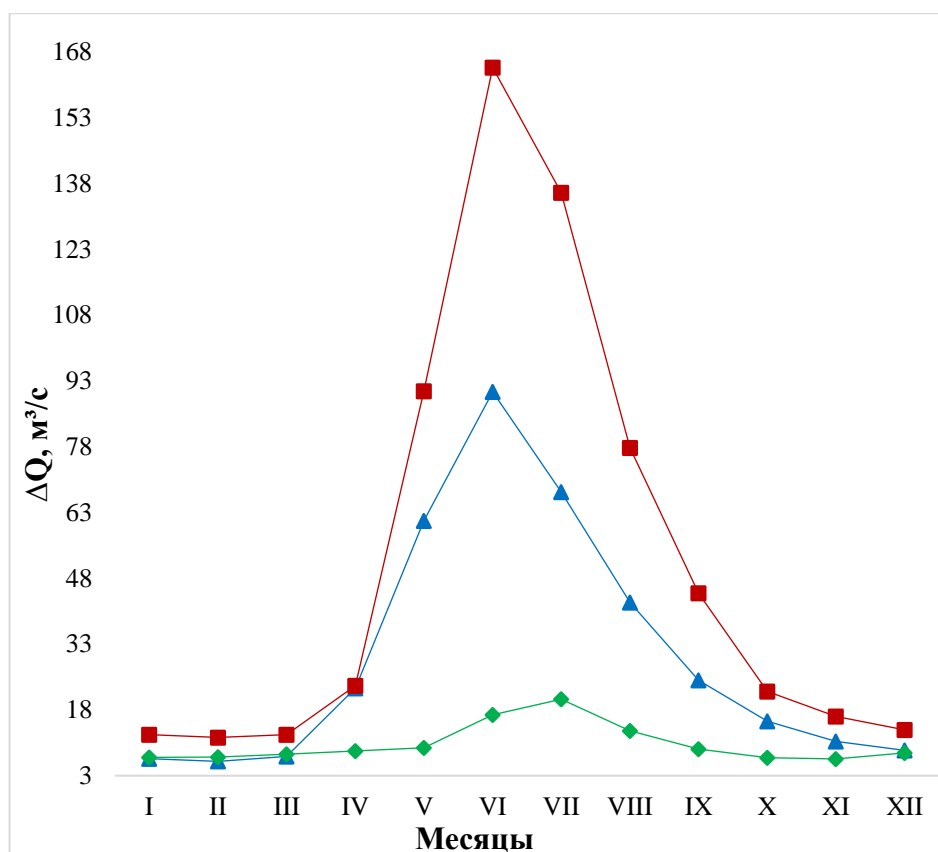


Рис. 3.11. Гидрограф притоков реки Зерафшан – Фондарья (■), Ягноб (▲) и Могиян (◆) за период 2000-2008 гг.

Необходимо отметить, что р. Фондарья является крупнейшим левым притоком р. Зерафшан, её длина составляет 24,5 км и площадь бассейна занимает 3230 км<sup>2</sup>. Среднемноголетний расход воды составляет 61,1 м<sup>3</sup>/с, а в отдельные годы он достигает 85,4 м<sup>3</sup>/с и средняя модуль стока равен 19,3 м<sup>3</sup>/с. Наряду с Искандердарья р. Ягноб является одним из составляющих Фондарьи, которая имеет 114 км длину и 1650 км<sup>2</sup> водосборного бассейна. По данным, «её расход воды составляет 32,6 м<sup>3</sup>/с, в июне-июле месяцы достигает 194,2 м<sup>3</sup>/с и в феврале-марте месяцы снижается до 11,28 м<sup>3</sup>/с» [169]. Таким образом, последним крупнейшим водотоком р. Зерафшан является р. Могиян, а ее протяженностью достигает 68 км и площадь водозабора 1100 км<sup>2</sup>. Среднемноголетний расход воды «равно 8,65 м<sup>3</sup>/с, а максимальный месячный расход приходится в июле, которые составляет 20,4% годового стока» [169]. По данным представленным на рис. 3.11, среднее значение расход воды р. Фондарьи составляет 52,1 м<sup>3</sup>/сек., р. Ягноб – 30,4 м<sup>3</sup>/сек. и р. Могиян - 10,2 м<sup>3</sup>/сек.

Однако среди всех вышеперечисленных гидропостов Зерафшанской долины, гидропост Дупули является единственным гидрологическим постом, который до сих пор непосредственно продолжает свои наблюдения и измерения, а другие гидропосты либо работают ограниченно, либо не работают вообще. Также, все притоки р. Зерафшан вносят определённый вклад в формировании стока названной реки и согласно, установленным правилам измерение расхода воды в произвольных местах является недействительным. Поэтому можно считать, что данные Дупули являются обобщенным значением водного стока всех водных артерий вышеназванной долины.

Полученные результаты дают основание утверждать, что хотя за период 1940-2020 гг. сток р. Зерафшан серьезных изменений не перетерпело, но вместе с тем наблюдается выраженная тенденция к увеличению, с трендом роста  $R^2 = 0,087$ . Для оценки воздействия климатических изменений на водность этой реки (рис. 3.12) представлен график изменений годового стока на гидропосты Дупули 80-летний период в виде зависимости отклонения объема годового стока от среднегодовых значений:

$$\Delta Q = Q_i - Q_{\text{сред.}}, \quad (1)$$

где  $Q_i$  – общий водный сток за  $i$ -й год,  $Q_{\text{сред.}}$  – среднемноголетний водный сток за период 1940-2020 гг.

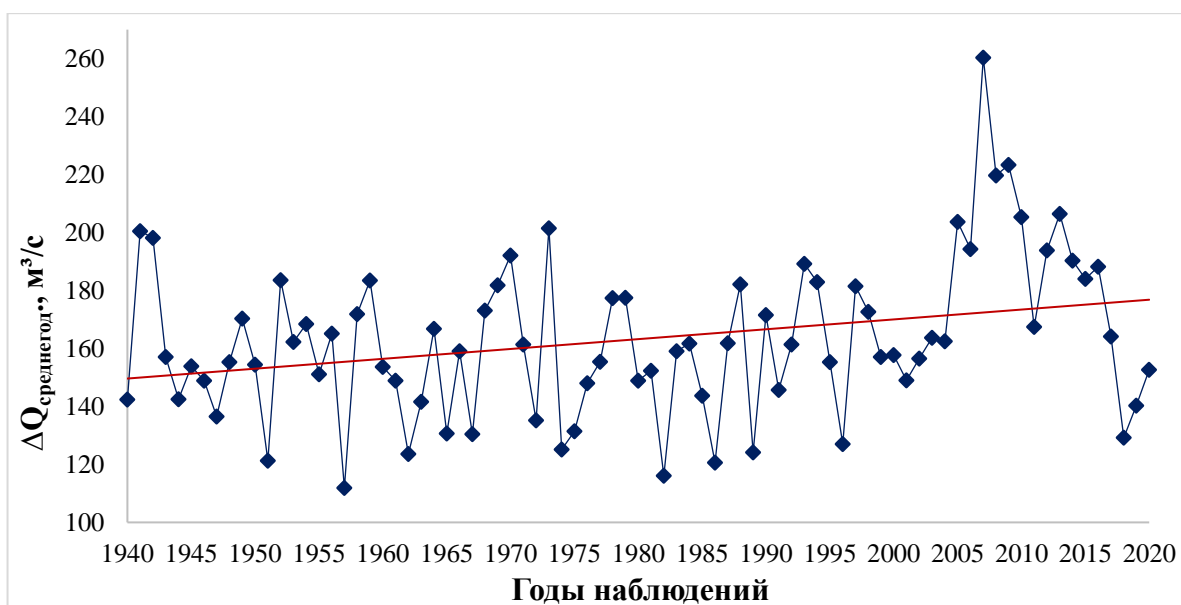
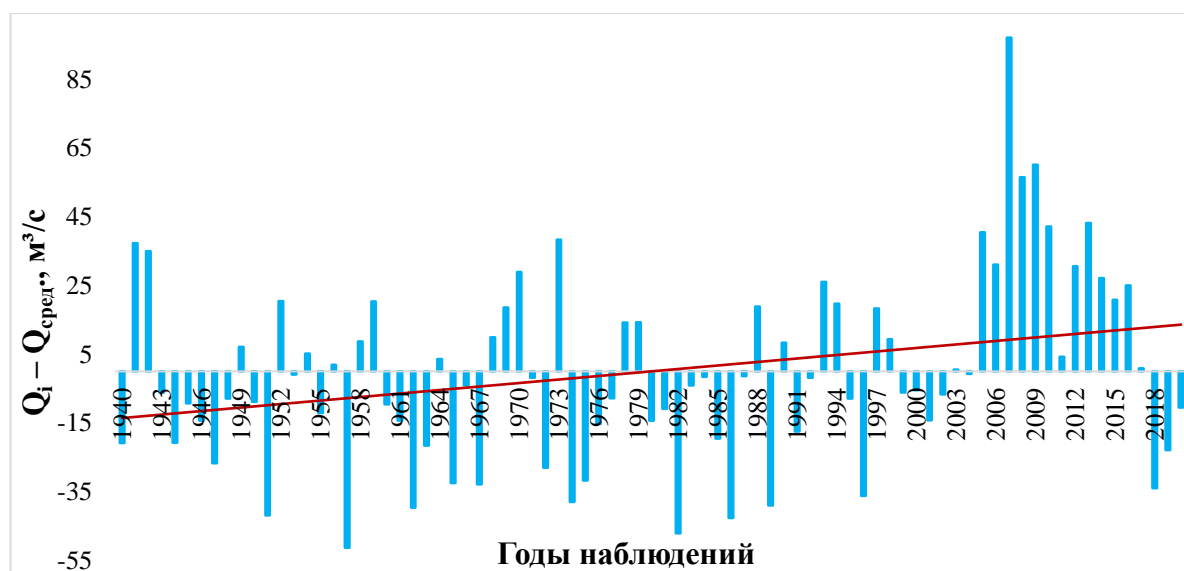


Рис. 3.12. Фактическая водность реки Зерафшан за 1940-2020 гг.

По многолетним данным гидропоста Дупули, при среднемноголетнем значении стока р. Зерафшан в период 1940-2020 гг. равного 163,2 м<sup>3</sup>/сек, то для холодного (XI-III) и теплого периодов года (IV-X) составляет 51,3 м<sup>3</sup>/сек и 243,1 м<sup>3</sup>/сек соответственно. На рис. 3.13 представлены данные отклонения среднегодового значения от среднего многолетнего значения стока реки. На основании формулы 1, линия тренда фактической водности реки на рис. 3.13 описывается уравнением:

$$\Delta Q = 0,3399 \cdot Q_i - 13,914 \quad (2)$$

и коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,087$ .



**Рис. 3.13.** Отклонение среднегодового значения от среднемноголетнего значения сток реки Зерафшан

Результаты (рис. 3.13) показывают, что наименьшее значение среднегодового стока р. Зерафшан отмечался в 1957, 1982, 1986, 1951 и 1962 гг. и эти значения соответственно на 51,3 м<sup>3</sup>/сек.; 47,1; 42,6; 41,9 и 39,6 м<sup>3</sup>/сек. ниже среднемноголетнего значения (163,2 м<sup>3</sup>/сек). В то же время, наибольшее значение среднегодового стока данной реки наблюдалось в 2007, 2009, 2008, 2013 и 2010 гг., а значения, зарегистрированные в эти годы, выше среднемноголетнего значения на 97,1 м<sup>3</sup>/сек.; 60,1; 56,5; 43,2 и 42,1 м<sup>3</sup>/сек. соответственно. Также необходимо отметить, что с 2005 года ни в одном году среднегодовое значение сток не было ниже среднемноголетнего значения стока реки, и это

означает, что расход воды на р. Зерафшан увеличилось в процессе потепления климата.

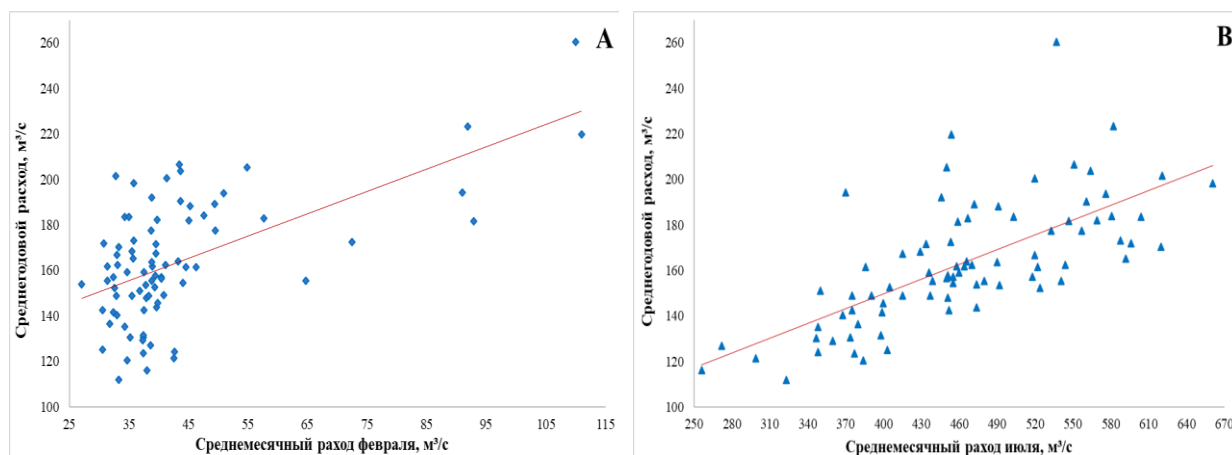
Поскольку гидрологический режим рек тесно связан с изменением метеоусловий [109], то для оценки климатических изменений на водность р. Зерафшан (рис. 3.14) представлены графики в виде зависимости отклонения объема годового стока от среднегодовых значений изменения ее годового стока за два месяца - межень (февраль) и паводки (июль) за 1940-2020 гг. Здесь, следует отметить, что среднемесячное значение многолетнего (1940-2020 гг.) стока р. Зерафшан за февраль месяц равно  $43,0 \text{ м}^3/\text{с}$ , а в июле этот показатель достигает  $462,4 \text{ м}^3/\text{с}$ . Зависимость среднегодового расхода от среднемесячного расхода воды в феврале и июле месяцы описывается следующими уравнениями:

$$Q_{\text{сред. год.}} = 0,9801 \cdot Q_{\text{сред.мес. фев.}} + 121,05 \quad (3)$$

и

$$Q_{\text{сред. год.}} = 0,2164 \cdot Q_{\text{сред.мес. июле}} + 63,132 \quad (4)$$

с коэффициентом детерминациями  $R^2 = 0,353$  и  $R^2 = 0,472$  соответственно.



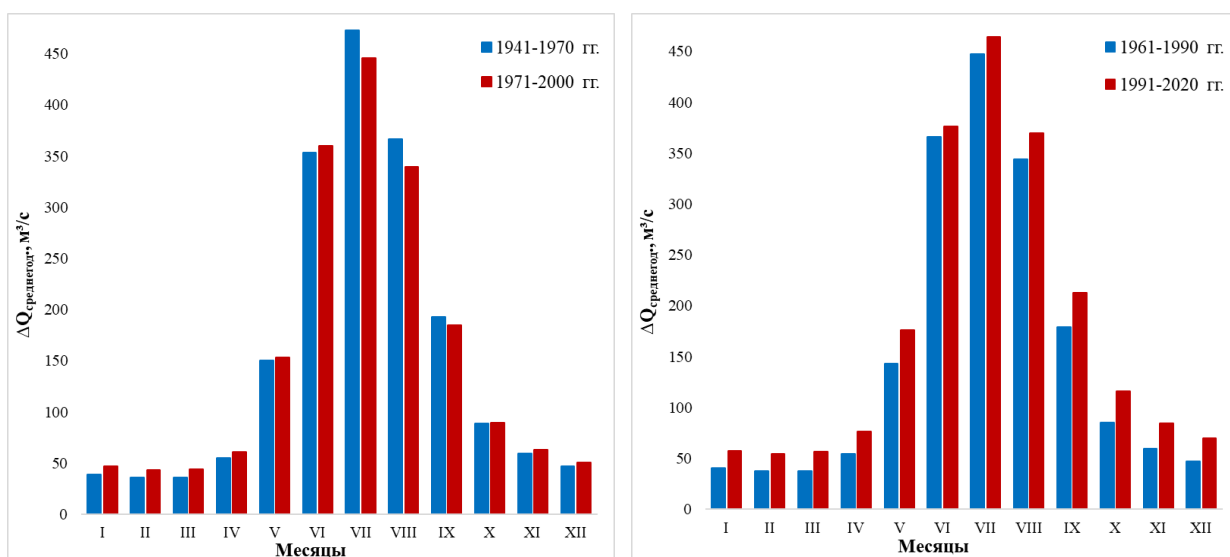
**Рис. 3.14.** Зависимость среднемесячного расхода воды в феврале (А) и июле (В) месяцы от среднегодового расхода воды за 1940-2020 гг.

Точки, указывающие зависимости среднемесячного расхода воды от её среднемноголетнего расхода для февраля более сконцентрированы в левой части изображения (рис. 3.14, А), а для июля – разброс характерен по центральной части картины (таблицы 3.6), что свидетельствует, о том, что в феврале основным источником питания реки являются подземные воды, а в июле

питание осуществляется за счет таяния ледников и талой воды. В целом, по многолетним данным гидропост Дупули, среднемноголетняя величина стока реки за период 1941-1970 гг. составляла 158 м<sup>3</sup>/сек., за 1971-2000 гг. – 157 м<sup>3</sup>/сек., за 1961-1990 гг. – 153,4 м<sup>3</sup>/сек. и 1991-2020 гг. равен 176,2 м<sup>3</sup>/сек.

Из-за влияния изменения климата на гидрологический режим рек оцениваемое сравнением соответствующих среднемесячных значений водного стока в двух периодах [149, 165], то процесс динамики стока р. Зерафшан в процессе изменения климата, среднемесячный многолетний расход разделен за четыре тридцатилетних периода – 1941-1970 гг., 1971-2000 гг., 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.

Оценка влияния изменения климата на фактическую водность р. Зерафшан сравнением среднемесячных расходов водного стока в 1941-1970 гг., 1971-2000 гг., 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг. представлена на рис. 3.15.

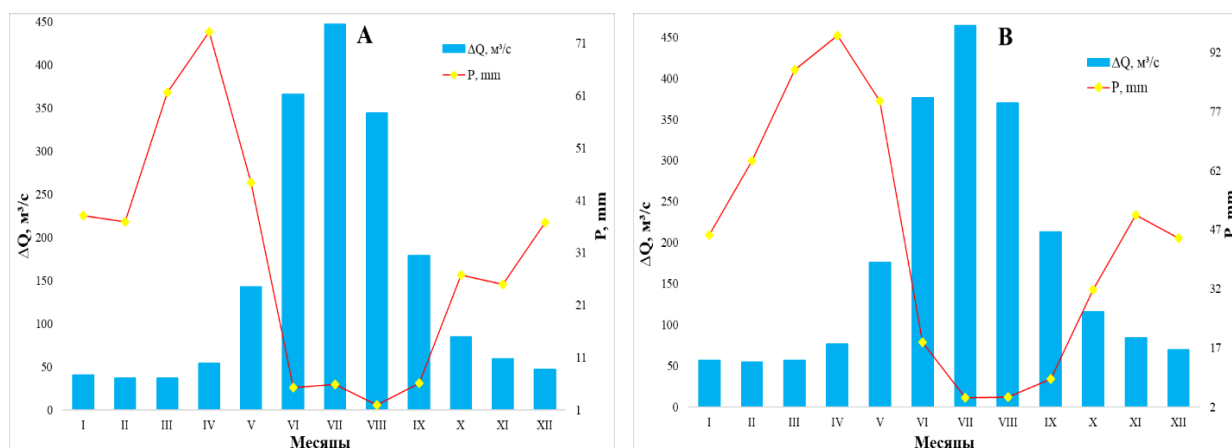


**Рис. 3.15.** Среднемесячные значения расхода воды за периоды 1941-1970 гг., 1971-2000 гг., 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.

Из сравнительного анализа (рис. 3.15) установлено значительное воздействие потепления климата на увеличение расхода воды р. Зерафшан. Среднемесячное значение расход воды (рис. 3.15, слева) установлено, что в летние месяцы за тридцатилетний период (1941-1970 гг.) выше среднего значения чем за 1971-2000 гг. Однако (рис. 3.15, справа), за весь период года среднемесячное

значение речного стока за тридцатилетний период 1991-2020 гг. относительно выше среднего значения за 1961-1990 гг.

Нами полученные результаты об оценке сезонных значений осадков и доли талых воды в формировании месячного и сезонного стока позволили рекомендовать возможность использования внутригодовых и сезонных изменчивости осадков и стока (рис. 3.16).



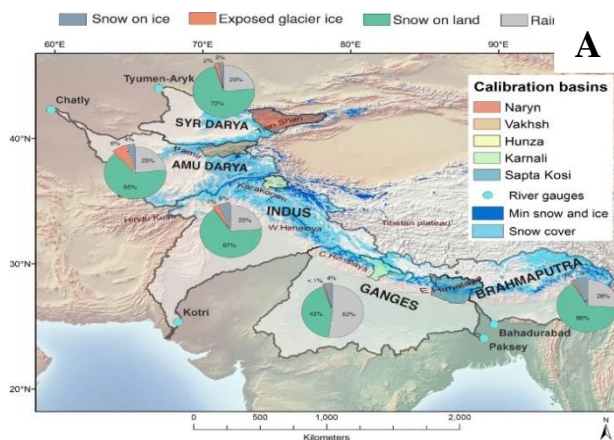
**Рис. 3.16.** Распределение среднемесячных атмосферных осадков и речного стока за 1961-1990 гг. (А) и 1991-2020 гг. (В)

Анализ результатов (табл. 3.4; рис. 3.16) подтверждают, что максимальное количество осадков в БРЗ охватывает весенний период (III-V) в отличие от максимальных значений речного стока, соответствующих летнему сезону (VI-VIII) [157]. По данным метеостанции Пенджикент установлено, что среднее значение температуры за 1961-1990 гг. составляет 12,6°C; в период 1991-2020 гг. – 13,2°C, а среднемесячное значение осадков за эти периоды – 30,2 мм и 44,8 мм соответственно. Согласно гидроанализам Дупули, среднемноголетнее значение расхода воды р. Зерафшан в период 1961-1990 гг. составляет 153,4 м³/сек., а за 1991-2020 гг. – 176,2 м³/сек.

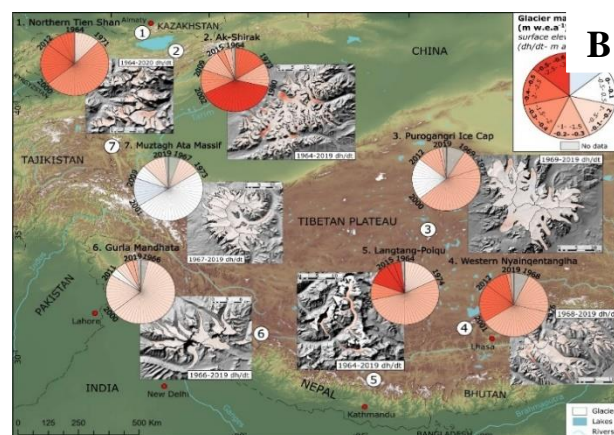
### **3.3. Исследования корреляционной связи изменения метеоусловий и динамики гляциологических ресурсов**

Хотя, по мнению авторов, «отсутствует прямой корреляции между наблюдениями за температурой, осадками и речным стоком, но отсутствие таких взаимосвязей вызвано факторов аккумуляции осадков в ледниках» [157,

164]. В частности, «в год с низкими температурами осадки могут не вызвать увеличения речного стока, поскольку основное их количество будут накапливаться в ледниках. Но в последующий период при наступлении высоких температур эта вода может появиться в реках, даже если количество осадков не слишком велико» [157]. Согласно автору [165], в бассейне р. Амударья, большая часть ее верховья расположены в РТ, 65% речного стока формируется из таяния снегов, а 23% питаются за счет осадками, 8% – таянием открытого ледникового льда и 4% таянием снега на льду. Но сравнительные анализы, проведенных в бассейне 5 рек высокогорья Азиатского континент – Сырдарья, Амударья, Инда, Ганга и Брахмапутры (рис. 3.17, А), доля таяния вечных оледенений в них водопотреблении до сих пор не определяется. Поэтому, по вероятным оценкам [165], снег является основным источником стока названных речных бассейнов, и составляет годового стока Амударья (65%) и Сырдарья (72%) (рис. 3.17, А). Наряду с этим, по данным [166], что во всех высокогорных районах этого континента ледников, играющих важную роль в формировании речных стоков, демонстрирует разную и неоднозначную картину: в горной системе Куньлуня наблюдается относительно положительная тенденция их баланса массы, в Восточных Гималаях – отрицательная тенденция, а в Памиро-Алая и Каракоруме – относительно устойчивая тенденция (рис. 3.17, В), отличающихся друг от друга по метеоусловиям, с 60-х годов прошлого столетия определена высокая темпа потери массы ледников [167].



**Рис. 3.17, А.** Доля источников в обеспечении стока высокогорных рек Азии  
**Источник:** Armstrong R.L., Rittger K., Brodzik M.J. et al., 2019



**Рис. 3.17., В.** Высокое сокращение массы ледников в высокогорном регионе Азии  
**Источник:** Bhattacharya A., Bolch T., Mukherjee K. et al., 2021.

Иначе говоря, зная долговременную реакцию ледников горных районов Азии, а также всех предгорных, горных и высокогорных регионов земного шара на процесс глобального потепления климата, в связи с их очень важной ролью в формировании водных ресурсов и регулировании речных стоков имеют первостепенное значение. Потому что повышение температуры и увеличение количества осадков в теплый период года усилили долгосрочную тенденцию потери массы ледников, и сегодня кажется, что даже в регионах с умеренной температурой и достаточным количеством осадков наблюдается быстрое деградация ледников. В свете этих меняющихся условий окружающей среды возникают очень важные социально-экономические вопросы, связанные с устойчивостью стоков рек и подземных вод, используемых в сельском хозяйстве и промышленности. Поэтому, оценка воздействия изменения климата на криосферу и водно-энергетические ресурсы и влияния криосферы на гидроэнергетические ресурсы требует величины вклада таяния снега и льда в речном стоке и изменчивости метеоусловий в зонах формирования этих ресурсов, каждый из которых имеет в определении разную роль.

Поэтому на примере БРЗ как горно-предгорный регион проанализируем корреляционную зависимость средней температуры воздуха, атмосферных осадков, речного стока и скорости отступления некоторых ледников за разные стандартные тридцатилетние периоды наблюдений. Как отмечалось выше, причиной геоэкологической неоднородности БРЗ является его горно-долинная орография, выраженная зависимость метеовеличин от рельефа и неравномерное пространственное распределение метеопараметров. Поэтому изучение взаимной корреляции метеовеличин является не только задачей статистической метеорологии, но и одним из вопросов современной науки, которые имеют большое научное и практическое значение для определения изменения климата, его влияния на другие природные ресурсы, особенно гидрологические и гляциологические ресурсы, а также разработки сценариев климатических изменений. Именно с этой целью, в табл. 3.7 представлены результаты корреляционных зависимостей среднегодовой температуры между

метеостанциями Зерафшанской долины за тридцатилетние периоды 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.

**Таблица 3.7.** Результаты взаимной корреляции температуры на метеостанциях Зерафшанской долины

	Пенджикент	Сангистон	Мадрушкат	Искандеркуль	Дехавз
<b>1961-1990 гг.</b>					
Пенджикент	1				
Сангистон	0,873	1			
Мадрушкат	0,729	0,857	1		
Искандеркуль	0,770	0,924	0,927	1	
Дехавз	0,736	0,893	0,947	0,962	1
<b>1991-2020 гг.</b>					
Пенджикент	1				
Сангистон	0,668	1			
Мадрушкат	0,547	0,494	1		
Искандеркуль	0,714	0,639	0,698	1	
Дехавз	0,415	0,257	0,409	0,534	1

Поскольку кривые линии рисунках 3.5 показывают различную динамику температуры в субрегионах Зерафшанской долины, корреляционные зависимости температурой на метеостанциях показывает разные значения для всех периодов наблюдений. В период 1961-1990 гг. наибольшее значение корреляции рассчитано между Искандеркуль и Дехавз (0,962), а наименьшее ее значение наблюдается между Пенджикент и Дехавз (0,736). Во втором периоде наблюдений (1991-2020 гг.), по сравнению с первым предыдущим тридцатилетним периодом, взаимная корреляция температуры на метеостанциях названной долины относительно слабая, наибольшее значение этой зависимости наблюдается между Пенджикент и Искандеркуль (0,714), а наименьшее ее величина – между Сангистон и Дехавз (0,257).

В отличие от взаимной корреляции температуры на метеостанциях БРЗ, корреляционная зависимость атмосферных осадков сравнительно слабая, что глубоко связано с орографией местности и влиянием связанных с ней воздушных масс. Поэтому в табл. 3.8 показаны результаты корреляционных зависимостей атмосферных осадков между метеостанциями вышеназванной долины.

**Таблица 3.8.** Результаты взаимной корреляции атмосферных осадков на метеостанциях Зерафшанской долины

	Пенджикент	Сангистон	Мадрушкат	Искандеркуль	Дехавз
<b>1961-1990 гг.</b>					
Пенджикент	1				
Сангистон	0,798	1			
Мадрушкат	0,634	0,800	1		
Искандеркуль	0,637	0,788	0,728	1	
Дехавз	0,616	0,720	0,779	0,753	1
<b>1991-2020 гг.</b>					
Пенджикент	1				
Сангистон	0,374	1			
Мадрушкат	0,438	0,817	1		
Искандеркуль	0,313	0,906	0,822	1	
Дехавз	0,456	0,554	0,728	0,582	1

Нами полученные результаты (табл. 3.8) показывают, что между метеостанциями центральных субрегионов БРЗ (1500-2200 м н.у.м.) имеются тесная взаимосвязь среднемноголетних значений осадки. Также, статистические расчеты метеовеличин показывают, что наибольшая корреляция осадки за обоих тридцатилетних периодов (1961-1990 гг., 1991-2020 гг.) наблюдается за 1991-2020 гг. между Сангистон и Искандеркуль (0,906), а наименьшее ее значение зафиксировано также именно в этом периоде между Пенджикент и Искандеркуль (0,313). Отсюда можно сказать, что количество атмосферных осадков в БРЗ указывает на определенный вклад влажных южных воздушных масс с юго-западной стороны в обеспечении БРЗ осадками. Иначе говоря, поступление влагообеспечивающие потоки в названной долины обеспечивается проникновением воздушных масс с северо-запада и юга.

Поэтому, для более глубокой оценки взаимосвязи между метеоусловиями – среднегодовой температурой воздуха, годовым количеством атмосферных осадков и среднегодовым стоком р. Зерафшан в табл. 3.8 показаны результаты взаимной корреляции метеовеличин по данным метеостанций Зерафшанской долины и гидропараметр по данным гидропост Дупули за два тридцатилетние периоды 1961-1990 гг. 1991-2020 гг.

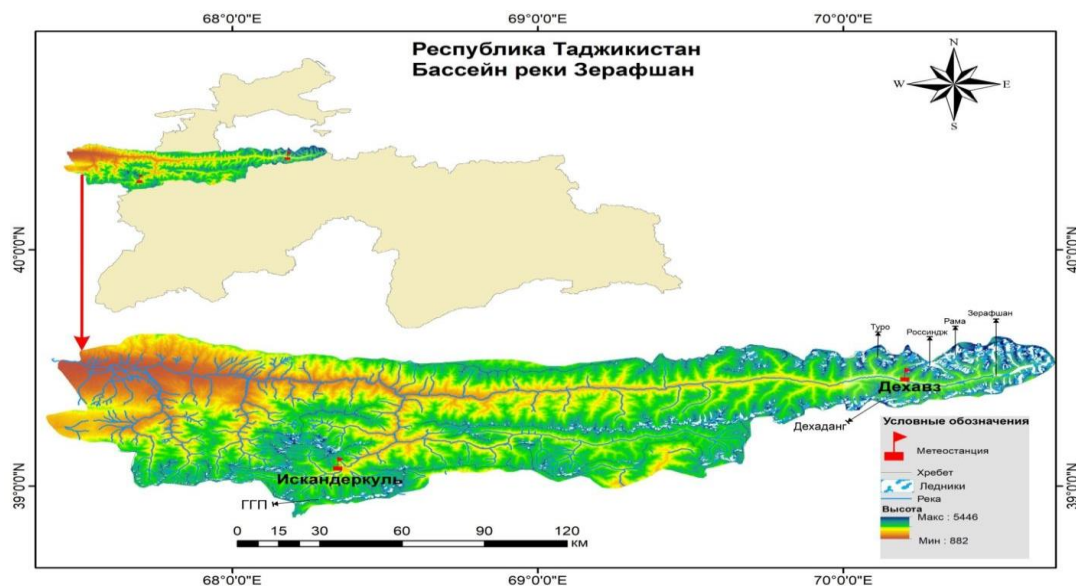
**Таблица 3.9.** Результаты взаимной корреляции годового количества осадков и средней температуры воздуха от среднегодового стока реки

	Пенджикент	Сангистон	Мадрушкат	Искандеркуль	Дехавз
<b>1961-1990 гг.</b>					
T, °C	0,199	0,373	0,289	0,365	0,432
P, mm	0,198	0,316	0,579	0,433	0,346
<b>1991-2020 гг.</b>					
T, °C	0,062	-0,009	0,114	0,224	0,253
P, mm	0,283	-0,071	0,082	-0,055	-0,150

Несмотря на то, что среди метеостанций долины Зерафшан ближайшей к гидропостам Дупули является метеостанция Пенджикент, однако относительно более тесная корреляционная зависимость между метеопараметрами и среднегодовым речным стоком соответствует другим метеостанциям (табл. 3.9), которая тенденция тесно связана с изменчивостью метеоусловий и динамики речного стока, подтвержденная тем, что за 1961-1990 гг. существует тесная корреляция между температурой и речным стоком между метеостанцию Дехавз и гидропосты Дупули (0,432), а также сильная корреляция между атмосферными осадками и речным стоком между Мадрушкат и Дупули (0,579). По сравнению с периодом 1961-1990 гг., в 1991-2020 гг. во всех суббассейнах долины наблюдается относительно слабая корреляция между метеоусловиями и речным стоком.

Анализ и оценка корреляционной зависимости метеоусловий со скоростью отступления некоторых крупных ледников БРЗ, как природно-горные элементы, очень чувствительные к процессу изменению климата, с каждым днем актуализируются. Потому что многие авторы утверждают, что «по сравнению с ледниками Памира, ледники БРЗ, быстро деградируют и естественно, этот процесс связан с рядом природно-географических и антропогенных факторов» [31, 110, 156-157, 162-163, 168-174]. Комические съёмки о структуре ледников названного бассейна подтверждают, что «изменения климата на отступление ледников значительно влияет и в настоящее время все ледники находятся на стадии деградация» [173-174]. Ибо, сокращение ледника является естественным процессом, но скорость таяния льда в последние годы вызывает обеспокоенность. Поэтому для закрытия обозначенной лакуны, целью,

данной параграфы является определение корреляции и логических связей между отступлением ледников БРЗ, с климатическими изменениями на примере Матчинского горного узла и Фанских гор.



**Рис. 3.18.** Карта расположения ледников и метеостанций на карте Таджикистана (**вверху**) и бассейна реки Зерафшан (**внизу**)

Поскольку большинство ледников БРЗ (рис. 3.18) расположены в верховьях р. Зерафшан и Фанских гор, для определения регрессии скорости отступления ледников от температуры и осадки использованы данные метеостанций Дехавз и Искандеркуль, которые находятся ближе всего к ледникам. С учетом вышеизложенного, для определения влияния климатических колебаний на таяние ледника ГГП использовались многолетние метеонаблюдения станции Искандеркуль; а остальных ледников – по метеостанции Дехавз.

Так как организация прямых наблюдений на ледниках горных или высокогорных районов затруднена по ряду причин (труднодоступность, финансовые ограничения и т.д.), поэтому для изучения площади, состояния, эволюция и деградация таких ледников, очень удобно и необходимо проводить дистанционное зондирование из космоса. Для наблюдений отступления границы языка ледников верховья БРЗ использованы космоснимки Landsat. Эта программа охватывает наиболее долгий период наблюдений поверхности планеты, что и обусловило её применение для определения отступления граница

языка ледников. Поскольку использованные снимки Landsat имеют разрешающую способность 60 метров на пиксель, то для явного определения границ ледника мы выбрали примерно декадные интервалы съёмки (таблица 3).

**Таблица 3.10.** Снимки Landsat) различных каналов и дата снимка

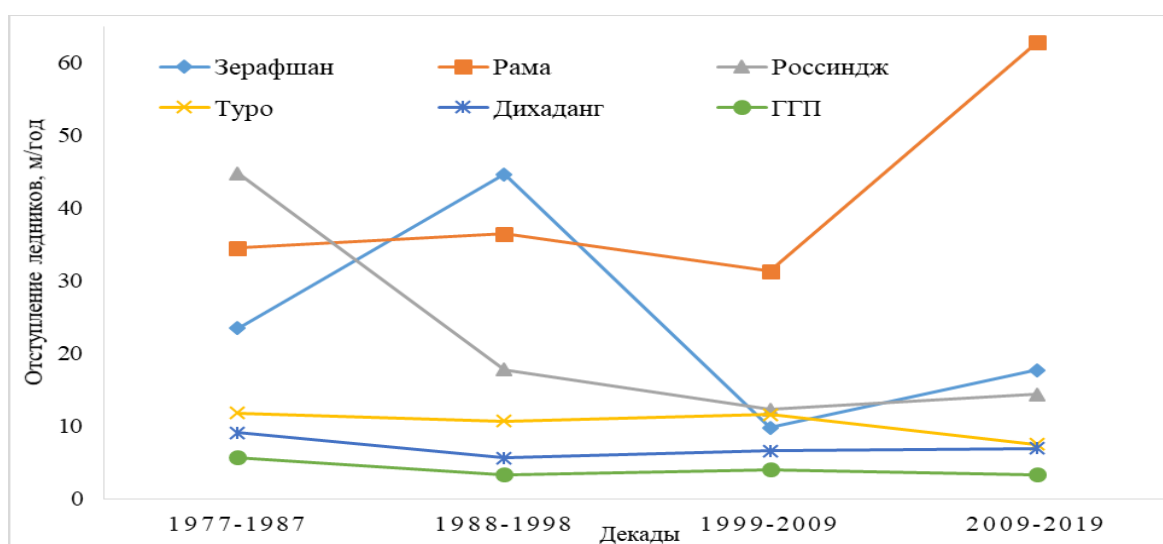
<b>Название программа</b>	<b>Время и дата</b>
Landsat_2_LM02_L1TP_165033_19770930_01_T2_MTL	30.09.1977
Landsat_5_LT05_L1TP_153033_19880917_01_T1_MTL	17.09.1988
Landsat_5_LT05_L1TP_153033_19990828_01_T1_MTL	28.08.1999
Landsat_5_LT05_L1TP_153033_20090908_01_T1_MTL	08.09.2009
Landsat_8_LC08_L1TP_153032_20190920_01_T1_MTL	20.09.2019

Точность положения оцифрованной границы ледника по горизонту пропорциональна  $\frac{1}{2}$  линейного размера пикселя космоснимка и составляет  $\pm 30$  м. Поскольку форма языка ледников сложная, то было посчитано среднее значение на основе 3-6 измерений дистанции отступления. Затем эту дистанцию пересчитывали в скорость отступления ледника за данную декаду.

Для нахождения математической взаимосвязи таяния ледников с климатическими колебаниями, для каждой декады были рассчитаны среднегодовые значения температуры и осадков за период 1977-1988 гг., 1988-1999 гг., 1999-2009 гг. и 2009-2019 гг. Взаимосвязь между параметрами определяли с помощью линейной регрессии и величины аппроксимации в Excel.

Согласно данными авторов [156, 171], зоны оледенения и фирновые поля, занимающие 6,43% территории БРЗ, «оказывают значительное влияние на формирование стока и речного режима в данном бассейне: с одной стороны, эти криосферные ресурсы выступают в качестве накопителей влаги, питающих реки, а с другой стороны слушают естественными регуляторами стока, постепенно расходуя летом накопившиеся за зиму осадки» [31, 169]. Для определения зависимости скорости отступления ледников от изменчивости среднегодовой температуры и годового количества осадков выбрали среднее значение скорости отступления ледников Зерафшан ( $39^{\circ}30'N$   $70^{\circ}30'E$ ), Рама ( $39^{\circ}33'25"N$   $70^{\circ}24'4"E$ ), Россиндж ( $39^{\circ}30'46"N$   $70^{\circ}17'48"E$ ), Туро ( $39^{\circ}32'2"N$   $70^{\circ}8'1"E$ ), Дихаданг ( $39^{\circ}22'6"N$   $70^{\circ}7'38"E$ ) и ГГП ( $38^{\circ}56'51"N$   $68^{\circ}16'43"E$ ).

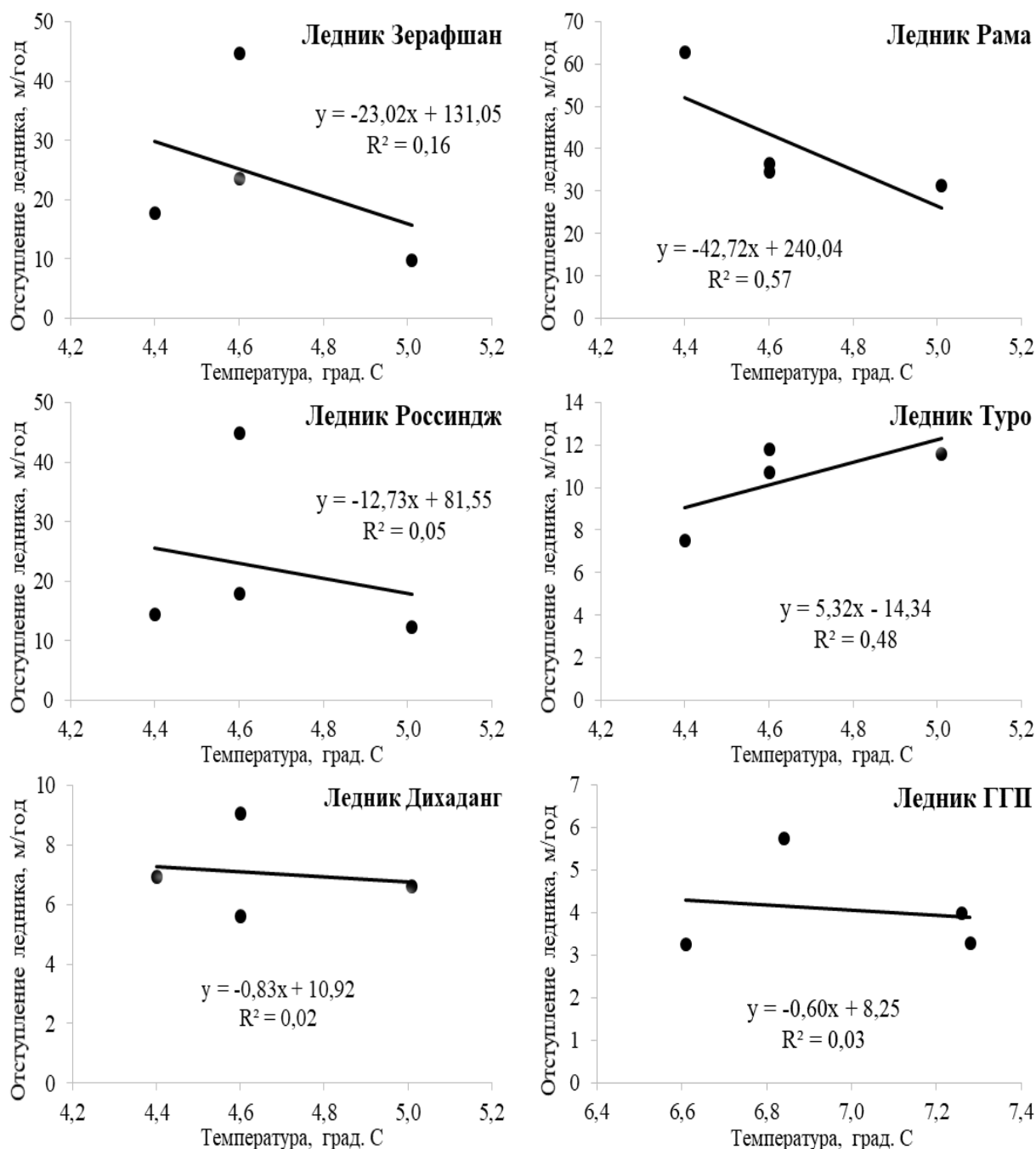
Среднегодовая скорость отступления языков ледников за весь период наблюдения составляет: Зерафшан – 24,4 м/год, Рама – 41,1 м/год, Россиндж – 22,7 м/год, Туро – 10,4 м/год, Дихаданг – 7,1 м/год и ГГП – 4,1 м/год. По данным [156], названный ледники деградируют явно неравномерно от декады к декаде, а среднегодовая скорость сокращения их языков, рассчитанная для каждой декады, представлена на рис. 3.19. Среднегодовая скорость отступления языков ледников за весь период наблюдения составляет: Зерафшан – 24,4 м/год, Рама – 41,1 м/год, Россиндж – 22,7 м/год, Туро – 10,4 м/год, Дихаданг – 7,1 м/год и ГГП – 4,1 м/год.



**Рис. 3.19.** Скорость отступления ледников в БРЗ (м/год) для каждой декады.

Как видно (рис. 3.19) ледник Зерафшан быстрее всех отступал во вторую декаду, но с резким снижением скорости, в четвертой декаде. Таяние ледника Рама с первой по вторую декады ускорилось, тогда как, между второй и третьей декадами немного снизилось и, наоборот, с третьей по четвертую декаду скорость отступления резко повысилась. В интервале с первой по третью декаду отступление ледника Россиндж сильно замедляется, однако, в четвертой декаде заметна тенденция к ускорению. Для ледника Туро по всем декадам, тенденция уменьшения скорость отступления наблюдается. Скорость таяния языков ледников ГГП и Дихаданг с первой по вторую декаду немного снизилась, с небольшими колебаниями сохранения стабильности по настоящее время.

На рис. 3.20 показана линейная регрессионная зависимость отступления ледников: Зерафшан, Рама, Россинджа, Туро, Дихаданг и ГГП от среднегодовой температуры по четырём декадам.

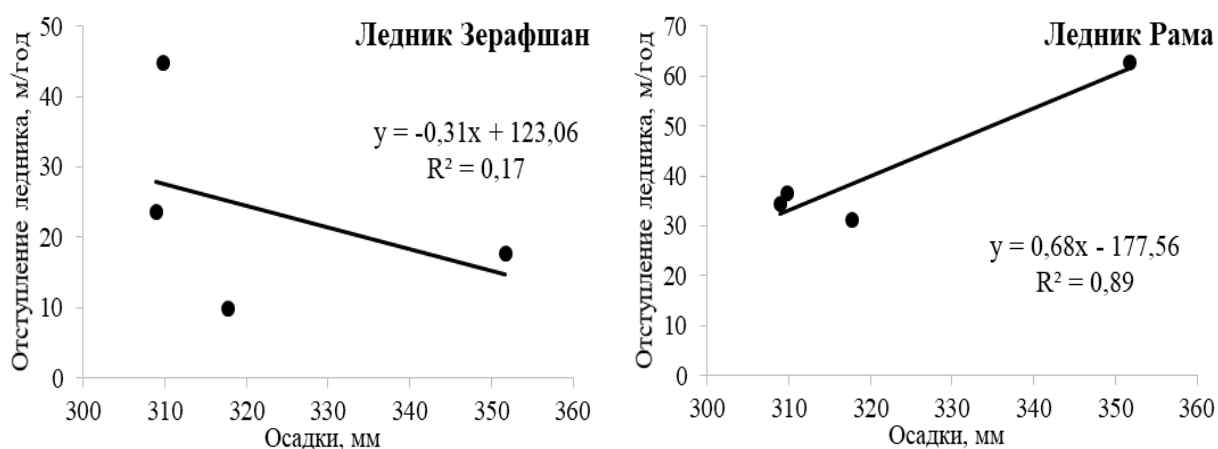


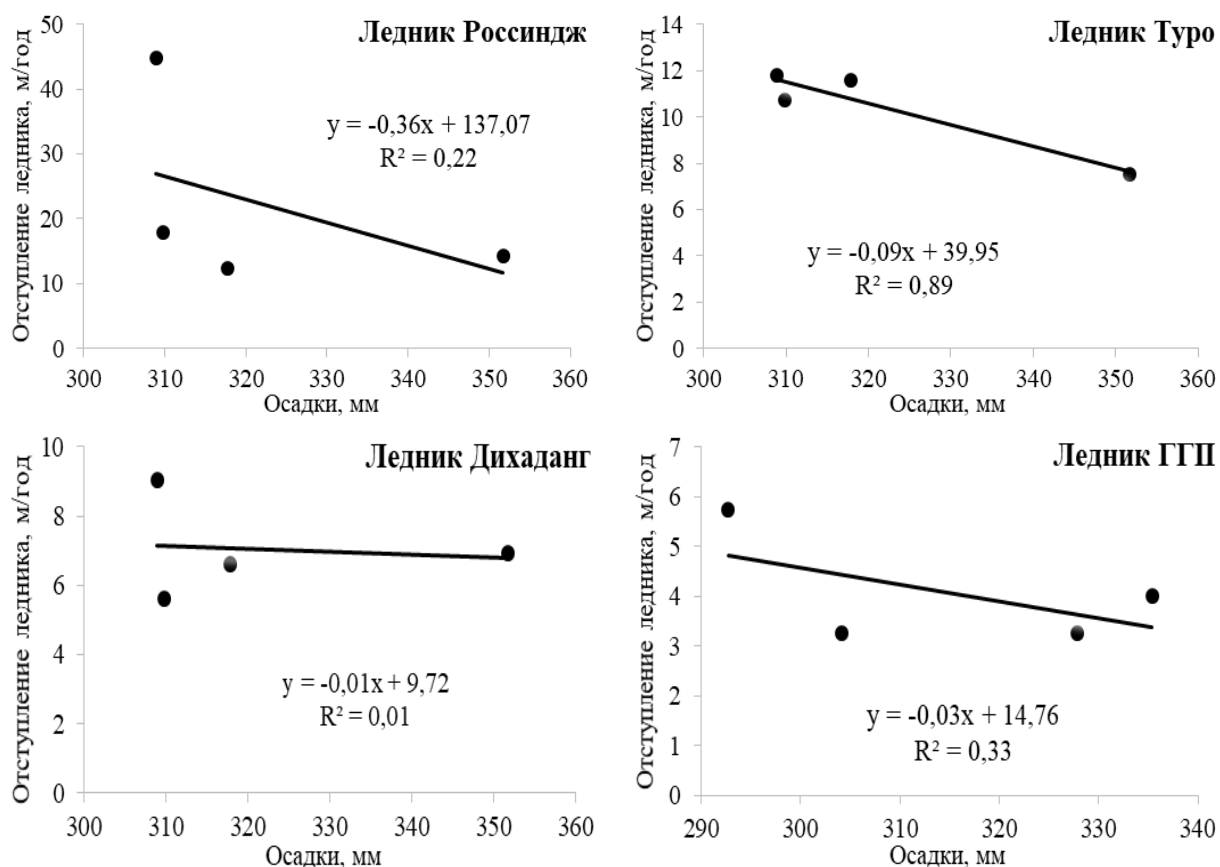
**Рис. 3.20.** Регрессионная зависимость среднегодовых значений температуры воздуха и средней скорости отступления ледников по декадам 1977-1988 гг., 1988-1999 гг., 1999-2009 гг. и 2009-2019 гг.

Регрессионная зависимость (рис. 3.20) может быть признана сильной только для двух ледников: Рама и Туро. Остальные ледники показывают явно слабые связи с колебаниями средних значений температуры по декадам

наблюдения. Только для ледника Туро угловой коэффициент регрессии положителен и показывает рост скорости деградации языка с ростом температуры. Во всех остальных случаях угловые коэффициенты регрессии отрицательны. Это указывает на то, что чем выше температура, тем медленнее отступает язык ледника в заданном диапазоне температурных значений.

Наряду с этим, на рис. 3.21 показана линейная регрессионная зависимость отступления вышеназванных ледников от среднегодовой величины осадков по четырём декадам. Регрессионная зависимость может быть признана сильной только для двух ледников: Рама и Туро. Регрессионная зависимость для ледника ГПП может быть признана как средней силы. Остальные ледники показывают явно слабые связи с колебаниями средних величин осадков по декадам наблюдения. Только для ледника Рама угловой коэффициент регрессии положителен и показывает рост скорости деградации языка с увеличением осадков. Во всех остальных случаях угловые коэффициенты регрессии отрицательны. Это указывает на то, что чем больше осадков, тем медленнее отступает язык ледника в заданном диапазоне величин осадков.





**Рис. 3.21.** Регрессионная зависимость среднегодового количества осадков и средней скорости отступления ледников по декадам 1977-1988 гг., 1988-1999 гг., 1999-2009 гг. и 2009-2019 гг.

Наклон трендов на рис. 3.21 согласуется с логическими рассуждениями о том, что чем больше осадков, тем больше питания получает ледник и тем медленнее отступает его язык. Исключением из общей картины является ледник Рама, показавший сильную положительную связь между скоростью деградации языка и объёмом осадков вследствие резкого ускорения темпов отступления в последнюю декаду. Вероятно, здесь имеет место наложение двух процессов без логической связи, если только мы не имеем дело с жидкой формой осадков. В этом случае наблюдаемый эффект ожидаем. В пользу гипотезы об эрозии языка ледника Рама поверхностным стоком говорит форма этого языка. Его масса смещена в бок долины, вдоль тальвега которой, явно прослеживается русло водотока.

Установлено, что влияние температурного режима, атмосферных осадков и солнечной радиации очень тесно зависят от местоположения ледника, его экспозиции и уклона тающей поверхности. Так, ледник Рама расположен на

южных склонах Туркестанского хр., и солнечное излучение непосредственно достигает его круглый год. Ледник Туро также расположен на южном склоне этого хребта, но внутри ущелья, лежащего параллельно с данным хребтом. Поэтому в осенние, зимние и весенние сезоны солнечные лучи меньше достигают его поверхности. Но, рост температуры очень слабо отражается на динамике ледника Россиндж за последние три декады. Рост температуры оказывает наименьшее влияние на скорость отступления ледника Дихаданг (рис. 3.21), расположенного на северном склоне Зерафшанского хр. Это положение обуславливает малый угол наклона солнца и приводит к тому, что ледник крайне медленно отступает без каких-либо сильных колебаний во времени.

Необходимо отметить, что при полевом исследовании в 2013 и 2014 гг. было выявлено, что области, примыкающие к ледникам, Рама, Дихаданг и ГПП используются в качестве пастбищ, из-за наличия хорошей травы для скота. Конечно, животные наносят грязь на поверхность льда. В результате, поверхность ледника, покрытая травой и почвой, нанесённой при движении животных, быстрее нагревается и передаёт тепло в более глубокие слои. Таким образом, хозяйственная деятельность является дополнительным фактором, ускоряющим таяние ледника. В работе роль температуры и осадков была рассмотрена по отдельности. Это необходимо для лучшего понимания отдельных процессов. Но совершенно ясно, что влияние данных факторов необходимо рассматривать в едином комплексе. Так, например, по данным [175-176], повышение температуры на разных фонах осадков может приводить как к сокращению, так и росту ледникового поля в рассматриваемом регионе. Эта модель (HadCM2) показывает, что «незначительное повышение температуры и значительное увеличение осадков приводят к снижению высоты фирновой границы от 10 до 50 м и росту площади оледенения от 4% в бассейне р. Варзоб до 12% в бассейне р. Фондаря. При этом объем ледникового питания увеличивается на 6% и 19% соответственно» [175-176]. По принципу разумной достаточности эмерджентное влияние температуры и осадков на оледенение лучше всего описывать множественной регрессией, для которой математический аппарат

учёта ошибок ясен и общеизвестен. Однако на данный момент мы не обладаем необходимой длительностью наблюдений. Если четыре декады наблюдений в данной статье позволили выявить общие тренды, то для получения статистически значимых результатов нужно не менее шести точек, т.е. шесть декад. С начала эпохи космического мониторинга нужный объём данных будет получен только к 40-м годам XXI столетия.

Поэтому, на наш взгляд, в сложных условиях глобального потепления климата, сокращения водных ресурсов, деградация ледников и возникновения ОЯ и СГЯ одним из способов решения проблемы и уменьшения их последствий в зоне формирования водных ресурсов, является строительство крупных водохранилищ.

#### **3.4. Особенности влияния водохранилищ горно-предгорной зоны на изменение метеоусловиях прибрежных территорий**

В условиях зоны формирования водных ресурсов, в стране верховьях, как Таджикистана, для комплексного использования водных ресурсов зон их формирования, строительство водохранилищ имеет важное социально-экономическое значение, которые «предназначены решать две актуальные проблемы: накопление большого количества воды и возможность строительства ГЭС, т.е. накопление воды, с её перераспределением и возможность строительства ГЭС для выработки электроэнергии» [30-31, 38, 115, 151-152, 177-186]. С учётом вышесказанных проблем в РТ были построены следующие водохранилища: Байпазинское, Бахриточикское, Даханаинское, Головной, Дамобское, Муминабадское, Нурекское, Сангтуда-1, Сангтуда-2, Сельбурское, а также продолжается строительство других водохранилищ. В то же время, строительство водохранилищ – ещё один способ предотвратить СГЯ, связанные с водой, в таких потенциально уязвимой стране, как РТ. Обустройства водохранилищ в горных и предгорных условиях стоит недорого и совместно со строительством ГЭС, что позволяет вырабатывать электроэнергию в периоды дефицита, являясь единственным способом предотвратить энергетический кризис и

засушливые годы. Строительство водохранилищ в РТ 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 СГЯ и ОЯ. Для этого необходимо проводить регулярные научные исследования водоёмов, рек, водохранилищ и их мониторинг.

Согласно Постановлению Правительства РТ от 26 ноября 2020 года, №625 на территории страны имеется 11 водохранилищ, объем каждого из которых составляет более 10 млн. м<sup>3</sup> воды, и для них разрабатываются правила использования резервуаров (табл. 3.11) [115, 151-152, 177-180].

**Таблица 3.11.** Список водохранилищ Таджикистана, объем каждого из которых составляет более 10 млн. м<sup>3</sup>

№	Водохранилища	Река	Расположение	Год эксплуатации	Объем, млн. км <sup>3</sup>		Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	Мутность (объем)	Цель*
					Полный	Полезный			
1.	Байпазинское	Вахш	Нурек	1986	0,23	0,02	5,0	91,3	И, Э, Р
2.	Бахри точик	Сырдарья	Б.Гафуров, Ашт, Конибодом	1956	4,10	2,67	520	34,9	И, Э, Р, В
3.	Даханаинское	Муджун	Деваштич	1981	0,06	0,02	2,1	66,7	И, В, С
4.	Головной	Вахш	Левакант	1962	0,10	0,02	6,5	80,0	И, Э, Р, В
5.	Дамобское	Дамоб	Истаравшан	1965	0,06	0,03	2,0	50,0	И, С, Р, В
6.	Муминабадское	Обисурх	Муминабад	1958	0,03	0,03	2,9	0,0	И, Р, В
7.	Нурекское	Вахш	Нурек	1979	10,5	4,50	98	57,1	И, Э, Р, В
8.	Сангтуда-1	Вахш	Дангара	2009	0,26	0,01	5,1	96,2	И, Э, В
9.	Сангтуда-2	Вахш	Дангара	2012	0,02	0,01	5,1	95,0	И, Э, Р
10.	Сельбурское	Сурхоб	Восе	1963	0,03	0,03	2,6	0,0	И, Р, В, С
11.	Фархадское	Сырдарья	Спитамен	1948	0,33	0,20	46	39,4	И, Э, Р, В

*Примечание: Э – энергетика; И – ирригация; В – водоснабжение; Р – рекреация; С – селезащита.*

Естественно, что строительство любых искусственных объектов приводит к нарушению естественных условий и функционирования компонентов экосистемы и необходимости их адаптации к новым условиям. Следовательно, любое вмешательство в естественные режимы природоохранной деятельности должно строго учитывать экологические требования. Поэтому «в случае строительства ГЭС с водохранилищем путем перекрытия естественного течения наряду с экологическими требованиями, необходимо учитывать экологические и экономические показатели энергетического объекта» [30-31, 38, 177-186].

Поэтому, для эколого-экономической оценки эффективности ГЭС с водохранилищем, автор в своей монографии так написал: «В настоящее время для определения критериев эффективности водохранилищ с комплексом гидротехнических сооружений, широко используется метод, основанный на оценке ключевых параметров – установленная мощность и выработка электроэнергии на ГЭС, в зависимости от площади территории для их строительства. В качестве показателя эколого-экономической эффективности ГЭС используется соотношение мощности и выработки электроэнергии на единицу площади территории (га)» [30-31]. Критерии эффективности ГЭС с водохранилищем показаны в табл. 3.12.

**Таблица 3.12.** Показатель эколого-экономической эффективности ГЭС с водохранилищем

<b>Эколого-экономический индекс эффективности ГЭС</b>	<b>По отношению мощности ГЭС к площади (МВт/га)</b>	<b>По отношению производства электроэнергии к площади (ТВт/га)</b>
Средне для ГЭС площадью для строительства меньше 100 тыс. га	0,123	0,406

С учетом вышесказанных слов и значений таблица 3.12, результаты оценки эффективности ГЭС с водохранилищем, на примере Нурекской и Рогунской ГЭС-ы, в сравнении с другими гидротехническими сооружениями зарубежных странах представлены в табл. 3.13.

**Таблица 3.13.** Оценка эффективности ГЭС с водохранилищами

Название	P, МВт	W(10 <sup>2</sup> ) млрд. кВт·ч	S, тыс. га	A, тыс. га	M, тыс. чел	Индекс эффективности			
						P/S, (МВт/га)	W/S, (ТВт/га)	P/A, (МВт/га)	W/A, (ТВт·ч/га)
Братск	4500	22,6	548,0	357,3	70,0	0,008	0,041	0,012	0,063
Чарвак	620	2,2	4,1	2,7	9,18	0,13	0,436	0,225	0,750
Токтогул	1200	4,4	31,9	-	29,3	0,038	0,128	-	-
Нурек	2700	11,2	21,5	0,2	1,50	0,126	0,522	13,50	56,000
Рогун	3600	17,1	17,0	6,80	16,0	0,212	0,782	0,529	1,956

**Примечание:** P - мощность ГЭС; W - производство электроэнергии; S - площадь для возведения ГЭС; A - площадь сельскохозяйственных земель; M - количество людей, переселяющихся из территории строительства ГЭС.

Анализ параметров (табл. 3.13) показывают, что эколого-экономической индекс эффективности ГЭС-ы РТ значительно выше, чем у гидротехнических сооружений зарубежных стран, поэтому для сравнения в табл. 3.14 обобщены эти индексы.

**Таблица 3.14.** Эколого-экономические индексы эффективности ГЭС с водохранилищами

Индекс эколого-экономической эффективности ГЭС	P/S (МВт/га)	W/S (ТВт/га)
G	0,123	0,406
Братск	0,008	0,041
Чарвак	0,130	0,436
Токтогул	0,038	0,128
Нурек	0,126	0,522
Рогун	0,212	0,782

**Примечание:** G - среднее значение эффективности для ГЭС площадью 100 тыс. га; P - мощность ГЭС; S - площадь для строительства ГЭС.

Неоспоримо, что «в эколого-экономическом плане одним из наиболее чистых типов сооружений для выработки электроэнергии являются ГЭС. Ибо, 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» [30]. Мониторинг показывает, что «окружающие атмосфера и гидросфера не страдают от деятельности ГЭС. Однако, в результате функционирования ГЭС

оказывается другой вид воздействия на ОС» [30, 177, 183-186]. Согласно автору, «оно небольшое, но все-таки оно есть и влияет на пахотные земли и окружающей среды. 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. ГЭС, строящаяся на многоводной реке, требует затопления значительных площадей, переселения жителей деревень, расположенных вдоль речного русла и выведения из сельскохозяйственного оборота большого количества пашни» [184]. Меняется гидрогеологический режим близлежащей территории. Большие массы воды, локализованные в водохранилище, зачастую являются спусковым крючком для землетрясений. Наконец, большой проблемой является заиливание водохранилищ, и в него уровень воды постоянно меняется.

В связи с этой, одним из целей данной части диссертации является ретроспективный сравнительный анализ статпараметров 30-летних временных рядов температуры, осадков, влажности и влияния водохранилища на изменения метеоусловий. 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 [177, 183-186], что водохранилище ГЭС действительно влияет на изменения метеопараметров, такие как температура, осадки, влажность 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» [177, 187]. Вместе с ними, другая группа ученых считает, что «водоёмы (кроме крупных водохранилищ, типа Вольты, Виктории и Куйбышевские) на

климат не влияют. То есть, по их мнению, наличие большого водохранилища играет роль местного фактора» [30]. 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. Важно 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» [30, 182]. 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 водохранилищах подразделяют на две периода: преимущественно охлаждающего и отепляющего действия. Охлаждающий период более длительный, чем отепляющий. Отепляющий 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. Согласно авторам, «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 км. Происходит следующее: увеличивается влажность воздуха в радиусе примерно 5-10 км от водохранилища для крупных сооружений» [177, 182-185]. И из-за этого изменяется температура (летом – снижается, зимой – увеличивается) и изменяется режим ветров. Чаще всего на берегах водохранилища усиливаются максимальные и

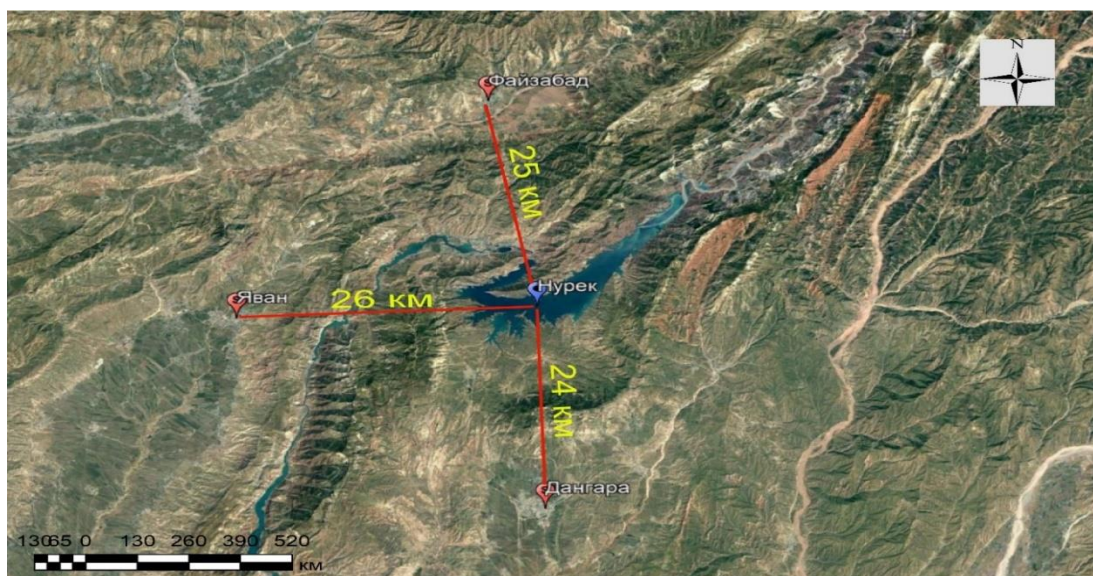
средние скорости ветра, но это влияние сильно лишь при условии открытых котловин, а в других случаях режим местной циркуляции не меняется совсем.

По мнению авторов, «изменения затрагивают практически все элементы климата акватории и прибрежных территорий. Как 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 суши тем больше, чем больше термические контрасты между ними, которые тесно связаны с географической зональностью» [30].

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 теплого периода, отдавая накопленное тепло, оказывают обогревающее воздействие. Под воздействием водохранилищ в прибрежной полосе, как правило, уменьшается континентальность климата: ход температур становится плавным, суточная амплитуда температур уменьшается, влажность 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 [183-186]. 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.

Согласно Муминову А.О., «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», «Нурекское» в Таджикистане, «Токтогульское» в Кыргызстане, «Чарвакское», «Андижанское» и «Тюямуюнское» в Узбекистане, «Зеидское», «Копетдагское» в Туркменистане, «Бухтарминское», «Капчагайское», «Коксарайское», «Шардаринское» в Казахстане. 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» [194].

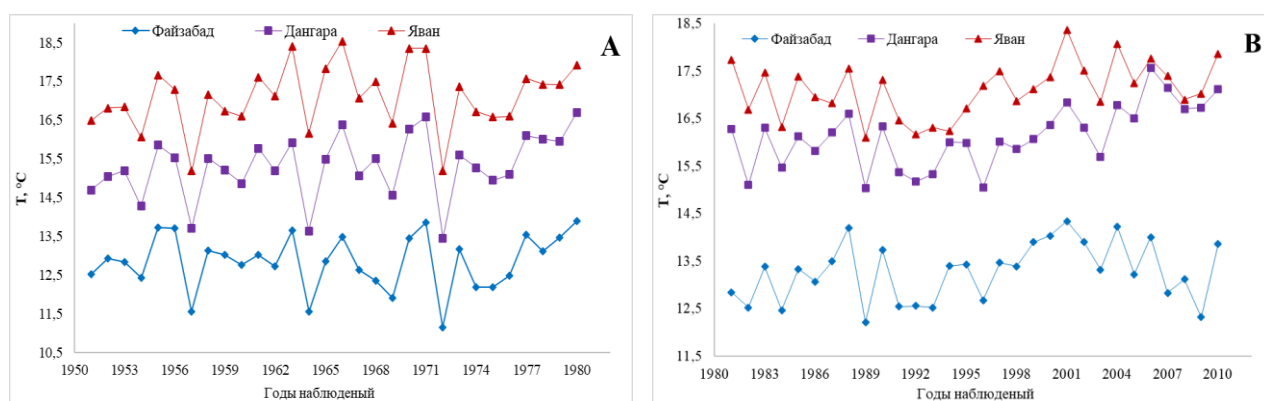


**Рис. 3.22.** Расположение Нурекского водохранилища и метеостанций Файзабад, Дангара и Яван.

По мнению авторов, «непосредственное воздействие 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» [30, 152, 181, 194]. Для установления влияния водохранилищ на возможные изменения агроклиматических условий автор [30, 152, 181] анализировал тренд метеопараметров трёх районов Файзабада ( $38^{\circ}15'N$ ,

69°32' E), Дангары (38°10' N, 69°32' E) и Явана (38°32' N, 69°05' E) РТ с развитой аграрной отраслью прибрежной к Нурекскому водохранилищу (см. рис. 3.22), которые районы прибрежные к данному водохранилищу расположены в радиусе до 26 км относительно водохранилища и на различных высотах относительно уровня моря и широтах. Были использованы метеоданные 1950-2010 гг. метеостанций, расположенных в районах исследований.

Естественно, что «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. По изменению пространственных разностей двух пар станций, одна из которых расположена в сфере воздействия водохранилища, можно судить об эффекте влияния водоёма. Обязательное условие анализа – длительность ряда метеонаблюдений до и после возведения водохранилища» [194]. С учетом того, что влияние водохранилища на климат местности ощущалось после восьмидесятых годов прошлого столетия, автором осуществлен сравнительный анализ метеопараметров двух периодов – до (1951-1980 гг.) и после (1981-2010 гг.) возведения плотины.



**Рис. 3.23.** Динамика изменения температуры по наблюдениям метеостанций Файзабад (◆), Дангары (■) и Яван (▲) до (А) и после (В) возведения Нурекского водохранилища

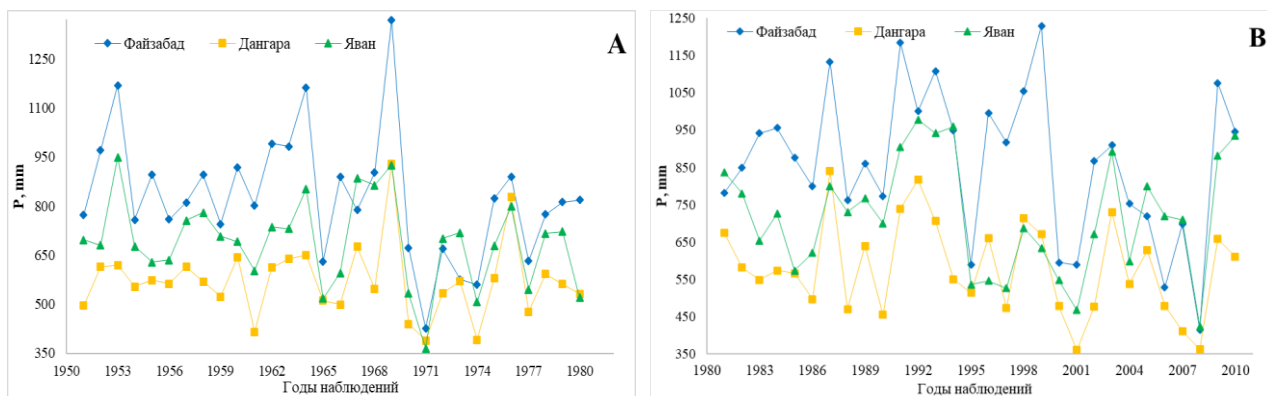
Рассчитано, что «среднемноголетнего значения температуры воздуха за тридцатилетний период (1951-1980 гг.) до заполнения Нурекского водохранилища по наблюдениям метеостанции Файзабада составил – 12,8°С, по Дангары – 15,3°С и по Явану – 17,1°С» [194], а за тридцатилетний период (1981-2010 гг.)

после заполнения водохранилища эти значения составляют  $13,3^{\circ}\text{C}$ ,  $16,1^{\circ}\text{C}$  и  $17,1^{\circ}\text{C}$  соответственно. Расчёты показывают, что самые высокие и самые низкие среднегодовые температуры за период заполнения водохранилища по всем трем метеостанциям были зафиксированы в 1966 и 1972 годах соответственно. Однако в период после наполнения водохранилища эти показатели по наблюдениям вышеуказанным метеостанциям соответствуют в 2001 г. (наибольшее значение) и в 1989 г. (наименьшее значение).

Расчёты результатов наблюдений показывают, что в период до возведения Нурека (1951-1980 гг.) на метеостанциях Дангара и Яван температуры имеет относительно тенденцию к повышению, а величина тренды ее роста равна  $R^2 = 0,118$  и  $R^2 = 0,054$  соответственно. Однако по данным наблюдений метеостанции Файзабад она за этот тридцатилетний период практически не изменилась, а ее трендовое значение равно  $R^2 = 0,005$ .

В отличие от тридцатилетнего периода до заполнения водохранилища, в тридцатилетний период после его заполнения (1981-2010 гг.) температура в районе всех трех прибрежных метеостанций имеет выраженную тенденцию к росту, величина ее тренда на Файзабад составляет  $R^2 = 0,094$ , на Дангары –  $R^2 = 0,336$  и на Яван –  $R^2 = 0,111$ .

Наряду с температурой, автор также проанализировал «пространственно-временные изменения осадков в вышеназванных прибрежных районах за тридцатилетние периоды до (1951-1980 гг.) и после (1981-2010 гг.) заполнения Нурекского водохранилища» [194]. Для подтверждения вышесказанных слов, на рис. 3.24 представлены среднегодовые значения осадков в Файзабадском, Дангаринском и Яванском районах за 1951-1980 гг. (А) и 1981-2010 гг. (В).



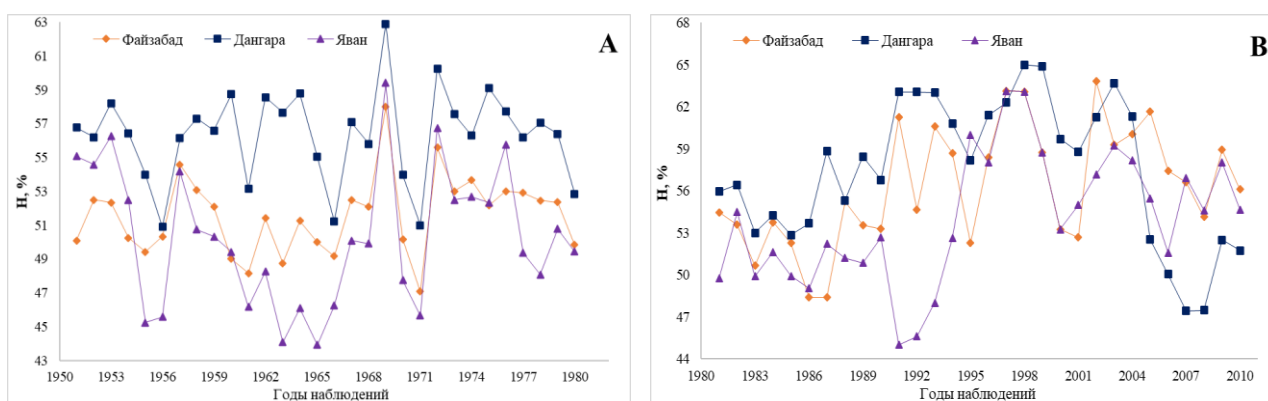
**Рис. 3.24.** Динамика изменения осадки по наблюдениям метеостанций Файзабад (◆), Дангары (■) и Яван (▲) до (А) и после (В) возведения Нурекского водохранилища

Расчеты метеовеличин показывают, что среднегодовое количество атмосферных осадков за тридцатилетний период до заполнения Нурекского водохранилища (рис. 3.24, А) в Файзабаде имеет глубокую тенденцию к снижению, ее тренда равно  $R^2 = 0,093$ . По многолетним наблюдениям метеостанции Явана количество осадки за этот период имеет тенденцию к снижению и ее тенденции к низу составляет  $R^2 = 0,053$ , а по наблюдениям метеостанции Дангары среднегодовое количество атмосферных осадков за 1951-1980 гг. практически не изменилось, ее тренда к снижению достигает  $R^2 = 0,001$ .

Установлено, что процесс уменьшения годового количества атмосферных осадков в Файзабаде имеет небольшое снижение в тридцатилетнем периоде после заполнения Нурекского водохранилища по сравнению с тридцатилетним периодом до его возведения ( $R^2 = 0,070$ ). Хотя в этот период на Яванской метеостанции также наблюдается уменьшение годового количества осадки, и величина ее уменьшения составляет  $R^2 = 0,008$ , но по наблюдениям Дангаринской метеостанции этот процесс имеет наиболее убывающий характер в период 1981-2010 гг., а его тренда достигает  $R^2 = 0,058$ .

Таким образом, хотя изменение количества атмосферных осадков в период до наполнения и в период после наполнения Нурекского водохранилища имеет разную динамику, и в частности, в период после наполнения водохранилища, который процесс имеет наиболее убывающий характер, однако среднемноголетняя значения во втором тридцатилетнем периодом (1981-2010 гг.) увеличилась по сравнению с первым тридцатилетнем периодом (1951-1980 гг.) в Файзабаде на

32 мм, Дангаре на 10 мм, Яване на 28 мм. Конечно, увеличение годового количества осадки имеет сезонный характер, на здесь не рассматривается сезонные изменения суммы годовых атмосферных осадков в исследуемых районах. Поэтому при проведении мониторинга метеопараметров в Дангаринском и Яванском районах был выявлен совершенно разный характер изменения осадков и влажности. С этой целью, на рис. 3.25 показаны динамика влажности воздуха по многолетним наблюдениям метеостанциями Файзабад, Дангара и Яван за два тридцатилетних периода – 1951-1980 гг. (А) и 1981-2010 гг. (В).

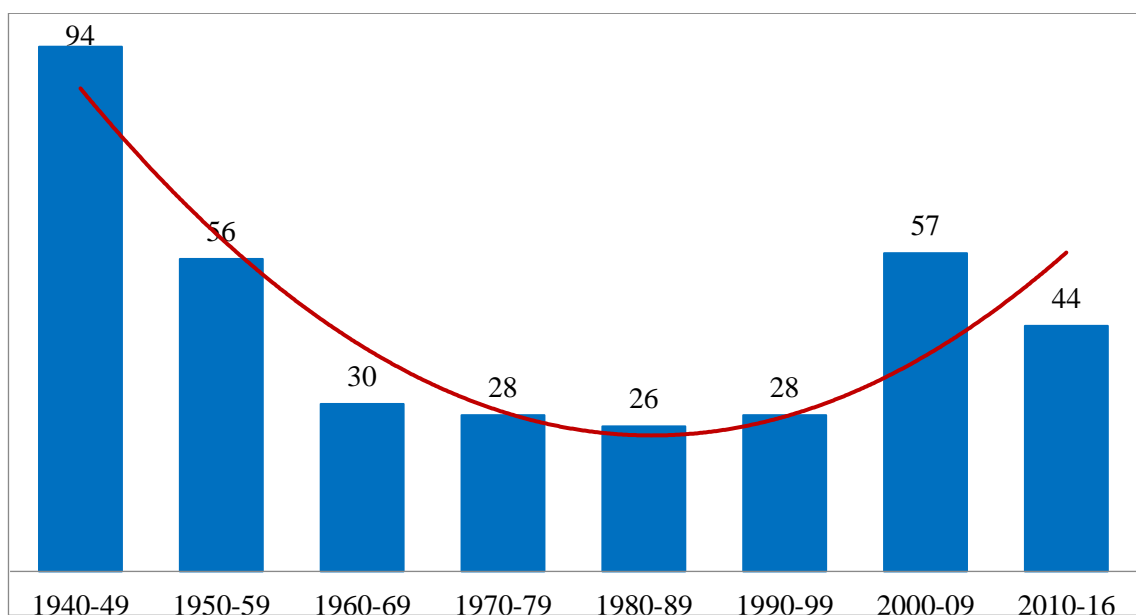


**Рис. 3.25.** Динамика изменения влажности по наблюдениям метеостанций Файзабад (◆), Дангары (■) и Яван (▲) до (А) и после (В) возведения Нурекского водохранилища

Подсчитано, что в период до наполнения Нурекского водохранилища влажность воздуха в Файзабаде имеет небольшую тенденцию к увеличению со значением прироста  $R^2 = 0,047$  (рис. 3.25, А), но естественно, в период после возведения водохранилища влажность резко увеличивалась со значением тренда  $R^2 = 0,247$  (рис. 3.25, В). В Дангаре, как и в Файзабаде, влажность в период 1951-1980 гг. оставалась практически неизменной, с небольшим трендовым значением ( $R^2 = 0,003$ ), но в период после наполнения Нурека она резко уменьшается и ее тренда к низу достигает  $R^2 = 0,021$ . В отличие от двух других прибрежных районов, в Яване в период до возведения водохранилища влажность имела более плавное уменьшение с трендом  $R^2 = 5E-05$  (рис. 3.25, А), а в течении 1981-2010 гг. наблюдается увеличение влажности с тенденции к росту  $R^2 = 0,272$  (рис. 3.25, В).

В целом, динамика метеовеличин – среднегодовой температуры (рис. 3.23), годового количества осадков (рис. 3.24) и годового процента влажности (рис. 3.25) анализировались на основе многолетних метеонаблюдений метеостанциях Файзабад, Дангара и Яван в соответствии с одним из основных стандартов изучения климатических изменений, который выше упоминалось, а именно за двух тридцатилетних периодах до (1951-1980 гг.) и после (1981-2010 гг.) возведения водохранилища. В целом, установлено, что «за второй тридцатилетней периоды рост температуры во всех трёх районах имеет возрастающий характер без проявления каких-либо отклонений после 80-х годов, свидетельствующие о возможном воздействии Нурекского водохранилища» [194]. Однако при сравнении хода изменения температуры до и после возведения водохранилища наблюдаются различные тренды возрастания температуры. Несмотря на это, нами получение результаты показывают неоднородное воздействие водохранилища на метеопараметрах прилегающих к нему районов. Это прежде всего обусловлено тем, что рассматриваемые районы характеризуется горно-долинным рельефом. Поэтому влияние водохранилищ на микроклимат в различных зонах неодинаково.

Согласно автору, «одновременно, водохранилища, ирригационного и энергетического назначений, защищают окружающую среду от ухудшения и играют особо важную роль в формирования климата прилегающих районов, и сохраняют чистоту речной воды» [182]. Особенно, водохранилища среднего течения р. Сырдарьи [182], которые построены в относительно равнинных районах, имеют большую роль в формировании климата региона. С этой целью, на рис. 3.26 показаны количество дней с температурой  $t \geq 40^{\circ}\text{C}$  (по многолетним наблюдениям метеостанции Худжанд) по десятилеткам, для каждого десятилетия с 1940 по 2016 годы.



**Рис. 3.26.** Число случаев с температурой  $t \geq 40^{\circ}\text{C}$  по десятилеткам в Худжанде

Число дней с температурой  $t \geq 40^{\circ}\text{C}$  в первую декаду наблюдений (1940-1949 гг.) (рис. 3.26) составило 94, число дней с такими температурами постепенно уменьшалось по мере строительства «Бахри точик». Установлено, что в последнее десятилетие XX века и первом десятилетии XXI века количество дней с температурой  $t \geq 40^{\circ}\text{C}$ , увеличивается и такая тенденция может быть связана с повышением глобальной температуры, особенно в регионе.

По мнению Муртазаева У.И., «в береговой зоне данного водохранилища на 17 дней увеличивается продолжительность безморозного периода на поверхности почвы. Среднемесячная температура поверхности почвы в мае-сентябре выше на берегу, чем за пределами зоны влияния водоема, в среднем на  $1^{\circ}\text{C}$ » [123, 177]. К концу сентября сумма положительных температур меньше на берегу, чем в 50 км от него, на  $90^{\circ}\text{C}$ . С этой целью, необходимо проводить непосредственный мониторинг за метеовеличин крупных гидротехнических объектов важен с точки зрения развития аграрного, экологического и экономико-промышленного сектора.

### **3.5. Современное геоэкологическое состояние водных объектов горно-предгорной зоны в условиях изменения климата**

Очевидно, что на сегодняшний день проблема загрязнения водных ресурсов (объектов), рационального использования и охраны их одной из актуальных тем

биологических, географических, экологических и геохимических исследований. Поэтому что в современных условиях сложность процесса климатического изменения привела к сокращению водных ресурсов и ухудшению качества питьевой воды, вызывая всевозможных заболеваний. Явный пример, согласно анализу официальной статистики [187], только в 10 африканских странах в результате сочетания трех угроз, связанных с водой – нехватки воды, санитарии, гигиены и связанных с ними заболеваний, а также риски изменения климата, 190 млн детей подвергаются большому риску. Поскольку изменение климата оказывает непосредственное влияние на состояние и перспективы водных ресурсов, а также их состав и качество, поэтому в данной части диссертации хотели бы показывать и рассматривать результаты исследований динамики изменения химического состава воды некоторых озер, рек и сезонные осадки поверхности ледников, как важнейших водных объектов горных и предгорных регионов. Исследование качества воды и оценка загрязнения вод в горных и предгорных условиях позволят судить о состоянии водных объектов и выявлению точечных источников загрязнения.

Несмотря на различно отражены информации о количестве озёр РТ в научных работах и источниках, авторы всех рассчитанных работ одобряют, что большинство озёр страны расположены на высоте с 3000 до 5000 м н.у.м. Кроме того, большинство авторов написали, что «озёр на территории страны неравномерно расположены, и большое количество из них находятся в горных и высокогорных районах – Бадахшан и Зерафшан» [31, 188]. Также, в зависимости от орографии речных бассейнов, количество озер имеет большая разница между речными бассейнами. Подобно этому, согласно данным, распределения количества озёр по внутреннему речному бассейну БРЗ следующее: «в бассейне р. Могиян находятся 16 оз., в Киштуте – 28, в Пасруде – 4 и в бассейне р. Искандердаря – 12 озёр» [31, 188-193]. Анализы таких данных подтверждают, что озёр Зерафшана в основном расположены на ложбине юго-западной части бассейна и северных склонах Гиссарской хр., в бассейнах рр. Могиян, Киштут, Пасруд и окрестности самого Искандеркуля. По словам Абророва Х., «озёра Шингского ущелья имеют

сложный химический состав, в них присутствуют ионы Cl, SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, Ca, Na, K, Mg, а также водород и гидросульфид» [169, 188]. В отличие от показателей химсостава воды озёр бассейнов рек Шинг и Могиян, Искандеркуль входит в зону горных территорий гидрокарбонатной гидрохимической формации с преобладанием гидрокарбонатно-кальциевых вод [31, 150, 195-196].

Однако, следует отметить, что несмотря на различные данные о количестве и объёме, также некоторые химические показатели озёр, в т.ч. озёр БРЗ, на них проведены очень мало лимнологических исследований, поэтому сведений о физико-химическом составе воды в озёрах очень недостаточно. Например, к настоящему моменту отсутствуют достоверные данные по гидрохимии вод не только оз. Искандеркуль, но всех водной артерии данного бассейна, т.е. озера БРЗ до сих пор недостаточно изучено. Здесь особо важно отметить, что при комплексно изучении озёр БРЗ может решить многие проблемы. Если эти озёра полностью изучены, то необходимо развивать различные виды туризма (горный, водный, экологический). Поэтому всестороннее изучение озера БРЗ имеет значительное социально-экономическое значение. Также, «мониторинг качества вод гидрообъектов, выявление и своевременное их устранение представляют огромное значение для предотвращения факторов, способствующих нарушению естественной динамики развития геоэкологических систем. В сегодняшнее время, наряду с природоохранными проблемами актуальной задачей по сохранению озера в натуральном виде является предотвращение загрязнения озера химическими элементами и соединениями» [173].

С этой целью сотрудниками научной школы Норматова И.Ш., в т.ч. автором данной диссертации, были проведены ряд научных исследований по различным аспектам водными ресурсами реки, озера и сезонным осадкам (снежным покровам) на ледниках, особенно БРЗ, а полученные результаты отражены в их научных работах [31, 150, 157, 193, 195-205]. Поэтому, здесь проанализируем результаты исследований динамики изменения химсостава воды озера Искандеркуль и его впадающих рек, сравнение результаты качества воды водных объектов

бассейна Искандеркуля и некоторые среднее притоки р. Зерафшан, а также показатели изотопного анализа некоторых высокогорных озер и рек.

**Таблица 3.15.** Характеристика загрязненности поверхностных вод на территории оз. Искандеркуля за период 2003 г. (данные приведены в мг/л)

Дата	Прозрач.	Нитриты	Нитраты	Кремний	Железо	НСО <sub>3</sub>	Хлориды	Сульфаты	Кальций	Магний	СПАВ
12.06	>23	-	2,8	5,8	0,42	156,4	47,65	3,9	29,7	129,0	0,18
20.07	>23	0,001	2,1	0,7	0,05	108,0	18,0	-	15,0	10,6	0,22
02.09	>23	0,007	3,2	1,48	0,06	72,0	3,5	-	16,8	26,7	0,08
08.11	>23	0,015	3,1	1,3	0,05	17,0	3,2	-	-	25	-
Ср. за год	>23	0,009	2,85	2,73	0,17	87,8	20,5	39,0	22,8	57,55	0,16
<b>ПДК</b>	<b>-</b>	<b>3,0</b>	<b>45</b>	<b>10,0</b>	<b>0,3</b>	<b>-</b>	<b>0,07</b>	<b>500</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,35</b>
Дата	Na + K	Минер-я	Фосфор	Фосфор общий	pH	Общая жесткост.	Хром	Фториды	Цинк	Бихромат. окисляем.	Медь
12.06	-	413,9	0,02	0,21	7,9	1,54	0,030	0,14	0,19	8,2	0,16
20.07	20,75	173,3	0,01	0,03	6,95	1,61	0,022	0,02	0,17	-	0,05
02.09	-	-	0,04	0,02	7,45	1,9	0,010	0,17	-	18,5	0,03
08.11	-	-	-	0,02	8,5	-	0,009	-	-	16,0	0,03
Ср. за год	20,75	293,6	0,02	0,08	7,9	1,6	0,018	0,12	0,18	14,2	0,07
<b>ПДК</b>	<b>-</b>	<b>1000</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>6-9</b>	<b>7,0</b>	<b>0,5</b>	<b>1,5</b>	<b>5,0</b>	<b>4,7</b>	<b>1,0</b>

Для мониторинга и оценка характеристика загрязненности воды химсостава названного озера, в этой разделе проводили нескольких отборов проб воды до озера, т.е. устье р. Саратаг и самой воды озера или истока р. Искандердаря в июне, июле и августе месяцы 2017 года. На рис. 3.27 представлен мести отборах проб воды оз. Искандеркуля. Следует отметить, что устье р.Саратаг – это южной части озера и исток р.Искандердаря – это северная сторона озера Искандеркуль. Значит, р.Саратаг впадает в Искандеркуль, а р. Искандердаря начинается от озера.



Рис. 3.27. Гидрохимическое опробование вод озера Искандеркуль

В ходе летней экспедиции 2017 г. отбор проб воды оз. Искандеркуль осуществлялся в двух точках. С помощью мобильной минилаборатории проводили экспресс-анализы, в т.ч. определяли рН и минерализация. Вода названного озера мало минерализована, и кислородный режим удовлетворительный, процент насыщения изменяется в пределах 51-83%. Содержание биогенных и других компонентов не значительно. Таким образом, пробы были соответствующим образом подготовлены и отправлены в Душанбе для проведения более детальных анализов в лаборатории АГ РТ. Результаты наблюдений и анализ отбора проб воды, когда мы проводили показан в рис. 3.28 и рис. 3.29.

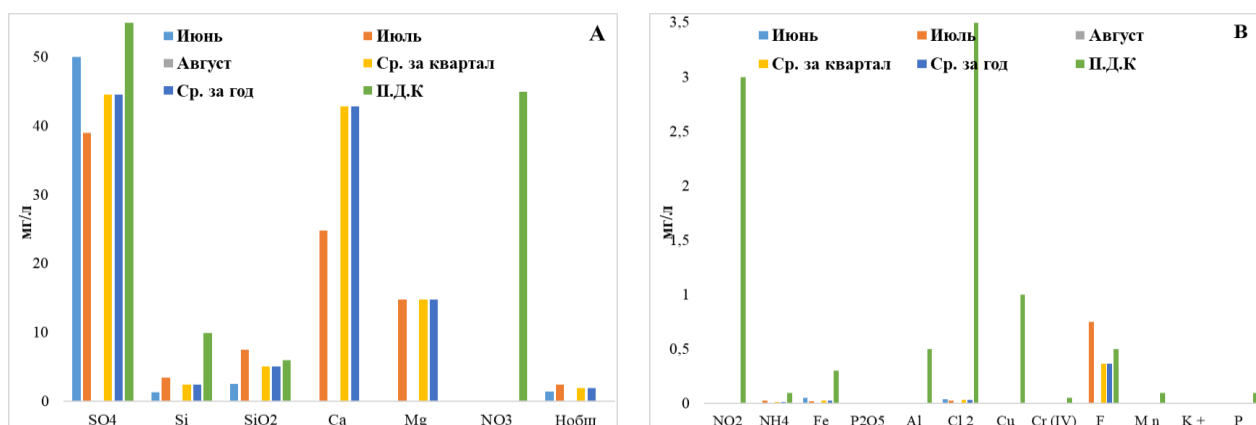
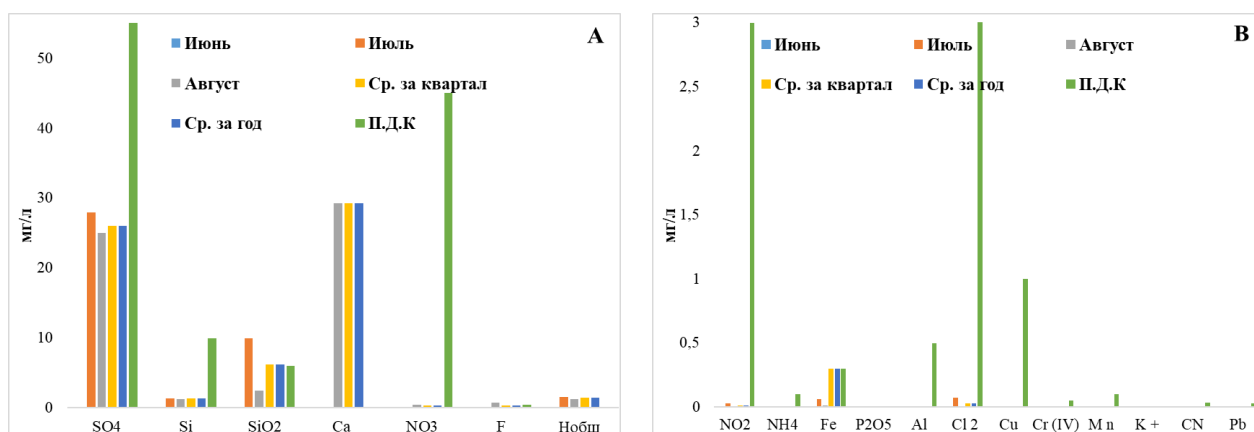


Рис. 3.28. Характеристика загрязненности воды в устье р. Саратаг за период 2017 г. ПДК для питьевой воды. (ГОСТ 2674-82 «Питьевая вода»)



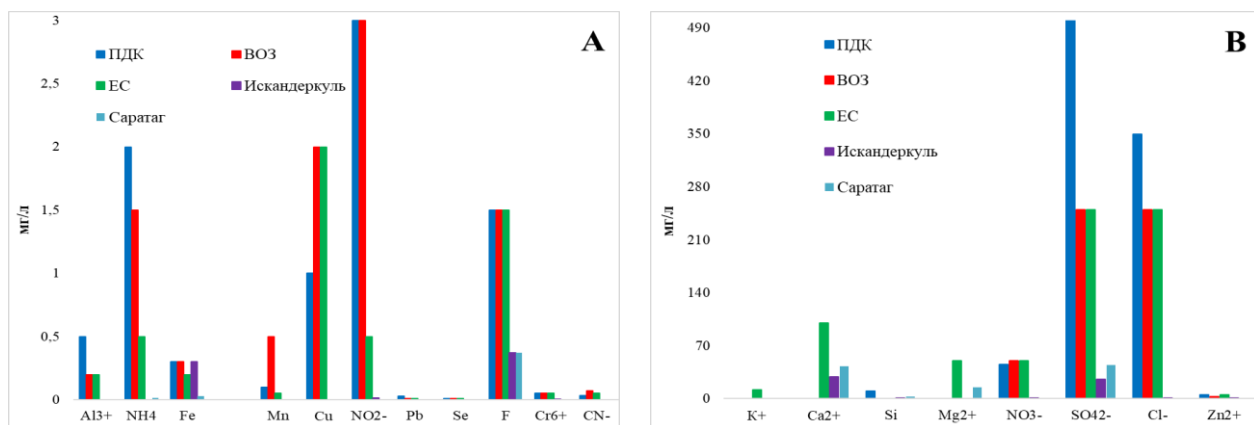
**Рис. 3.29.** Характеристика загрязненности воды озера Искандеркуль за период 2017 г. ПДК для питьевой воды. (ГОСТ 2674-82 «Питьевая вода»)

Приведённые анализы (рис. 3.28-3.29) показывают, что определенные компоненты как на устье р. Саратаг (рис. 3.28), и так в озере Искандеркуле (рис. 3.29), незаметно отличаются друг от друга на оба местах, т.е. очень мало изменилось. Согласно результатами анализа, можно сказать, что вода до озера, т.е. устье р. Саратаг по сравнению с воды озера является более мутным. Причинами этого может быть наличие в ней песка, глины или неорганических соединений.

Полученные результаты показывают, что «качество воды в оз. Искандеркуль и устье р. Саратаг по всем показателям соответствует требованиям государственного стандарта ГОСТ 2874-82 – Питьевая вода» [206]. Согласно полученным данным, «общая жесткость воды данного оз. составляет в среднем 1,6 мг/л в год и соответствует требованиям нормативов качества питьевой воды СанПиН 2.1.4.1074-01 – Питьевая вода централизованных систем водоснабжения» [207]. Хотя в отдельные месяцы может наблюдаться небольшое превышение содержания железа из-за дополнительного увеличения взвеси в воде.

Также при сравнении изменений параметров (табл. 3.15 и рис. 3.28-3.29) во времени можно сказать, что вода оз. Искандеркуль в 2017 г. по сравнению с 2003 г. становилась более чистой почти по всем параметрам. Это может быть связано с увеличением среднегодовых значений температуры в последние годы в этом регионе и, соответственно, уменьшением количества атмосферных осадков, следовательно, уменьшением числа наводнений, сходов лавин и селей в данном регионе.

Поэтому для сравнительного анализа результаты характеристика загрязненности воды в устье р. Саратаг и на оз. Искандеркуль, и их сравнения с требованиями государственного стандарта (ГОСТ 2674-82 «Питьевая вода») [206-207], Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Европейской Союза (ЕС) приведены на рисунке 3.30.



**Рис. 3.30.** Сравнение среднегодовой загрязненности воды в устье р. Саратаг и на озера Искандеркуль с ПДК для питьевой воды (СанПиН 2.1.4.1074-01) и стандарты ВОЗ и ЕС

Из гистограммы (рис. 3.30) видно, что содержание Al, N<sub>2</sub>, Fe, K, Ca, Si, Mn, Cu, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, Pb, Se, S, F, Cl, Cr, Zn и других неорганических веществ в воде устье р. Саратаг и оз. Искандеркуль гораздо ниже установленной для них ПДК для питьевой воды, а также требованиями ВОЗ и ЕС.

В то же время, их будем сравнивать с химическим показателям воды некоторых притоков среднего течения БРЗ такие как Фондарья, Ягноб, Киштут, Сангистон, Шаватк, Гузари Бод, Томин, Оби Токман и Вашан. Потому что, «Мониторинг качества поверхностных вод» (рек, озер, водохранилищ) проводится на гидрохимической сети по правилам, устанавливающим единые требования к организации и проведению наблюдений и обработки получаемых данных [208]. На рис. 3.16 показано расположение сопоставимых водных объектов в бассейнах оз. Искандеркуль и р. Зерафшан.

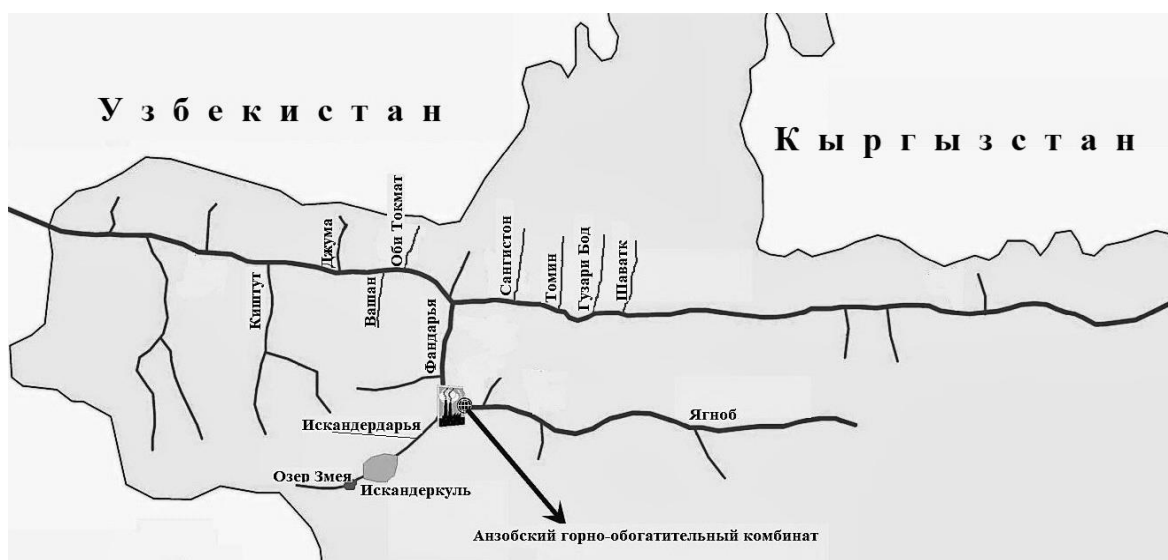


Рис. 3.31. Карта-схема водных объектов бассейна оз. Искандеркуль и р.Зерафшан

Поскольку сельскохозяйственный сектор в БРЗ развит слабо [31], и, следовательно, гидрохимия бассейна обусловлена минералогией горных пород водосборной площади. Верховья данного бассейна, особенно Фанские горы, где находится бассейн оз. Искандеркуль, имеют сложный горно-ущельный и высокогорный рельеф, что приводит к большому варьированию химического состава водных объектов (таблица 3.16).

Таблица 3.16. Параметры воды в бассейне р. Зерафшан

Дата, время	Название	t, °С	рН	σ*	мг/л					
					O <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	Zn
08.05.2017	Озеро Змеи	12,6	8,5	263	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
09.05.2017	Искандердарья	12,1	8,6	189	10,5	17,5	0,0	10,0	0,0	0,0
09.05.2017	Ягноб	13,6	8,5	209	6,0	5,0	0,0	250	0,0	0,0
09.05.2017	Фондарья	14,8	8,4	208	6,0	0,0	0,0	225	0,0	0,0
10.05.2017	Шаватк	9,7	8,5	163	7,0	10,0	0,0	25,0	0,0	0,0
10.05.2017	Гузари Бод	14,2	8,4	212	3,0	10,0	0,0	50,0	0,0	0,0
10.05.2017	Томин	11,7	8,4	201	5,0	10,0	0,0	25,0	0,0	0,0
10.05.2017	Сангистон	16,0	8,3	209	5,0	10,0	0,0	100	0,0	0,0
10.05.2017	Оби Токмат	13,5	8,4	272	6,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11.05.2017	Вашан	14,2	8,3	450	4,0	10,0	0,0	75,0	0,0	0,0
11.05.2017	Киштут	22,0	8,5	320	6,0	10,0	0,0	375	0,0	0,0
12.05.2017	Джума	26,4	8,4	958	7,0	25,0	0,0	25,0	0,0	0,0

Примечание: \*σ – электропроводимость.

Согласно полученным данным (табл. 3.16), наименьшая мутность в озере наблюдается зимой, наибольшая – весной, в период паводков, и летом, в период

дождей и развития мельчайших живых организмов и водорослей, плавающих в воде. Помимо тонкодисперсных взвесей, поставляемых с окружающих склонов, мутность воды может быть вызвана самыми разнообразными причинами – присутствием карбонатов, гидроксидов алюминия, высокомолекулярных органических примесей гумусового происхождения, появлением фито- и зоопланктона, а также окислением соединений железа и марганца кислородом воздуха.

Сравнивая полученные результаты анализа воды в БРЗ (табл. 3.16) с водой устье р. Саратаг (рис. 3.28) и оз. Искандеркуль (рис. 3.29), можно сказать, что содержание нитратов в водах названного бассейна гораздо больше, чем в водах оз. Искандеркуль и р. Саратаг. Так как в БРЗ расположено очень много населенных пунктов, загрязнение этих вод нитратами может быть обусловлено антропогенными причинами. Основными антропогенными источниками поступления нитратов в воду являются сброс хозяйственно-бытовых сточных вод и сток с полей, на которых применяются азотные удобрения.

Поскольку, вынос химических веществ в озеро с водой рек можно рассматривать как интегральный показатель природных условий и хозяйственной деятельности на водосборе. Иначе говоря, количество и состав веществ, поступающих с водосбора, является одним из главных факторов, влияющих на формирование химического состава воды оз. Искандеркуль. Поэтому химический состав речных вод бассейна данного озера определяется: с одной стороны, общностью основных метеорологических условий региона; с другой стороны - различием в геоморфологическом строении, составе слагающих пород, объеме и составе подземной составляющей стока, озерностью и заболоченностью отдельных частей бассейна, интенсивностью биохимических процессов выветривания пород и минерализации органического вещества.

С целью изучения химического состава водных объектов проведены изотопные исследования и осуществлен сравнительный анализ с результатами изотопных исследований отдельных озер, рек и родников горных районов станы, таких как Бадахшан – Сарез (72°37'N, 38°15'E), Шадда (72°35'N, 38°14'E), Маздо (72°57'N, 37°43'E), Джамшед (72°52'N, 37°45'E) и Зерафшан – Искандердарья

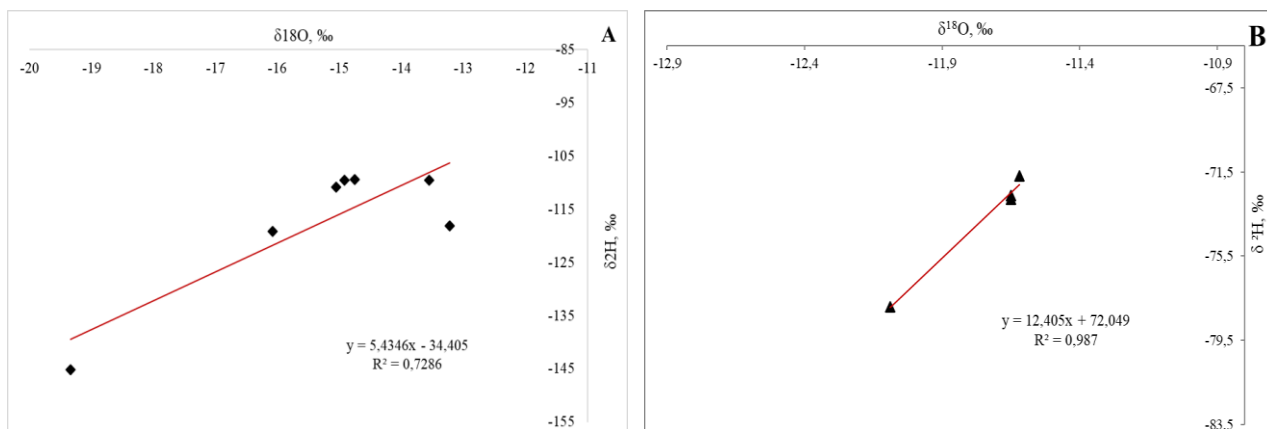
(39°04'N, 68°22'E), Искандеркуль (39°04'N 68°22'E), Панджчашма (39°03'N, 68°21'E) и Саратаг (39°03'N, 68°20'E). Важно отметить, что в 2019 г. была проведена экспедиция, и были отобраны пробы вод из озёр Сарез и Шадда, а также во время проведения исследования в 2017 г. были взяты родниковые воды из районов озёр Маздо и Джамшед. В то же время, в ходе экспедиции в БРЗ в 2025 г. были отобраны пробы воды из водных объектов бассейна оз. Искандеркуль.

В связи с этой, не только результаты изотопного анализа озёр Сарез и Шадда отражены в работах одной группы ученых [193, 209], но и результаты изотопного анализа водных артерий верховья р. Вахш упоминаются в работах другой группы ученых [204-205]. В целом, из водных объектов Бадахшана было отобрано четыре пробы воды из озёр, две пробы грунтовые воды и одна минеральные воды для изотопного анализа состава вод, а из водных объектов Бадахшана – две пробы речной воды, одна проба озерной воды и одна проба родниковой воды. Результаты анализа стабильных изотопов воды вышеназванных озёр приведены в таблице 3.17 и в виде графика на рис. 3.32.

**Таблица 3.17.** Стабильные изотопы  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  водных объектов горных районов

№	Место отбора проб	Вид образца	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰	$\delta^2\text{H}$ , ‰
1.	Сарез, левый берег	озеро	-14,76	-109,4
2.	Сарез, середина	озеро	-14,92	-109,6
3.	Сарез, правый берег	озеро	-15,05	-110,8
4.	Шадау	озеро	-16,08	-119,2
5.	Маздо	родник	-13,55	-109,6
6.	Джамшед, левый берег	грунтовый	-19,34	-145,2
7.	Минеральная вода*	минерал.	-13,22	-118,1
8.	Искандердаря	река	-11,65	-72,8
9.	Искандеркуль	озеро	-11,65	-72,6
10.	Панджчашма	родник	-12,09	-77,9
11.	Саратаг	река	-11,62	-71,7

В ход обсуждения рассмотрим и анализируем, результаты приведены в табл. 3.17, которые представлены в виде графиков. На рис. 3.32 приведены результаты изотопов  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  в воды озёра Сарез и Шадда, грунтовые воды (Маздо, Джамшед), минеральные воды (Аличур) (А) и водных объектов бассейна оз. Искандеркуль (В) в виде графика.



**Рис. 3.32.** График результатов изотопного анализа стабильных изотопов  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  воды некоторых озёр, рек и родников Бадахшана (А) и Зерафшана (В)

Анализ результатов исследований (рис. 3.32, А) позволил установить, что исследуемые характеристики воды по изотопному составу отличаются и разделяются на четыре группы: первая группа – Сарез, вторая – Шадда, третья – грунтовые воды из окрестности озёр Маздо и Джамшед, и четвёртая – минеральная вода из левого берега р. Аличур. Из графика (рис. 3.32) видно, что стабильные изотопы  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  в воде реки намного тяжелее, чем в воде озёр. Необходимо отметить, что в водах озера самые тяжелые изотопы  $\delta^{18}\text{O}$  зафиксированы в минеральной воде р. Аличур, а самые легкие – в грунтовых водах оз. Джамшед, самые тяжелые изотопы  $\delta^2\text{H}$  обнаружены в воде Сарез, а самые легкие в грунтовых водах оз. Джамшед. В то же время, результаты изотопного анализа  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  (рис. 32, В) подтверждают, что в исследованных образцах водных объектов бассейна оз. Искандеркуля существуют две группы вод: к первой группе относится большинство вод (Искандердаря, Искандеркуль, Саратаг), содержащих большое количество стабильных изотопов по составу, а ко второй группе относится только образец из Панджчашмы.

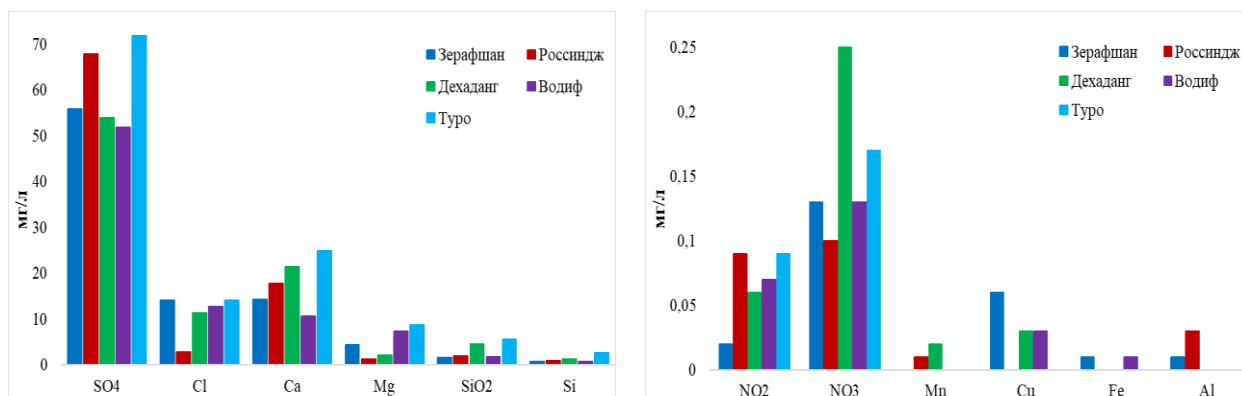
### **3.6. Анализ и оценка антропогенного влияния промышленных объектов на уровень загрязнения водных ресурсов**

Как подробно описано в § 1.2, хотя ~55% пыльные бури и пыльные мглы в планетном масштабе выбрасывается из Сахара, сравнительно очень высокие среднегодовые концентрации наблюдается на Аравийском полуострове, низменностях Ирана, а также странах ЦА и северо-западе Китая. Метеорологические

закономерности подтверждают, что возникновение пыльных бурь и пыльных мглах, и их продолжительности в течении несколько дней связаны с синоптическими процессами, а эти пыли и мглы атмосферные течений распространяется на разные регионы. Потому что влиятельные центры атмосферных воздействий, т.е. геопотенциалы высокого давления, такие как ENSO и NAO, а также циклоны и антициклоны, оказывают глубокое влияние на распространение и перенос пыльные бури и пыльные мигли в тот или иной уголок планеты. В частности, «глобальные наблюдения показывают, что за 2015-2016 гг. содержание CO<sub>2</sub> увеличилось на 3,0 ppm/год, процесс которого частично связан с формированием условий Эль-Ниньо в конце 2015 г. Также мониторинги подтверждают, что в составе атмосферы по сравнению с доиндустриальным периодом в 2017 г. увеличилась концентрация парниковых газов, в т.ч. CO<sub>2</sub> на 405,5 ppm, достигнув рекордного значения» [61]. Одновременно, анализы показывают, что «на территории ЦА в результате сближения двух баровых структур, т.е. западного Каспийского антициклона и восточного Аральского циклона, в данном регионе создаются огромные градиенты давления, переносящие на большие расстояния пыли и соли, поднимающийся с бесплодной поверхности моря» [15, 29]. Например, пыльные бури (2007 г.), в результате меридиональной интеграции с преобладанием меридиональных составляющих в атмосферных течениях, что связано с появлением высоких и медленно движущихся циклонов и подобных им антициклонов, сменяющихся с запада на восток, и возникших в ходе завершившихся синоптических процессов западного типа, сопровождающихся теплыми адъективными течениями в Северо-Каспийском и БАМ.

Поэтому ряд научных исследований ученых, в т.ч. и автора данной работы [197-198, 201-203], сосредоточен на особом внимании и научной ценности аккумуляционных исследований особенностей ледников в связи с атмосферными аэрозолями, мелкими химическими дисперсными элементами и соединениями. В данном разделе с целью определения химического состава ледникового питания водных артерий в зоне формирования водных ресурсов БРЗ, были отобраны пробы сезонного снежного покрова на поверхности ледников Зерафшан,

Россиндж, Дихаданг, Водиф и Туро и проведены физико-химические анализы проб. Для того, чтобы иметь информацию о химическом составе формирующегося из ледников водного стока в их зона формирования, проводились комплекс физико-химических анализов сезонных снегов на вышеназванных ледников (рис. 3.33).



**Рис. 3.33.** Содержание химических элементов в сезонных снегах на ледниках БРЗ

Данные, приведенных на гистограммы 3.33 являются результатом образцов снежного покрова и отборов проб воды из ледников верховья БРЗ, которые обработаны в лаборатории мониторинга загрязнения окружающей среды и водных поверхностей АГ РТ. Уставлено, что на исследованных нами ледниках преобладает присутствие анионов ( $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ) и катионов ( $\text{Ca}_2^+$ ,  $\text{Mg}_2^+$ ).

Полученные результаты можно объяснить «в рамках представлений о стратосферном аэрозольном слое, состоящем из мельчайших капель серной кислоты, которые были сформулированы в начале 60-х годов XX-го столетия» [133, 210]. Согласно автору, «данные представления об аэрозольном слое позволили оценить концентрацию аэрозоля в стратосфере путем анализа ледяного ядра из скважины Дронинг Маунд Лэнд в Антарктиде [211] и разработать методику количественной оценки мощности вулканических извержений в прошлом по изменению электропроводности и содержанию сульфатного иона  $\text{SO}_4^{2-}$  в слоях ледяных ядер [31, 212]. Анализируя содержание тяжелых металлов и их распределение в свежеснеженных твердых осадках на ледниках южного склона Эльбруса, авторы [31, 213] пришли к заключению, что тяжелые металлы приносятся в составе микрочастиц воздушными потоками дальнего переноса» [133].

Как выше отметили, по поводу большой скорости таяния ледников БРЗ, ещё раз подчеркнуть, что при полевом исследовании в ледниках данного бассейна (на 2013 и 2014 гг.) мы наблюдали, что области вблизи ледников Рама, Дихаданг и ГГП используются в качестве пастбищ. Там имеются хорошие травы для скота, и конечно животные наносят грязь на поверхности их языка. И поверхность, покрытая травой и почвой, которые везут к поверхностям ледников животные, ускоряют таяния. Поскольку, почва, которая перемещается к леднику при движении животных, лежит над поверхностями, прогревается инсоляцией и передаёт тепло в глубь. Известно, что процесс прогрева от почвы, которая покрывает поверхность ускоряет скорость таяния ледников.

Поэтому именно с этой целью в резолюции, принятой ООН о 2025 г. как «Международном годом сохранения ледников» [80], отмечает важность ледников как компонента гидрологического цикла и влияние их быстрого таяния на климат, окружающую среду, здоровье человека и устойчивое развитие, а также оценивает влияние глобального потепления климата, вызывающего широкое сокращение криосферы. Потому что, в результате негативного воздействия потепления климата снизилась устойчивость в высокогорных районах, изменились объёмы и сезонность стока воды, и водные ресурсы в бассейнах снежных и ледниковых рек, в т.ч. в бассейне рек республики, и именно этот фактор влияет на снижение сельскохозяйственного производства, увеличение водного дефицита, повышение уровня воды морей и океанов.

Снижение качества воды и увеличение потребности ведет к конкуренции за воду среди потребителей, что в свою очередь ведет к нестабильным гидрологическим последствиям в бассейнах рек, в том числе пересекающих политико-административные границы. Следует также подчеркнуть, что прогрессирующее таяние ледников и соответственно уменьшение площади оледенений наблюдается во всех регионах земного шара. Для оценки физико-химического состава воды, вытекающей из ледников, в табл. 6 показаны результаты химического анализа некоторых репрезентативных ледников, таких как ГГП, Кызылкуль, Дедал, Гармо, Дарвоз и Хирсон.

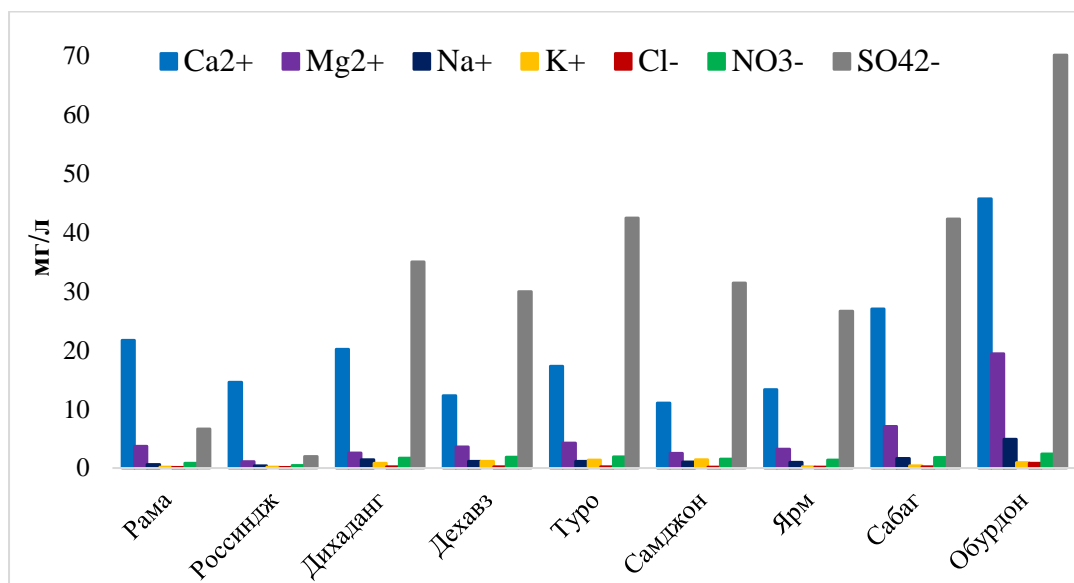
**Таблица 3.18.** Анализ химического состава ледниковых вод некоторых речных бассейнов

Химические показатели веществ	ГГП	Кызылкуль	Дедал	Гармо	Дарвоз	Хирсон	ПДК
рН	6,36	–	–	7,34	7,15	8,15	6,5-8,5
Цветность	–	60	40	40	50	110	–
Мутность	–	20	14	14	17	–	–
Запах	0	0	0	0	0	–	–
SO <sub>4</sub>	–	107	200	33	39	–	100,0
Cr <sup>6+</sup>	–	0,0	0,01	0,0	0,0	–	0,5
Ca <sup>2+</sup>	46,4	44,8	121,8	22,4	35,2	41,8	180
H <sub>общ.</sub>	0	2,64	8,32	0,8	1,8	–	–
Cl	2,77	8,5	14,1	5,6	8,5	2,77	300
Fe	–	0,0	0,01	0,0	0,0	–	0,5
Al	–	–	–	0,0	0,0	–	–
Mg <sup>2+</sup>	–	4,86	27,4	0,0	0,97	0,0	40,0
HCO <sub>3</sub>	0,0	0,0	36,6	15,2	24,4	36,7	–
NO <sub>2</sub>	0,047	–	–	–	–	0,004	0,02
NO <sub>3</sub>	0,057	–	–	–	–	0,026	9,1
Вз.-ое вещ.	0,47	0,49	1,25	0,25	1,26	0,82	0,75
Сухое остаток	60	–	–	1,06	1,26	560	–

Из табл. 6 видно, что в отличие от химических показателей ледника ГГП, химический анализ воды, вытекающий из ледников Кызылкуль, Дидаль, расположенные в бассейне р. Сурхоб, отдельные химические показатели превышают ПДК. Например, анионы (SO<sub>4</sub>) для ледника Кызылкуль составляет 107 мг/л, а для ледника Дедаль – 200 мг/л, превышающий ПДК на 7 мг/л и 100 мг/л соответственно. А также, большинство химических элементов, зафиксированных в воде, вытекающая из ледников бассейна р. Обихингоб (Гармо, Дарвоз), ниже химических показателей воды исследуемой реки. В отличие от показателей для ледника Дедаль, в составе воды ледников бассейна р. Обихингоб тяжелые элементы - Cr, Fe и Al не зафиксированы. В целом, результаты анализа химического состава вод ледников ГГП, Кызылкуля, Дидала, Гармо и Дарвоза показывают, что вода ледников бассейна р. Сурхоб имеет богатый химсостав, большинство показателей значительно превышают воды других ледников, а также ПДК. Установлено

(табл. 3.18), что качества воды, просекающей с ледника Хирсон, рН значение выше, чем у пресекающие воды с ледников ГГП (6,36), Гармо (7,34), Дарвоз (7,15) и Мазор (7,34), и примерно равно максимальному значению ПДК (6,5-8,5). Выявлено, что ледниковая вода бассейна р. Зерафшан соответствует «основному раствору», ледниковой воде бассейна р. Обихингоб – «нейтральный раствор» и ледниковая вода бассейна р. Вандж – «кислотному раствору». Наряду с этим, сухое остаток в составе воды ледника Хирсон (560 мг/л), значительно превышает показателям воды, протекающий с ледников Гармо (1,06), Дарвоза (1,26), Мазарский (1,06) и ГГП (60).

Поэтому, для сравнительного анализа физико-химического состава сезонных снежных покров над поверхности ледников и воды, протекающей с них, на рис. 3.34 представлены результаты физико-химического анализа поверхностных вод ледников, питающих ряд верховных притоков р. Зерафшан, также одноименных ледников и рек, и четверо из них – Рама, Россиндж, Дихаданг и Дехавз находятся очень ближе к крупным ледникам БРЗ.



**Рис. 3.34.** Содержание анионов и катионов в верхних водных артериях

Гистограммы (рис. 3.34) свидетельствуют, что в составе большинства верхних водных артериях БРЗ, концентрация  $SO_4^{2-}$  (70,12 мг/л), а затем двухвалентных ионов  $Ca^{2+}$  (45,72 мг/л) и  $Mg^{2+}$  (19,4 мг/л) выше, чем других химических анионов и катионов, а по сравнению с другими верховными притоками Зерафшана

содержание всех химических элементов и соединений значительно перевешивает в притоке Даштибурдона. Установлено, что самое высокое значение  $\text{Na}^+$  (4,91 мг/л) зафиксировано в данной реке, а самое низкое наблюдается в реке Россиндж (0,41 мг/л). Выявлено, что показатель  $\text{Cl}^-$  в притоке Самджон высокое, чем в Даштибурдоне, а максимальное содержание  $\text{Cl}^-$  наблюдается в этой реке (1,41 мг/л), а минимальная концентрация зафиксирована в Россиндже (0,06 мг/л).

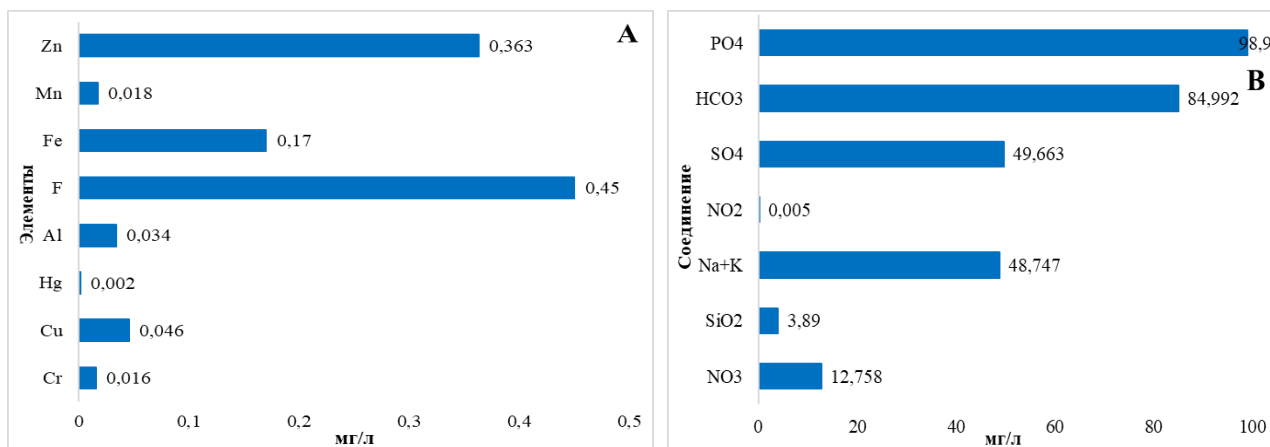
Отсюда хорошо видно, что осадки не только как основной источник питания ледников и главный фактор формирования водных ресурсов, но и оказывают глубокое влияние на процесс деградации ледников и водности рек через химические вещества своего состава. А также, «химсостав гидрообъекта зависит от геологической формации, через которую он протекает, или его петрографического состава, растительности водосбора и атмосферного поступления» [214]. В то же время, тип и количество осадков, и орография бассейна существенно влияют на формирование гидрохимии рек. Согласно данным, «в процессе выветривания происходят реакции между водой и горными породами, которые приводят к изменению химического состава воды, например, в отношении основных ионов» [133, 215]. Поэтому, выщелачивание горных пород природными водами также рассматривается как фактор обогащения речных вод набором химических элементов.

Согласно автору, «поскольку сельское хозяйство является основным потребителем водных ресурсов региона, а более 90% водных ресурсов [103], формирующихся в регионе, используется для орошения, поэтому качество поливной воды является важным элементом в получении экологических и безопасных сортов сельскохозяйственных культур» [157]. Анализы показывают, «что передача радионуклидов в организм человека осуществляется по цепочке «вода-почва-растения-организм человека», что происходит при попадании загрязняющих веществ не только в организм человека, но и всем живым организмам» [157].

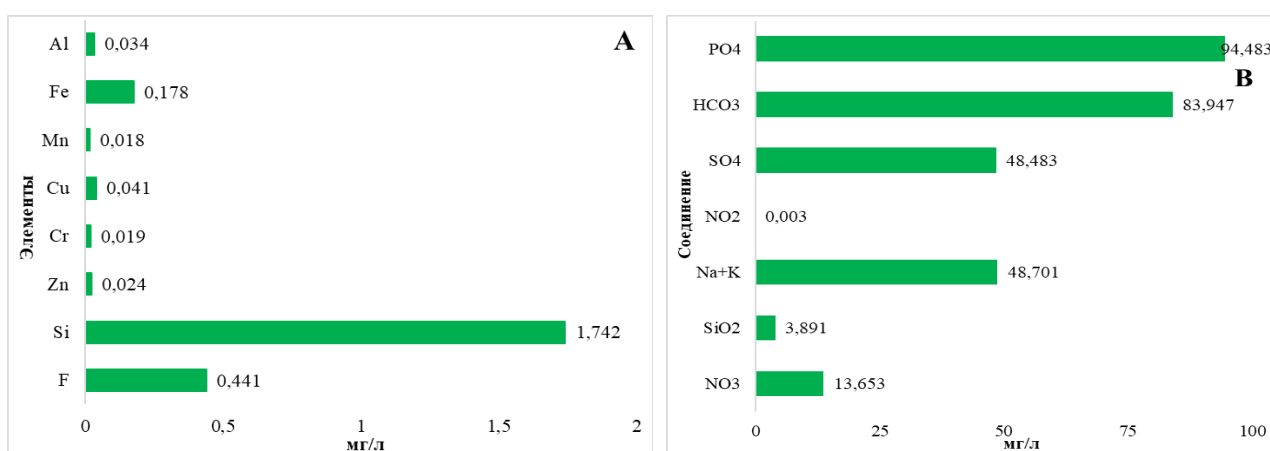
Согласно результатам, на всей территории РТ экологическая ситуация и загрязнения водные ресурсы представляют собой неравенство и, в зависимости от орографических особенностей, уровень развития сельскохозяйственного

сектора, уровень урбанизацию населённых пунктов, водоочистных сооружений, которых расположены на крупных бассейнах рр. Вахш, Кафирнихан, Пяндж, Зерафшан, Варзоб и др. очень разные. Анализ результатов показывают, что «из общего объёма загрязнённых отходов промышленные отходы составляют 2-2,5%, а уровень загрязнения воды в основном находится в районах, где находится легкая, химическая и горнодобывающая промышленность» [31, 103, 216]. Наряду с природными загрязнителями, в результате сбросов от промышленной, аграрной, жилищно-коммунальной секторе и природных явлений становятся загрязнителями водными объектам.

Поэтому, в месте с изучением природных загрязнителей, для оценки влияния антропогенных нагрузок на состав и качество водных ресурсов, в частности р. Зерафшан осуществлен отбор проб воды в пунктах 1 и 2, расположенных, соответственно, выше хвостохранилищ (р. Ягноб) и ниже хвостохранилищ (р. Фондаря) сточных вод АГОК [217], в весенне-летний период, с периодичностью три раза в месяц. На основе результатов химического анализа отбора проб воды из точек 1 (до хранилища) и 2 (после хранилища) установлено, что «водные артерии верхнего и среднего течения БРЗ не подвержены антропогенной нагрузке, т.е. минерализация их воды в основном обусловлена смыванием водой прибрежных минеральных отложений» [187]. Нами установлено, что загрязнение водных артерий ионами химических веществ не превышает ПДК. Проведенные исследования подтверждают, что промышленные предприятия, расположенные на территории исследуемого бассейна, т.е. АГОК не влияет на качества и состава воды р. Зерафшан. Результаты химического анализа отбора проб воды из точек 1 (до хранилища) и 2 (после хранилища) представлены на рисунках 3.35 и 3.36 соответственно.



**Рис. 3.35.** Результаты химических анализов проб воды р. Зерафшан, отобранных до хранилище сточных вод АГОК-а



**Рис. 3.36.** Результаты химических анализов проб воды р. Зерафшан, отобранных после хранилище сточных вод АГОК-а

В отличие от показателей рис. 3.34 и 3.35, результаты работы ученых показывают, что «водные артерии верхнего и среднего течения БРЗ не имеют антропогенную нагрузку, т.е. минерализация их воды в основном обусловлена смыыванием водой прибрежных минеральных отложений нами результаты показывают, что загрязнение водных артерий ионами химических веществ не превышает ПДК» [31, 197-201]. Однако, к сожалению, единичные пробы, отобранные в рамках экспедиции, не дают основания для оценки влияния распределения осадков, речного стока и подземных вод на системы водопользования.

Результаты химического анализа на рис. 3.34 (выше хранилища) и рис. 3.35 (ниже хранилища) ясно показывают, что промышленные отходы АГОК-а не имеют отрицательное влияние на химический состав воды р. Зерафшан. В обоих значениях результатов химанализов р. Фондарьи до и после хранилища не наблюдается большой разницы. Поэтому сравнение значений результатов на

обеих вышеуказанных рисунках утверждают, что химический состав воды в пределах наблюдаемом участке существенно не изменился.

В целом, нами полученные результаты, в ходе полевых исследований и изучения научной литературы [31, 197-201, 217], подтверждают, что водные ресурсы БРЗ соответствуют установленным стандартам для чистой питьевой воды. Нами проведением анализы показывают, что даже самые крупные промышленные предприятия данного бассейна, т.е. АГОК не влияет на качества и состава воды р. Зерафшан. Для сравнения на рис. 3.37 представлены сравнение нормативных значений ПДК с показателями некоторых химических элементов и соединений в реках и ледниках БРЗ.

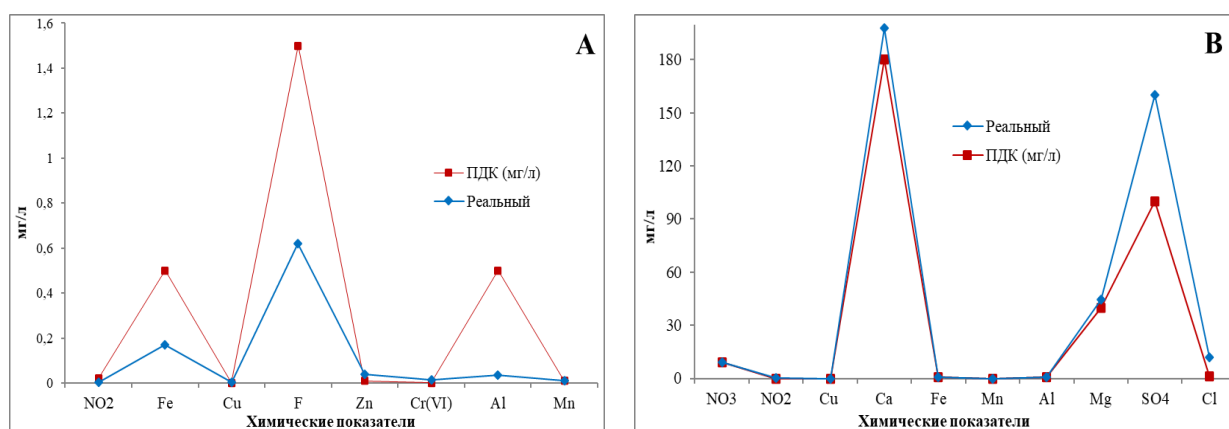


Рис. 3.37. Сравнение с ПДК воды в реках (А) и сравнение с ПДК ледниках (В)

Таким образом (рис. 3.37, А) содержание NO<sub>2</sub>, F, Al, Fe, Mn, Cu, Cr, Zn и других химэлементов и химсоединения в воде р. Зерафшан гораздо ниже установленного ПДК, а повышение ПДК в водах р. Фондарья в районе АГОК выявлено для: Cu, Zn и Cr. Вместе с тем (рис. 3.37, В) выявлено, что в ледниках ПДК не повышают стандартные показатели для питьевой воды. В целом, поступление природных химических примесей в сезонных снегах ледников связано с атмосферными аэрозолями, а также в водах рек – вымыванием горных пород. Для этого нужно проводить регулярно отборы проб и анализы стабильных изотопов в течение года или нескольких лет. Чтобы получить более детальную картину состояния водных ресурсов в этом регионе, необходимо развивать данное направление исследований.

## **Глава IV. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ОСНОВА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

### **4.1. Эколого-географические аспекты использования ВИЭ**

#### **для смягчения последствий изменения климата**

Как известно, обеспечение населения с теплом и электроэнергией является одним из важнейших и актуальных вопросов современности, а в последние годы, в условиях усложнения процесса глобального потепления, особенно под воздействием антропогенных выбросов, в т.ч. выбросы крупные предприятия тяжелой и химической промышленности, и тепловых электростанций, выросло загрязнение окружающей среды, появление «парникового эффекта», увеличение озоновых дыр и другие связанные с ними проблемы усилились и поэтому в течение последних нескольких декады внимание ученых было направлено непосредственно на эту проблему. Иначе говоря, в сегодняшних условиях, в связи с прогрессом науки, научно-исследовательские и научно-практические работы в большей степени ориентированы на использование ВИЭ, на «экологически чистую энергию», «низкоуглеродную энергию», «безотходную энергию», «зеленую энергию». Поэтому, именно с учетом сложности проблемы, комплексность вопросы, снижение воздействия климатических изменений, сокращение выбросов парниковых газов, также в целях практической реализации двух национальных стратегических целей страны – «обеспечения энергетической независимости» и «ускоренной индустриализации», Правительством страны принято и реализовано ряд важных и своевременных отраслевых стратегий и программ [218-220], направленных на развитие «зеленой энергетики».

Потому что многолетние систематические наблюдения показывают, что изменение климата является самым масштабным и наиболее серьезным негативным воздействием на планету, вызванных в основном сжиганием ископаемого топлива, а также значительными выбросами парниковых газов в результате исчезновения лесов, функционировании продовольственной системы и деятельности промышленно-энергетической отрасли. Согласно данным, «хотя земной шар

является одновременно причиной и жертвой данного процесса, он также может стать частью решения проблемы, связанной с климатическими изменениями, и ещё устойчивые методы управления земельными ресурсами могут способствовать стратегиям смягчения последствий климатических изменений путем остановки и восполнения потерь парниковых газов от наземных источников и вносят свой вклад, предоставляя необходимые экосистемные услуги, которые помогают обществам адаптироваться к последствиям изменения климата» [221]. Ибо в таких сложных условиях и сложном процессе проблема использования ВИЭ является одним из важнейших вопросов человеческого развития в современном мире, на пути к достижению целей устойчивого развития, адаптация к процессу климатического изменения, снижение антропогенного воздействия, сокращение выбросов парниковых газов и восстановление экосистем.

Использование ВИЭ привело к энергетическому кризису 70-80-х годов прошлого столетия, связанного с их экспоненциальным ростом на протяжении всей энергетической истории [221]. При этом, стало понятно, что запасы ископаемого топлива истощаются и более того, возрастающее использование традиционных источников энергии приводит к загрязнению окружающей среды, увеличению выбросов CO<sub>2</sub>, увеличению парникового эффекта атмосферы и потеплению климата планеты. В целях экономии ископаемого топлива, обеспечения эколого-экономической безопасности и устойчивого развития очень важно решить проблему использования нетрадиционной энергетики, развивающейся на ВИЭ. Согласно отчету МАГАТЭ, «рост производства ВИЭ подтверждают тезис о том, что источники энергии являются единственной доступной технологией для ускорения энергетического перехода в соответствии с целями ПКС. Вместе с тем, создание новых мощностей на основе ВИЭ добавит необходимые 7,2 ТВт в течение следующих 7 лет в сценарии повышения температуры на 1,5°C, прогнозируемому при изменении глобальных энергетических систем» [222]. Тем не менее, человечество не может отказаться от невозобновляемых источников энергии ни сейчас, ни в ближайшем будущем, и в настоящее время многие страны по-прежнему производят большое количество своей электроэнергии из таких источников. Для

подтверждения вышесказанного, в табл. 4.1 представлены некоторые страны, которые получают основную долю электроэнергии из отдельных источников.

**Таблица 4.1.** Страны, которые получают основную долю электроэнергии из отдельных источников энергии

Тип электростанции	Источник энергии	Страны с процентом производства электроэнергии
ТЭЦ	Мазут	Страны Персидского залива (~10), Италия (<50), Япония (~30)
	Природный газ	Нидерланды (65), Россия (63), Ирландия (45)
	Уголь	ЮАР (90), Дания (85), Великобритания (65), США (~60), Испания (<40)
ГЭС	Водные ресурсы	Гана (99), Таджикистан (98), Бразилия (92), Кения (86), Кыргызстан (71), Латвия (68), Австрия (66), Канада (63), Венесуэла (60), Швейцария (56%), Грузия (53)
АЭС	Уран	Франция (77), Бельгия (54), Болгария (47), Словакия (47), Швеция (47), Украина (44)

Из табл. 4.1 ясно, что во многих странах большая часть электроэнергии производится в ТЭЦ-ах, и только в предгорных и горных странах, таких как Таджикистан, большая часть энергии производится на ГЭС-ах. Естественно, что основными отраслями, выбрасывающими CO<sub>2</sub> в атмосферу, являются промышленность и энергетика, и только в 2019 г. 37% электроэнергии во всех странах мира было произведено за счет сжигания угля. Поэтому, в ходе COP26 РККК ООН (Глазго, 2021), более 40 стран обязались отказаться от угля в соответствии с предыдущими обещаниями [223]. Поэтому для промышленно развитых стран важно не реализовывать проекты по использованию ископаемого топлива, такого как уголь, нефть и природный газ, без использования технологий улавливания выбросов CO<sub>2</sub>.

В этой связи важно отметить, что РТ представила свою национальную позицию в ответ на все призывы ООН к принятию соответствующих решений после климатических саммитов, включая реализацию решений COP19 (Варшава, 2013) и COP20 (Лима, 2014), а также ОНУВ [224]. В частности, ОНУВ Таджикистана в сокращение выбросов парниковых газов и их влияния на глобальную климатическую систему гласит: «к 2030 году выбросы таких газов не превысят 80-

90% от уровня 1990 г., составив 1,7-2,2 т эквивалента CO<sub>2</sub> на душу населения» [223]. В §2.3 как подробно описаны, а также на гистограмме 2.2 представлены вклад и положение РТ в выбросах мировых CO<sub>2</sub>, хотя республика вносит незначительный вклад в выбросы таких газов в региональном и глобальном масштабе, она весьма уязвима к изменению климата.

Поскольку основной причиной глобального потепления считается промышленные выбросы парниковых газов, прежде всего CO<sub>2</sub> в мировом энергетическом секторе, то вначале необходимо меры по декарбонизации энергетики, а также в целом всей отрасли энергетики. Направления снижения выбросов CO<sub>2</sub> в энергетическом секторе показаны на рис. 4.1. Согласно схеме, к основным направлениям отнесены – теплоэнергетика без CO<sub>2</sub>, ВИЭ и атомная энергетика.

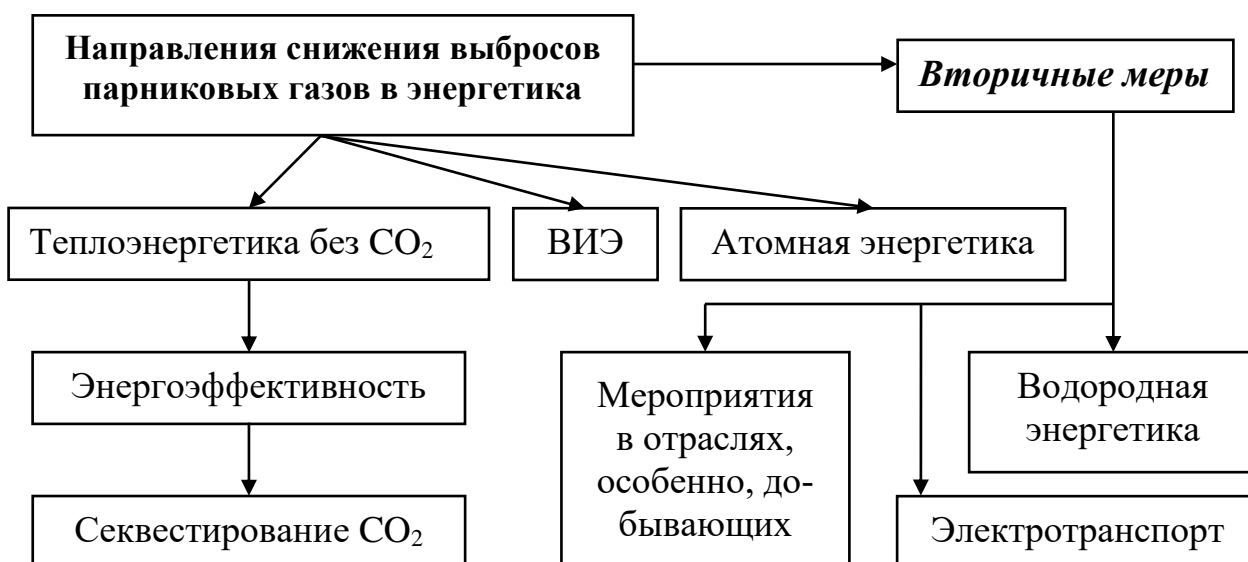


Рис. 4.1. Направления снижения выбросов парниковых газов в энергетике

Преобладающий вклад в глобальное потепление климата вносит энергетика на органическом топливе, поскольку энергетический сектор дает  $\frac{3}{4}$  выбросов парниковых газов [225]. Безусловно, конечная цель ПКС [125] недопущение повышения температуры на 2°C до конца текущего века. При выполнении требований данного документа структура мировой энергетики в ближайшие десятилетия должна претерпеть радикальные изменения за счет отказа от угля, а затем и газа, в качестве топлива и переходу к ВИЭ. Согласно данным, «к 2050 г. 90% электроэнергии будет производится из ВИЭ, в т.ч. 70% – за счет ветра и солнца,

что выглядит нереальным. Во избежание быстрого изменения температуры Земли многие страны взяли повышенные обязательства по углеродной нейтральности – достичь ее уже к 2050 г.» [224].

Также, из рис. 4.1, разработанного на основе научных исследований [218-221; 225], видно, что энергосфера также вносит существенный вклад в разрушение  $O_3$ , поскольку озоноразрушающими веществами являются в первую очередь хлорсодержащие фреоны, являющиеся основными рабочими телами таких энергоустановок (тепловые насосы, холодильники, кондиционеры и т.д.). В связи с этим, по данным, «глобальное потребление первичной энергии в 2023-2024 гг. достигло нового рекордного максимума, при этом некоторые страны, лидируют как по доле, так и по годовым темпам роста, а доля ископаемого топлива продолжает расти, составляя 84% их энергетического баланса» [226]. И все вышесказанное означает, что необходимо принимать решительные решения относительно развития мировой энергетики. Поэтому одним из ключевых вопросов сокращения выбросов  $CO_2$ , прекращения глобального потепления, смягчения последствий изменения климата и адаптации к ее процессам является эффективное использование климатически обусловленными природными ресурсами, а именно ВИЭ при развитии мирового энергосектора. Действительно, после «мирового нефтяного кризиса» (1973 г.) и аварии на «Чернобыльской» (1986 г.) и «Фукусимской» (2011 г.) АЭС-ах, а также возникновения ряда других глобальных климатологических проблем, большинство стран перешли на использование и развитие энергосектора за счет ВИЭ. Например, еще в 8-ом десятилетии XX-го столетия данная приняла решение о сокращении выбросов  $CO_2$ , и в 2005 г. таких выбросов сократились на 22% по сравнению с 1988 г. Результаты показывают, что в 2022 г. 12% мировой электроэнергии будет приходиться на солнечную и ветровую энергию, что на 10% меньше, чем в 2021 г. Уже 18-й год подряд производство гелиоэнергии является самым быстрорастущим сектором энергетики, увеличившись на 24% в 2022 г. и ветроэнергии – на 17%. Анализы подтверждают, что доля атомной энергетики в производстве электроэнергии не меньше доли ВИЭ, т.е. по статистико-географическим данным, доля данной энергетики

составляет 18% мировой электроэнергии, а атомные электростанции действуют всего в 31 стране мира.

Следовательно, основой ВИЭ являются климатические ресурсы, т.е. неисчерпаемые природные ресурсы, определяемые географическим положением и климатическими условиями данного региона. Климатические особенности региона во многом определяют образ жизни населения, специализацию хозяйственной деятельности, особенности строительства и инфраструктуры жилых, административных и промышленных зданий. В отличие от полезных ископаемых климатические ресурсы не уничтожаются в процессе использования и возобновляются естественным образом. Иначе говоря, закономерности развития ВИЭ больше связаны с географо-орграфическим положением и природными условиями. При этом, ВИЭ зависят от природно-климатических факторов – количество солнечной энергии, поступающей на Землю, сила ветров, продуктивность биосферы и наличие гидролого-геотермальных источников.

Учитывая глобальное потепление климата, усиление его негативных последствий и принятие мер по адаптации к этим процессам, в современное время региональные проблемы использования природно-климатических ресурсов, таких как ветровая и солнечная энергия, геотермальные источники, малые водные артерии и т.д., связаны с необходимостью устойчивого развития энергетического производства с минимальным негативным воздействием на природную среду. ВИЭ при правильном использовании могут способствовать социально-экономическому развитию, предоставляя доступ к экологически чистым энергиям, способствовать обеспечению надежного и устойчивого энергоснабжения, и «снижению негативного воздействия энергоснабжения на окружающую среду и здоровье населения» [230]. Поэтому, здесь представлена объективная научная оценка потенциальной роли ВИЭ в смягчении последствий изменения климата для политиков, частного сектора, исследователей и гражданского общества. По данным [218-221; 227-234], в РФ существует пять видов ВИЭ – биоэнергетика, прямая солнечная энергия, геотермальная энергия, гидроэнергетика и энергия ветра, а также их интеграцию в существующие и будущие энергетические системы

страны, которые рассматривают экологические и социальные последствия, связанные с внедрением таких технологий, и предлагают стратегии преодоления технических и нетехнических барьеров на пути их принятия.

В 2010 году Закон РТ «Об использовании ВИЭ», был принят именно с целью практической реализации вышеупомянутых стратегий и программ, что создало благоприятную основу для комплексного развития всех видов ВИЭ в республике. Как уже отметили, а также согласно названному закону, к ВИЭ в природно-географических условиях РТ относятся: «солнечная энергия, ветровая энергия, энергия водных потоков, природные и искусственные водоемы, энергия горячих подземных вод, биомасса в виде промышленных, сельскохозяйственных, лесных, коммунальных и бытовых отходов» [234]. С этой целью в разные годы в ряде районов со сложными предгорными и горными условиями, таких как Балджуван, Ховалинг, Дарвоз, Мургоб, Рушон, Ишкашим, Вандж, Шугнан, Ропткала, Кухистони Масчох и Айни (Ягнобское ущелье), установили 1825 солнечных панелей и 6 ветроэнергетических установок.

Общеизвестно, что рельеф РТ горный и высокогорный, а способ установки гелиопанелей в гористой местности [235], включающий установку в горизонтальном направлении прямоугольных гелиопанелей в рамной конструкции рядами друг за другом, имеющих угол наклона каждой из гелиопанелей между 15 и 45°, отличающийся тем, что каждую пару панелей в рядах располагают под углом по отношению друг к другу, придавая им гребнистую форму, причем с возможностью изменения минимального угла наклона от прямого до развернутого, позволяющего обеспечить самоочищение гелиопанелей от атмосферных загрязнений и снега. Отсюда видно, что «солнечная радиация, поступающая на земную поверхность, в большой степени зависит от циркуляции атмосферы, в горных районах от высоты местности н.у.м., крутизны и экспозиции склонов. Благодаря южному широтному положению и обилию солнечного света, в республике отмечаются большие величины солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния» [187].

Общеизвестно, что солнечная радиация является главным источником тепловой энергии практически для всех процессов, развивающихся на земной поверхности, и считается одним из основных климатообразующих факторов. В свою очередь, изменение климатических условий определяет феномен исчерпаемости, ограниченности климатохарактеристик во времени. Это придает проблеме социально-экономический аспект, поскольку в случае конечности какого-то свойства можно ставить вопрос о его цене и о цене, которую надо заплатить за сохранение или восстановление различных сегментов экономики, пострадавших в результате климатических изменений. С учетом вышеизложенного выделен блок природных ресурсов [17], зависящих от состояния климата – климатически обусловленные природные ресурсы (см. табл. 4.2).

**Таблица 4.2.** Климатические обусловленные природные ресурсы и климатические зависимые отрасли экономики

<b>Ресурсы</b>	<b>Отрасли экономики</b>
«Энергетические ресурсы, включая ветровые и гидроэнергетические»	«Сельское хозяйство»
«Затраты энергии на отопление (охлаждение)»	«Лесное хозяйство»
«Водные ресурсы»	«Рыбное хозяйство»
«Агроклиматические ресурсы»	«Охотничье хозяйство»
«Территориальные ресурсы»	«Гидроэнергетика»
«Экологические ресурсы человека, в т.ч. связанные с уровнем заболеваемости»	«Нетрадиционная энергетика»
«Транспорт»	«Коммунальное хозяйство»
и т.п.	«Водные транспорт»
	«Рекреация и туризм»
	и т.д.

По мнению авторов [17], как и другие природные ресурсы, климатически обусловленными природными ресурсами открывают возможности для капиталовложений и применения современных технологий при их использовании. Поэтому, как показано в табл. 4.2, эти ресурсы влияют по-разному на различные отрасли экономики, стимулируя развитие технологий, оптимально соответствующих климатическим условиям. Наряду с этим, как уже отмечены в параграфах 1.1.1 и 1.1.2, наблюдаемые на территории ЦА, особенно в ее горных районах, в последние декады изменение климата характеризуется прежде всего повышением температуры холодного периода, усилением испаряемости на фоне

уменьшения количества осадков в теплые периоды, возрастанием числа засух, уменьшением объемов и площадей оледенения, учащением и усилением СГЯ и ОЯ, ростом экономических потерь, а также социально-экологические последствия процессов климатических изменений. Последствия этих и других эффектов существенным образом влияют на деятельность различных секторов экономики, в т.ч. энергетики, сельского хозяйства, водопользования и водопотребления, гидроэнергетики, жилищно-коммунальных служб, различных видов туризма.

Таким образом, изменение климата оказывает глубокое влияние на все аспекты деятельности человека, экономические и социальные секторы, природные ресурсы и окружающую среду, а это означает, что все сферы деятельности человека и климатически обусловленными природными ресурсами без исключения тесно связаны с климатом. Ибо «климатический ресурс является одним из важнейших факторов природы любой страны (региона), а данные о нем используются в различных отраслях народного хозяйства и иначе говоря, природные ресурсы страны (региона) включают ресурсы, связанные с ее климатом, и они не просто климаторесурсы, а ресурсы, которые в большей степени зависят от состояния и динамика климата» [169], и, следовательно, климатических изменений определяют доступ к природным ресурсам и их использование, стратегии и концепции развития, уровень достижения ЦУР на ближайшие годы, поддержания экологического равновесия и демонстрации определенного уровня экономико-социального развития.

#### **4.2. Анализ и оценка климатических ресурсов для ВИЭ и потенциал их использования в условиях изменения климата**

По результатам многочисленных научных оценок, инженерных расчетов и научных исследований [227-233, 236-239] установлено, что на территории РТ располагает значительными топливно-энергетическими ресурсами, и эти ресурсы представлены крупнейшими запасами углей (4,5 млрд т.) и 24 месторождениями нефти и газа, расположенными на глубинах 400-6500 м, с предварительными запасами 1033,76 млн т.у.т. Реализуя целенаправленную политику по увеличению

уровня добычи и переработки углеводородного сырья на территории республики можно достичь показателей 1980 г. в 520 млн. м<sup>3</sup> природного газа и 418 000 т нефти. В целом потребление электроэнергии в РТ увеличивается за счет развития гидроэнергетики, ведутся работы по изучению возможностей использования других ВИЭ, однако запасы природных ресурсов, таких как нефть и газ, немного ограничены. С другой стороны, «использование ископаемого топлива для удовлетворения нужд населения страны вредно по нескольким причинам» [231]: во-первых, добыча, переработка и транспортировка ископаемого топлива сопряжены с местными техническими трудностями, во-вторых, даже если производство и потребление продолжатся, данные ресурсы быстро иссякнут, и наконец, в-третьих, в условиях республики, где имеются другие ВИЭ, целесообразнее использовать угольные и нефтяные ресурсы в качестве сырья для химической и фармацевтической промышленности, а не в качестве топлива.

Поэтому, как многократно отмечается в официальных государственных и международных документах [218-220, 227, 234], и научных работах [231-233, 236-241], благодаря уникальным природно-климатическим условиям и географическо-орографическому положению РТ имеются большие потенциальные возможности для использования ВИЭ. Несмотря на то, что было проведено множество исследований и разработок по техническо-экономическому потенциалу ВИЭ в РТ, однако результаты и данные относительно этих источников энергии совершенно разные. В частности, экономпотенциалы гелиоэнергии для всей территории республики были анализированы группой ученых под руководством Кабутова К. [228-230] 545,2 МВт, а группой ученых под руководством Мадвалиева У. [240-241] – 369 600 МВт, и этот показатель по ветроэнергии первая группа оценила в 1926,35 МВт, а вторая группа – в 4,485 МВт. Поэтому для сравнительного анализа в табл. 4.3 приведены показатели технического потенциала (МВт) всех существующих видов ВИЭ в РТ, основанные на исследованиях трех групп ученых [227; 228-230; 240-241].

**Таблица 4.3.** Технический потенциал ВИЭ в Таджикистане, МВт

	Лалджебаев М., Исаев Р., Саухимов А.	Петров Г.Н., Ахмедов Х., Кабутов К.	Кудусов М., Мадвалиев У., Бахромзод Р.
Малая гидроэнергетика	30 000	6813	–
Солнечная энергия	195 000	1493,7	646,850
Энергия ветра	2 000	3852,7	15,557
Геотермальная энергия	0,45	0,045	–
Биоэнергетика	300	1614,14	–

Согласно исследованиям [227], среди существующих видов ВИЭ в регионе, РТ является лидером среди стран ЦА по потенциалом малой гидроэнергетики, а ее ресурсы геотермальной энергии превышают ресурсы Узбекистана и биоэнергии Таджикистана превышают ресурсы Кыргызстана. В целом, по оценкам, «техническая мощность малой гидроэнергетики в ЦА колеблется от 275 (Кыргызстан) до 30 000 МВт (Таджикистан), геилоэнергетики – от 195 000 (Таджикистан) до 3 760 000 МВт (Казахстан), ветроэнергетики – от 1 500 (Кыргызстан) до 354 000 МВт (Казахстан), геотермальной – от 2 (Узбекистан) до 54 000 МВт (Казахстан) и биоэнергетики – от 200 (Кыргызстан) до 800 МВт (Узбекистан)» [227].

По официальным данным МЭиВР [242], страна обладает значительными запасами ВИЭ, «и даже частичное использование этого потенциала существенно улучшит доступ населения к энергоресурсам, стабилизирует энергобаланс и экологическую обстановку в РТ и ЦА» [231]. Наряду с этим, по расчетам [228-233], где ВИЭ составляют ~2% от общего энергобаланса, и это в основном за счет внедрения малых и микро-ГЭС, классификация которых предусмотрена в вышеуказанном законе [234]. Как выше отметили, а также отражены во многих официальных документах и научных трудах, основным источником данного вида ресурсов в стране являются водные ресурсы, которые считаются наиболее эффективными ВИЭ в РТ, поэтому электроэнергия, вырабатываемая на ГЭС-ах, считается самым дешевым способом получения энергии. Согласно МЭиВР, «возобновляемые гидроэнергоресурсы, которые могут быть использованы, могли бы обеспечить в 3,5 раза больше электроэнергии, чем сейчас потребляет ЦА. А другие ВИЭ, существующие в РТ, могли бы обеспечить до 10% потребностей

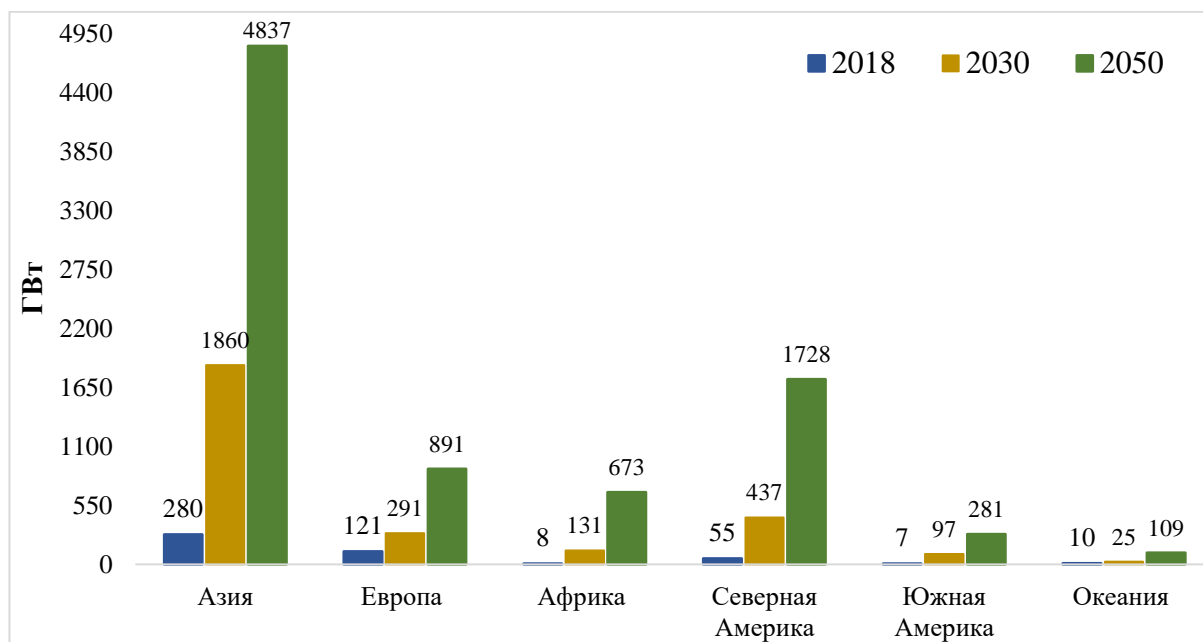
республики в энергии» [242]. Однако в настоящее время используется лишь менее 4-5% технического и экономического потенциала водных ресурсов страны и менее 1% других видов ВИЭ. Демографстатистики показывают, что ~10% населения республики проживает в труднодоступных горных и высокогорных районах, в долинах малых рек и вдали от центральных систем электроснабжения. Поэтому в таких районах более целесообразно использование ВИЭ. По данным МЭиВР, с этой целью, «в различных регионах РТ установлено 2433 гелиоустановок, 9 ветроустановок и построено 285 малых ГЭС, их установленной мощностью 8,87 кВт, 5,1 кВт и 26 565 кВт соответственно» [242]. Для подтверждения этого, на табл. 4.4 приведены энергоресурсы ВИЭ в РТ, основанные в основном на результатах научных исследований [228].

**Таблица 4.4.** Ресурсы ВИЭ в Таджикистане

<b>Ресурсы ВИЭ</b>	<b>Валовой потенциал</b>	<b>Технический потенциал</b>	<b>Экономический потенциал</b>	<b>млн. т.у.т. в г.</b>
Гидроэнергия	60167	32476	32476	64828,74
Гелиоэнергия	1822894	1493,7	545,2	224215,96
Ветроэнергия	62257,3	3852,7	1926,35	7657,61
Биоэнергия	1614,14	1614,14	807	198,52
Всего	1946932,4	39436,54	35754,55	296900,83

Мониторинги и анализы показывают, что отдельные районы РТ также можно использовать как основной фактор гелиоэнергетики в зависимости от высоты, широты и экспозиции местности. Потому что из дисциплины «Климата земного шара» и «Изучения изменения климата», которые преподает автор диссертации, известно, что атлантические ветры, проходя над Евразией, превращаются в континентальный воздух, из-за чего здесь лето чрезвычайно жаркое, а зима, наоборот, холодная. Это приводит к тому, что летом на центральной части Азии, формируется область низкого давления, а зимой над районом формируется область высокого давления. Такое распределение давления зимой притягивает воздушные массы из восточных и юго-восточных антициклонических областей и в них преобразуются сухие и холодные континентальные муссоны, влияние которых распространяется на всю часть названного континента. Разумеется,

такие масштабные изменения метеоусловий способствуют повышению прозрачности атмосферы, увеличению продолжительности и интенсивности солнечного сияния, т.е. созданию новых возможностей для развития гелиоэнергетики в этом континенте. Поэтому, автором диссертации на основе данных [226], разработал гистограмму дальнейшего развития гелиоэнергетики по регионам, которая представлена на рис. 4.2.



**Рис. 4.2.** Перспективы развития солнечной энергетики на период до 2050 г.

**Примечание:** составлено автором по данным [226]

Очевидно, что все сценарии развития ВИЭ или «зеленой энергетики» направлены в первую очередь на защиту окружающей среды и снижение глобального потепления климата, т.е. на реализацию целей ПКС. Как показано в таб. 4.2, климатические обусловленные природные ресурсы, прежде всего гелиоэнергетика будет играть центральную роль в преобразовании энергетической системы во всех будущих сценариях развития энергетики. Потому что, согласно одному из сценариев, расширение гелиоэнергетики может сократить выбросы CO<sub>2</sub> на 4,9 Гт к 2050 году, что составляет ~21% всех предотвращенных выбросов, и также ожидается, что такая энергетика к тому времени станет вторым по величине источником электроэнергии после ветроэнергетики, вырабатывая ~25% электроэнергии.

Согласно [243-244], в горных и предгорных районах на распределение солнечного сияния большое влияние оказывает еще и рельеф местности. В узких долинах, закрытых котловинах, ущельях и на защищенных склонах гор продолжительность солнечного сияния резко уменьшается по сравнению с открытым местом. Многолетние метеонаблюдения показывают, что «на территории Хороба, который расположен в узкой долине, число часов солнечного сияния за год составляет 2217, в то время как на территории высокогорного Мургаб, который имеют высоту более 3560 м н.у.м. и на открытом плато, наблюдается 3070 час. солнечного сияния за год» [243-244].

На наш взгляд, с учетом климатических характеристик (высота и широты местности, её экспозиции местности) отдельных регионов РТ, основным направлением следует считать развитие гелиоэнергетики. В частности по точкам наблюдений по БРЗ выявлено: в западной его части, в Пенджикенте, расположенного на высоте 1005 м н.у.м., за год наблюдается 20 пасмурных дней (по нижней облачности), при 2820 часов солнечного сияния в году, то на восточной части, в Дехавзе, расположенного на высоте 2560 м н.у.м., при 40 пасмурных дней, солнце светит 2097 часов в году. Естественно, это связано в основном с увеличением облачности на указанных высотах. Примерно столько же часов солнечного сияния наблюдается на станции ледника Ванджях (2116 час.), где за год отмечается в среднем 80 пасмурных дней. Также, примерно на данной широте, но высоте ~4000 м н.у.м. в Ховаркулье наблюдается продолжительности солнечного сияния более 3000 час. Такое распределение продолжительности солнечного сияния обусловлено тем, что на открытых местах, на высокогорных плато, где облачность мала, продолжительность солнечного сияния увеличивается с высотой.

По физическому закону, «в летнее период солнце находится в зените и этой связи наиболее продолжительности солнечного сияния приходится в летний период» [187]. Согласно автору, «в годовом ходе максимум продолжительности солнечного сияния попадает на июль, а минимум – на декабрь, потому что где в зимние дни солнце встаёт над горизонтом до  $28^{\circ}$ , а в летние дни – до  $75^{\circ}$ : в июле наибольшая продолжительность солнечного сияния от 274 (Дехавз) до 379 час.

(Пенджикент)» [169], а в декабре продолжительность колеблется от 61 (Дехавз) до 172 час. (Ховаркуль) (см. табл. 4.5).

**Таблица 4.5.** Продолжительность солнечного сияние (час)  
в различных экспозициях местности

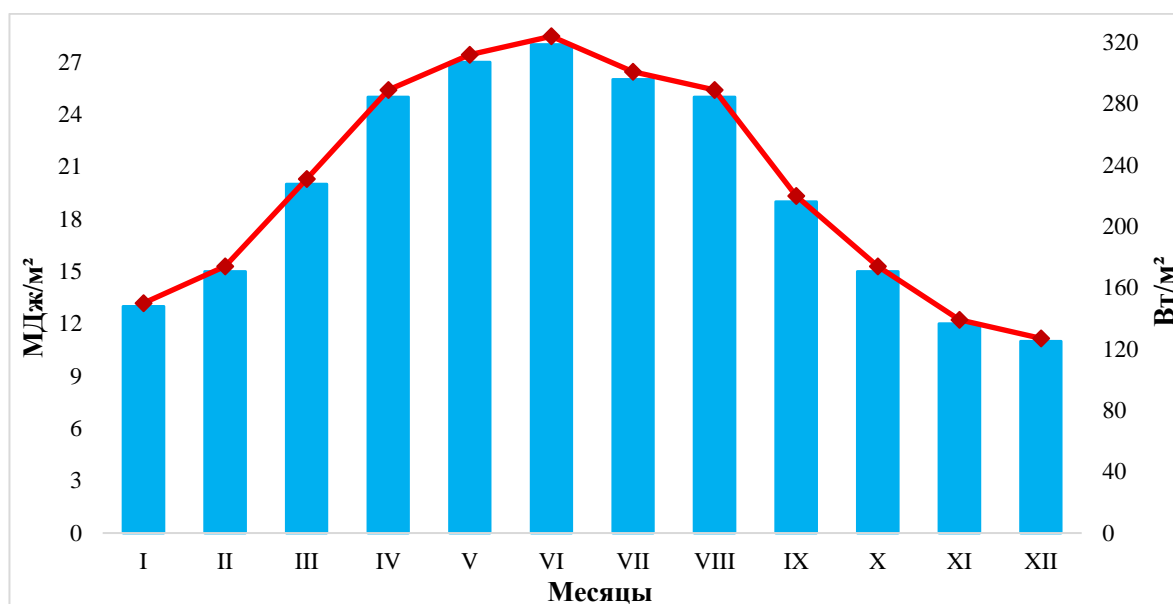
Мет.-стан.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
И	133	124	139	188	263	324	359	344	297	226	157	132	2686
II	126	129	157	214	290	344	379	359	307	243	153	119	2820
Д	72	87	131	187	232	247	274	272	248	182	104	61	2097
Х	183	178	225	252	281	338	366	359	320	272	220	172	3166
В	94	83	112	156	210	254	301	301	243	170	108	84	2116

**Примечание:** И – Истаравшан, II – Пенджикент, Д – Дехавз, Х – Ховаркуль, В – Ванджях.

Из табл. 4.5 видно, что для изучения изменения продолжительности солнечного сияние были выбраны данные метеостанции, которые находятся на широте 39° и 40° с.ш. для определения характеристики возможности использования геотермальной энергии в отрасли ВИЭ. Установлено, что «среднегодовая суммарная солнечная радиация в РТ, в ее северной части достигает 151 ккал/см<sup>2</sup>, а в восточной части – 176 ккал/см<sup>2</sup>, и также при ясной погоде она составляет 182,9-223,9 ккал/см<sup>2</sup>» [230]. Метеонаблюдения показывают, что на территории РТ прозрачность атмосферы неодинакова, и зависит от погодных условий. Естественно, что наиболее прозрачен воздух после выпадения осадков, а наименьшая прозрачность атмосферы вызвана адвективной, мглой и пыльными бурями. Вертикальная мощность запыленности атмосферы велика в сухой весенне-летний период, когда пыль поднимается до высоты 4 км и более.

Согласно наблюдениям АГ РТ, «среднемесячные величины интенсивности прямой солнечной радиации в полуденные часы, поступающей на перпендикулярную поверхность, в безоблачные дни для предгорных районов колеблются от 0,35 до 0,79 кВт/м<sup>2</sup>, а с увеличением высоты местности и прозрачности атмосферы, интенсивность солнечной радиации увеличивается» [234]. Потому, на высотах 4000-5000 м н.у.м. она составляет 1,06-1,15 кВт/м<sup>2</sup>. Общеизвестно, что облачность уменьшает проходящую солнечную радиацию и радиационный баланс. В целом метеонаблюдения показывают, что «в течение года облачность снижает

поступление прямой радиации на 32-35% от потенциально возможной для равнинной части и на 50% – для горной части страны. Сильное помутнение и запыленность атмосферы, уменьшая приход прямой солнечной радиации, увеличивает рассеянную радиацию, интенсивность которой в этих условиях достигает на большие значения до 0,60-0,72 кал/см<sup>2</sup>\*мин. летом» [187]. Как известно, что суммарная радиация определяется общим приходом прямой и рассеянной радиации на горизонтальную поверхность, интенсивность суммарной радиации изменяется для предгорных районов страны колеблется 280-925 мДж/м<sup>2</sup>, а в высокогорных районах республики изменяется на пределах 360-1120 мДж/м<sup>2</sup> [231]. Таким образом, на рис. 4.3 показан среднесуточный годовой ход солнечной радиации в ясный день на средней широте, где расположена РТ.



**Рис. 4.3.** Годовой ход солнечной радиации в умеренных широтах Таджикистана.  
**Примечание:** составлено автором по данным [226]

В отдельных районах горно-предгорной зоны РТ, «из-за недостаточности гидроэнергоресурсов, технической сложности и большой стоимости строительства линии электропередачи, современные солнечные установки с новыми передовыми технологиями для производства электроэнергии становятся социально-экономически целесообразными» [230]. Потому что, по расчетам, «если стоимость 1 кВт установленной мощности малой ГЭС в таких районах составляет 4500-6500 дол. США, то такая же мощность гелиоустановки требуется 2500-3000

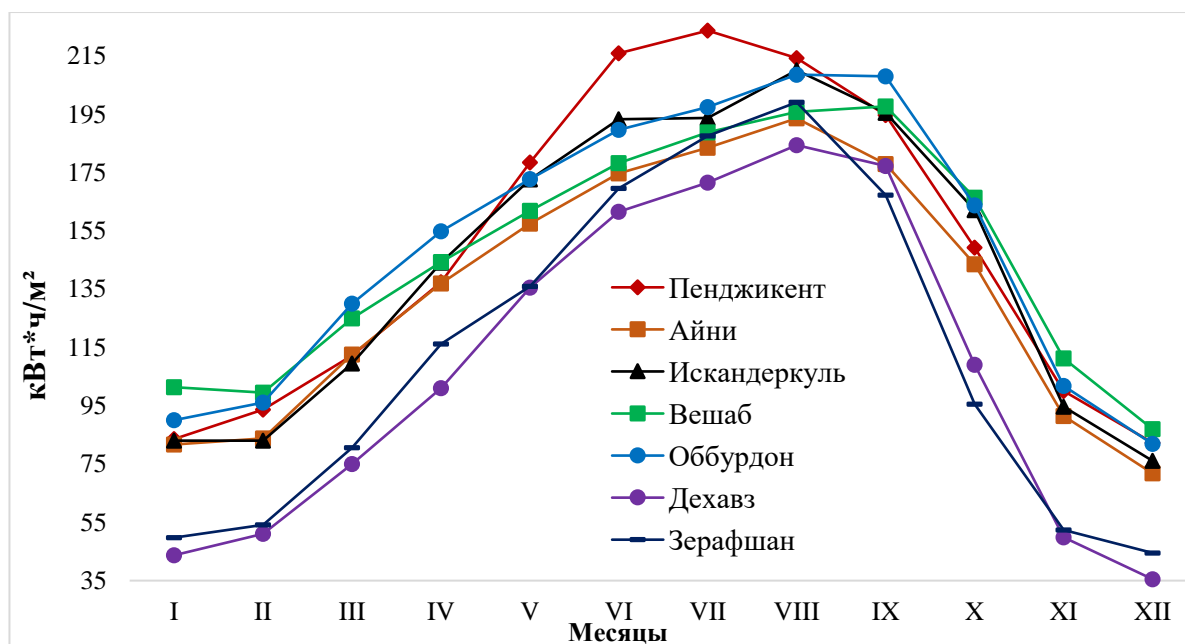
дол. США» [230]. Автором, с использованием данных Глобального солнечного атласа [245], в т.ч. портала являющийся актуальным источником информации для изучения эффективности гелиоэнергетики и оценки ее потенциала в различных регионах мира, осуществлена оценка состояния данной проблемы. В виду того, что данная платформа широко используется для получения точной информации о гелиорадиации, глобальном климате и важных энергопараметрах, поэтому, нами осуществлены исследования горных и высокогорных регионов РТ и выбраны точки: Пенджикент – 1; Айни – 1, Кухистони Масчо – 3; Рашт – 1; Таджикабаде – 1; Ляхш – 1; Мургаба – 1 (табл. 4.6).

**Таблица 4.6.** Гелиогеографические характеристики выбранных точек

<b>Точки</b>	<b>Координаты</b>	<b>h, m</b>	<b>T, °C</b>	<b>Суммарная радиация, Вт·ч/м<sup>2</sup></b>
Пенджикент	39°29'51", 067°36'45"	993	12,1	1785,7
Айни	39°23'40", 068°32'17"	1434	10,1	1609
Искандеркуль	39°04'26", 068°22'00"	2192	7,5	1717,7
Вешаб	39°24'34", 068°56'20"	1876	7,9	1757,3
Оббурдон	39°24'25", 069°05'13"	1837	8,8	1794,8
Дехавз	39°26'53", 070°11'40"	2569	3,5	1295,6
Зерафшан	39°28'13", 070°30'32"	3000	0,3	1352,5
Гарм	39°00'32", 070°09'10"	1276	10,3	1622,9
Таджикабад	39°08'29", 070°54'58"	1610	8,5	1461,4
Ляхш	39°21'01", 071°33'53"	2022	5	1504,2
Ховаркуль	39°04'43", 073°26'26"	3933	-6,7	2213,8

Глобальный солнечный атлас [245] важный ресурс для стран с климатическим обусловленным природным ресурсам, включая РТ, позволяет рассчитать оптимальное расположение солнечных электростанций, ориентацию панелей и ожидаемую выработку гелиоэнергии в различных географических условиях; проводить подробный региональный анализ для принятия стратегических решений в области развития ВИЭ; предоставляет уникальную возможность изучить потенциал гелиоэнергии в различных регионах и выявить зоны с высоким потенциалом ВИЭ. Районы, в которых были выбраны зоны (точки), с высокими показателями солнечной радиации перспективны для реализации проектов

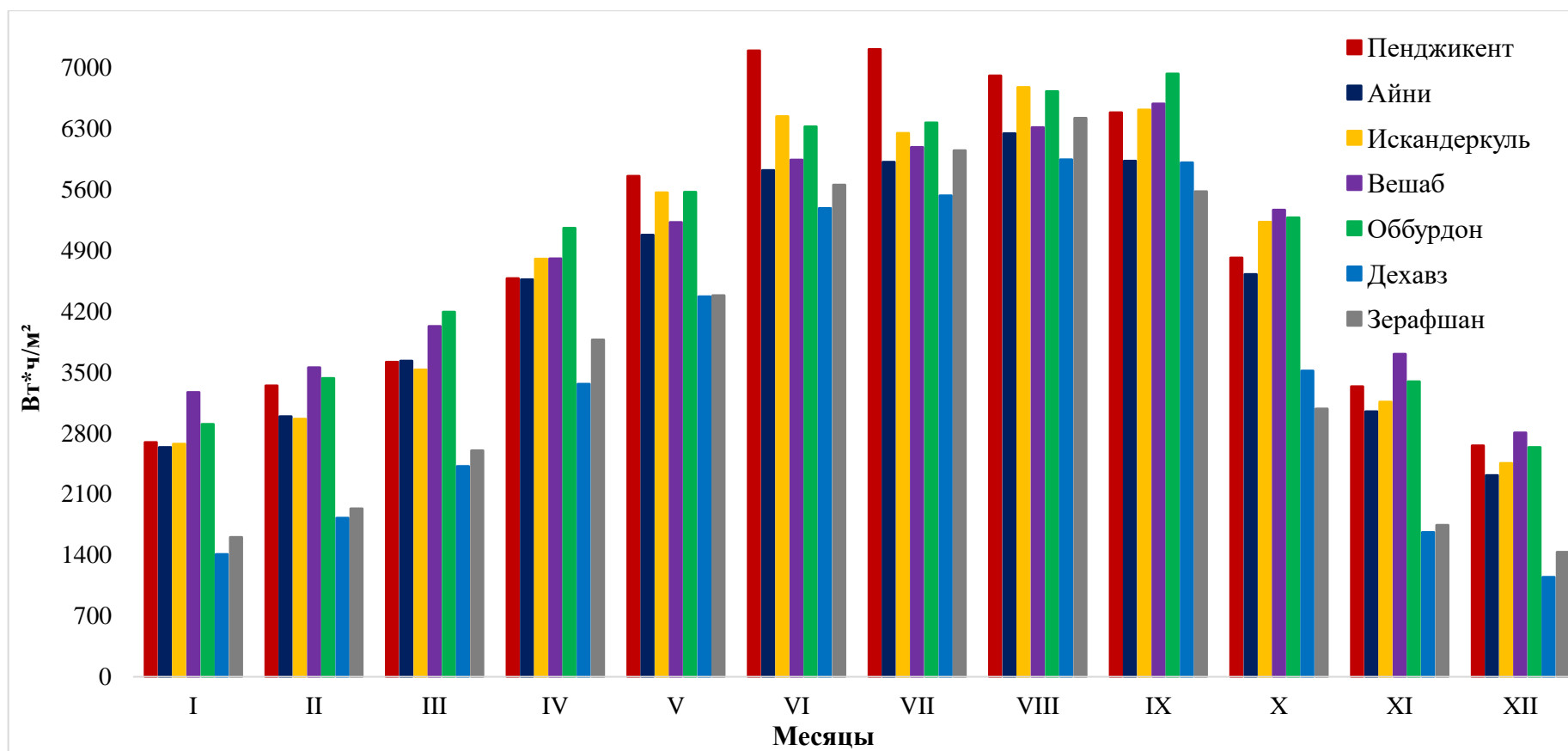
гелиоэнергетики. На рис. 4.4 представлен годовой ход прямой нормальной облучение в выбранных точках БРЗ (см. табл. 4.6).



**Рис. 4.4.** Годовой ход прямой нормальной облучение в выбранных точках БРЗ  
**Примечание:** составлено автором по данным [245].

Так как авторы в своей работы [241] выбрали пять районов на территории Пенджикента как лучшие солнечные зоны и площадки для использования гелиоэнергии в БРЗ, также табл. 4.6 и рис. 4.4 показывают, что западная часть этого бассейна имеет очень хороший потенциал для развития гелиоэнергетики. Одновременно, как видно из вышеприведенного слова, а также по данным метеонаблюдений (актинометрических), «общая продолжительность солнечного сияния на территории РТ колеблется 2100-3170 ч/г., а наименьшая общая продолжительность солнечного сияния отмечена в горных районах, характеризующихся значительной облачностью в течение года. Наряду с этим, как выше упоминалось, в предгорных и горных районах страны сказывается влияние экспозиции склонов, и поэтому наибольшая продолжительность солнечного сияния наблюдается в равнинных районах Ферганской, Гиссарской и Зерафшанской долинах, юго-западном Таджикистане и на Памире» [224]. Поскольку Глобальный солнечный атлас [245] позволяет изучать среднюю прямую нормальную радиацию за отдельные месяцы и активные часы многолетнего солнечного сияния в различных регионах каждой страны, на рис. 4.5 показаны месячная сумма многолетней

прямой нормальной радиации для отдельных точек БРЗ. Необходимо отметить, что по многолетним метеонаблюдениям [243-244], положительный радиационный баланс наблюдается только в равнинной части страны в течение года, а в горных районах на высоте 2000-3000 м отрицательный баланс отмечается в течение 3-4 месяцев на южных склонах и 4-5 месяцев на северных склонах, и также на высоте 4000 м и выше, период с отрицательным балансом радиации продолжается до 6 месяцев.



**Рис. 4.5.** Многолетняя месячная сумма суточной продолжительности солнечного сияния в часах.

**Примечание:** составлено автором по данным [245]

Центральная часть БРЗ является одним из самых засушливых и малодеждливых регионов РТ, т.е. в периоды относительно пасмурной погоды показатель продолжительности радиации в Вешабе и Оббурдоне выше, чем в Пенджикенте (рис. 4.5), связанное с тем, что продолжительность солнечного сияния в любой точке зависит от продолжительности дня и облачности и возрастает по направлению с севера на юг. Но вместе с тем следует отметить, что распределение солнечного сияния по широте часто искажается наличием сплошной облачности, обусловленное особенностями атмосферной циркуляции. Согласно данным, «циркуляция атмосферы и атмосферные движения способствуют появлению еще одного ВИЭ, а именно ветроэнергетический потенциал РТ изучен недостаточно хорошо» [228-233].

Метеонаблюдения показывают, что «на большей части РТ, с ноября по май преобладают восточные, северо-восточные и северные ветры (50-70%), с июня по октябрь – ветры юго-западного, западного и северо-западного направлений (40-60%), а также в ряде районах, под влиянием местной орографии, в течение всего года преобладают ветры какого-нибудь одного румба». Например, на ледник Ванджях – юго-западные ветры, Истаравшан, Дарвоз, Яван – северо-восточные и т.д.» [226]. Наряду с этим, огромные горные системы, расположенные на территории РТ, с их разнообразными формами рельефа приводят к возникновению всевозможных видов местных ветров. Анализ результатов показывают, что «среднегодовые скорости ветра меняются в пределах 0,8-6,0 м/с и минимальные скорости ветра наблюдаются в основном зимой или осенью, а максимальные – весной, летом» [187].

Выявлено, что наибольшие скорости ветра с учетом порывов отмечаются на леднике Ванджях – 30 м/с ежегодно и 44 м/с раз в 20 лет, и на северо-западе Согдийской области (Масчох) – 33 м/с ежегодно и 51 м/с раз в 20 лет. По данным автора, «в РТ максимальные ежегодно повторяющиеся скорости ветра не превышают обычно 14-20 м/с, лишь на крайнем юге (Шахритус, Айвадж) они составляют 25-29 м/сек. Наибольшее число дней с сильным ветром (скорость 15 м/с и более) наблюдается в Мургабе – 119 и значительно их число на

перевалах – 85-105 дней. Также, в широких долинах их количество составляет 3-20 дней и лишь на крайнем юге до 20-59 дней» [226].

**Таблица 4.7.** Наибольшая скорость ветра (м/с) различной вероятности

Метеостанция	Скорость ветра возможная один раз в:				
	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	Год
Худжанд	27	29	30	32	24
Анзоб	34	36	37	40	29
Душанбе	21	23	24	25	16
Бохтар	19	21	23	24	14
Шахритус	30	33	34	36	25
Мургаб	25	27	28	29	20

Результаты показывают, что «наиболее сильные ветры в высокогорных районах в открытых формах рельефа (Ванджях, Анзоб и др.) и в тех районах, где орографические факторы способствуют увеличению барических градиентов (Худжанд, Ш.Шахин, Ишкашим, Мургаб), а его среднегодовая скорость достигает 5-6 м/с. На открытых равнинах и в широких долинах скорость ветра несколько ниже и составляет 3-4 м/с., в предгорьях - до 3, в замкнутых котловинах и в низинных южных районах не превышает 1-2 м/с. Большое разнообразие форм рельефа сказывается и на распределении повторяемости штилей. В долинах и котловинах наблюдается в среднем 5-15 дней в году с сильным ветром (Истравшан, Душанбе, Искандеркуль)» [224]. Однако, в отдельных формах рельефа на большой высоте и в местах сужения долин число дней с сильным ветром достигает 40-60 (Худжанд, Шахристан, Анзоб, Ванджях и др.). А также, в замкнутых котловинах и под склонами гор наблюдается наибольшая повторяемость штилей - 44-58%; в предгорных и горных районах – до 30%. Малая повторяемость отмечена на леднике Ванджях (6%) и перевалах (14-17%) [231-233; 243-244].

Общеизвестно, что горно-долинные ветры имеют локальную циркуляцию с суточной периодичностью, обусловленной различиями в нагреве и охлаждении воздуха над хребтом и над долиной: «днем долина и нижние части склонов нагреваются больше, чем вершины, и теплый воздух поднимается вверх по склонам, образуя ветер долины. Ночью холодный, тяжелый воздух стекает с

горных склонов - горный ветер. Если долина дует плохо, воздух здесь застаивается и еще больше охлаждается. Весной горный ветер может вызвать понижения температуры, что опасно для цветущих садов» [30]. Связано с этим, из-за глубокого и сложного рельефа БРЗ, его среднемесячная скорость в большинстве суббассейнов, кроме Пенджикента, невысоко. Потому что, под влиянием сложного рельефа данной долины, где скорость ветра неравномерна. В частности, среднегодовая скорость ветра на Пенджикентской равнины составляет 2,0 м/с, а в Шахристанском перевале достигает 4,7 м/с. В основном ветры с большой скорости (более 15-20 м/с) наблюдаются в западной части БРЗ, а также такие ветры в течение года наблюдаются в Сангистоне более 25 дней и в Шахристане 50 дней. Однако, такие ветры в ущельях Фонских гор и в бассейнах рр. Киштут и Могиян не наблюдаются. Для подтверждения вышесказанных слов в табл. 4.8 приведены среднемаксимальная скорость ветра по наблюдениям метеостанций БРЗ.

**Таблица 4.8.** Среднемаксимальная скорость ветра по наблюдениям метеостанций БРЗ

Метеостан.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
П	2,2	2,0	3,7	5,8	7,6	11,9	12,5	11,6	8,6	6,8	3,4	2,9	6,6
С	3,9	5,3	6,7	7,2	6,6	5,7	6,6	6,3	7,0	6,5	5,2	4,7	6,0
И	6,7	4,0	3,5	4,6	3,7	3,3	3,5	3,3	3,9	4,4	3,9	4,3	4,1
М	8,5	9,2	10	10,0	9,6	10,2	9,4	9,1	8,6	8,4	8,6	8,5	9,2
Д	7,3	7,7	7,6	7,7	7,3	7,2	7,0	6,8	6,6	7,3	7,4	7,5	7,3

**Примечание:** П – Пенджикент, С – Сангистон, И – Искандеркуль, М – Мадрушкат, Д – Дехавз.

Выявлено (табл. 4.8), что самая высокая скорость ветра в Пенджикенте достигает 53 м/с, в Сангистоне – 14 м/с, в Искандеркуле – 12 м/с, в Мадрушкате – 22 м/с и в Дехавзе – 17 м/с. Поэтому, согласно [236-240], использование ветроэнергии является перспективным в отдельных регионах РТ, где его скорость достаточно велика (более 5-6 м/с – Худжанд, Гулистан, Файзабад, Хобурбад, Шахристан, Анзоб) и ветроустановки могут применяться для выработки электроэнергии, подъема воды, размолла зерна и др. Наряду с этим, по расчетам [228-233], обычно турбины ветроустановки имеют мощность 250-

750 кВт, а стоимость выработки электроэнергии на них прямо зависит от среднегодовой скорости ветра и местных условий, и за 1 кВт/ч колеблется от 0,03 долл. США (10 м/с) до 0,12 долл. США (5 м/с).

Таким образом, «проведенные технико-экономические оценки стоимости ветроустановки дают значение 1000-1500 долл. США проектной мощности» [224]. При преобладающем применении гидроэнергии использование ветроэнергии оправдано в определенных районах в качестве автономных или дополнительных ВИЭ небольших мощностей. Хотя ветроэнергетика не имеет большого промышленного значения в горной районе, но может в то же время решать важные социальные задачи, обеспечивая энергией отдаленные районы, фермерские хозяйства, пастбищные и пчеловодческие кооперативы и т.п. [231-232]. Необходимо отметить, что «эффективное использование ветроустановок возможно при среднегодовой скорости ветра более 5 м/с, а такая скорость наблюдается только на Ванджяхе. Однако в пределах РТ имеется ряд районов, включая некоторые суббассейны БРЗ, которые выше перечислили, где его среднегодовые скорости колеблется в пределах 3,5-4,7 м/с, где возможно использование ветроустановок небольшой мощности для обеспечения малоэнергоемких объектов» [234]. Наблюдения показывают, что в большинстве суббассейнов БРЗ, где среднегодовые скорости не велики и значительна повторяемость штилей, ветроустановки, даже легкие, будут работать с длительными простоями. Поэтому здесь можно комплексное использование ветроэнергоресурсов, с аккумулярованием энергии в период сильного ветра, с гелиоустановками.

#### **4.3. Концептуальная модель регионального обеспечения водно-энергетической безопасности в условиях изменения климата**

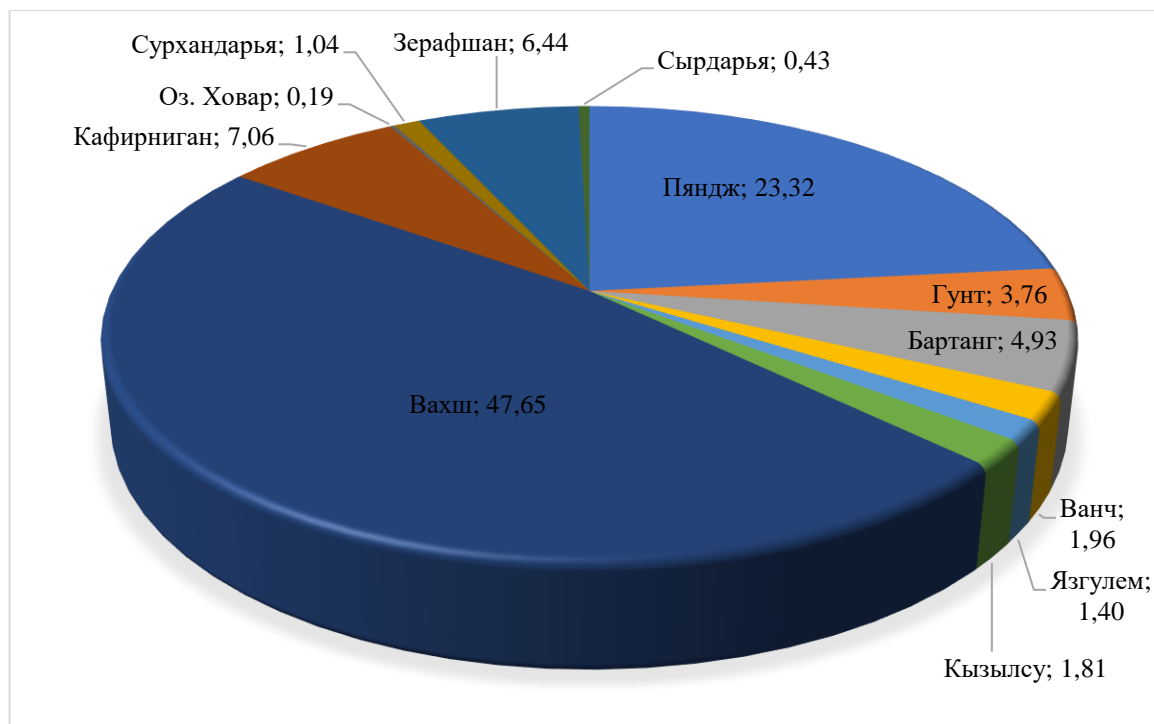
Географическое положение и орографические условия РТ обусловило то, что на её территории сосредоточены крупнейшие гидроэнергоресурсы ЦА, где основными факторами формирующей водные ресурсы являются термический режим и атмосферные осадки, определяющие условия увлажнения и водности

речного стока, таяние ледников под воздействием метеоусловий, а также подземные воды, зависящих от поверхностных. Поэтому, «по потенциальным гидроэнергоресурсам РТ среди стран СНГ занимает 2-ое место после России, в мире занимает 8-ое место после Китая, России, США, Бразилии, Заира, Индии и Канады. По удельным запасам на душу населения приходится – 87,8 тыс. кВт/ч на чел./год – 2-ое, а по удельным запасам на единицу территории – 3,63 млн. кВт/ч на 1 км<sup>2</sup> – 1-ое место в мире» [2]. А также, согласно автору, «общая величина потенциальных запасов гидроэнергоресурсов страны составляет 527,06 млрд. кВт/ч\*г., из которых используется только 4-5%. В то же время, более 260 млрд. кВт/ч\*г. (~50%), являются технически возможными и экономико-эффективными для освоения, с учетом быстрого развития уровня техники и технологии» [2]. В целом, в РТ сосредоточено 52,1% потенциальных гидроресурсов ЦА, при удельном весе территории в 11,2% [178, 246-247].

Неоспоримым является тот факт, что освоение альтернативных гидроэнергоресурсов, является самым приоритетным направлением развития экономики республики. Вырабатываемая на ГЭС-ах электроэнергия является самая дешевая по себестоимости и экологически чистая из всех существующих способов получения энергии. Ибо, комплексное развитие гидроэнергетики вкупе с использованием потенциала других видов ВИЭ позволит не только увеличить мощность, но и будет способствовать обеспечению стабильности и повышению эффективности энергосистем, значительному сокращению вредных выбросов в среду. Анализ результатов показывают, что ее себестоимость, в 6-8 раз ниже, чем тепловая, и эта разница в будущем, по мере роста цен на традиционные энергоносители – нефть, газ, уголь, и т.д., будет только возрастать [230, 236-237].

По официальным данным МЭиВР [31, 242, 178, 246-247], среднегодовая мощность и среднегодовая выработка электроэнергии всех малых и крупных рек РТ составляют 60167 МВт и 527,06 млрд. кВт/ч\*год соответственно и приведены на рис. 4.6 доля этих показателей в общем объеме для всех рек. Отсюда ясно, что в отличие от многих стран РТ имеет в относительно большом объеме

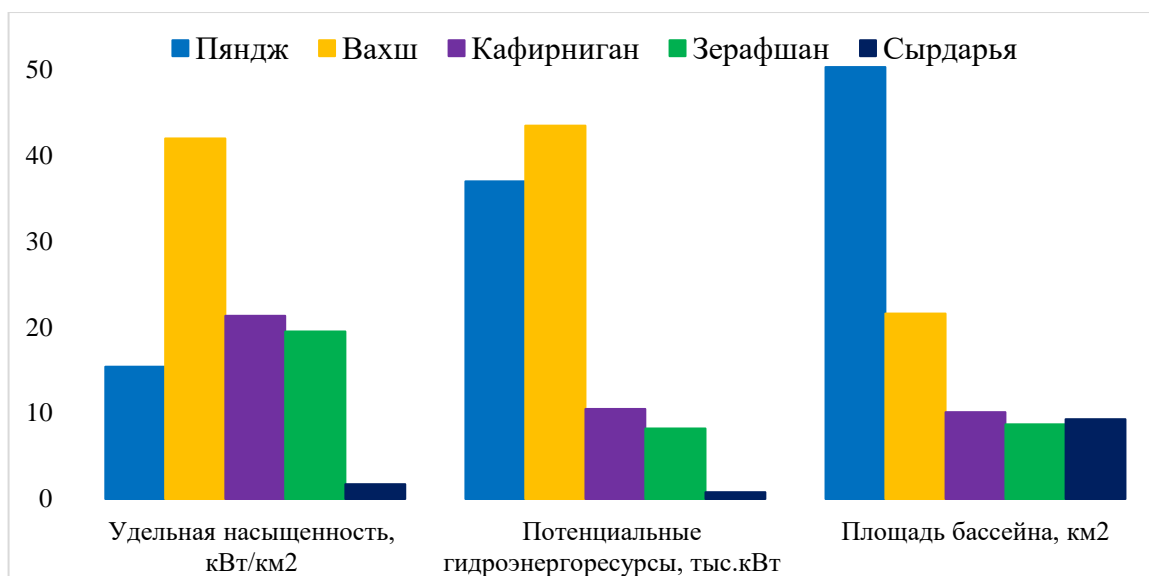
возобновляемые и экологически чистые источники энергии, основными из которых являются гидроэнергоресурсы (рис. 4.6).



**Рис. 4.6.** Потенциальные запасы гидроэнергоресурсов Таджикистана

Анализ результатов (рис. 4.6) показывают, что основное место отводится использованию гидроэнергоресурсов крупных, средних и малых рек таких, как Пяндж, Вахш, Зерафшан, Бартанг, Гунт и Кафирнихан, ресурсы которых оцениваются в 491,02 млрд. кВт. Естественно, что «на сегодняшний день пригодные для использования гидроэнергоресурсы РТ, почти в два раза превышают всю выработку электроэнергии в ЦА (150 млрд. кВт/ч\*год) и составляет 60% общего потребления первичных энергоресурсов в нём, включая уголь, нефть и газ. При этом гидроэнергоресурсы практически равномерно распределены по всей территории страны и имеются в достаточном количестве не только на крупных, но и также на мелких реках» [2]. Также, результаты подтверждают, что «потенциал гидроэнергоресурсов РТ определяется установленной среднегодовой мощностью в 51,8 млн. кВт, из которых 63% составляет потенциал 511 учтенных рек и 37% потенциал рек, длина которых меньше, чем 10 км и потенциал стока склонового характера» [230]. С учетом вышеизложенных

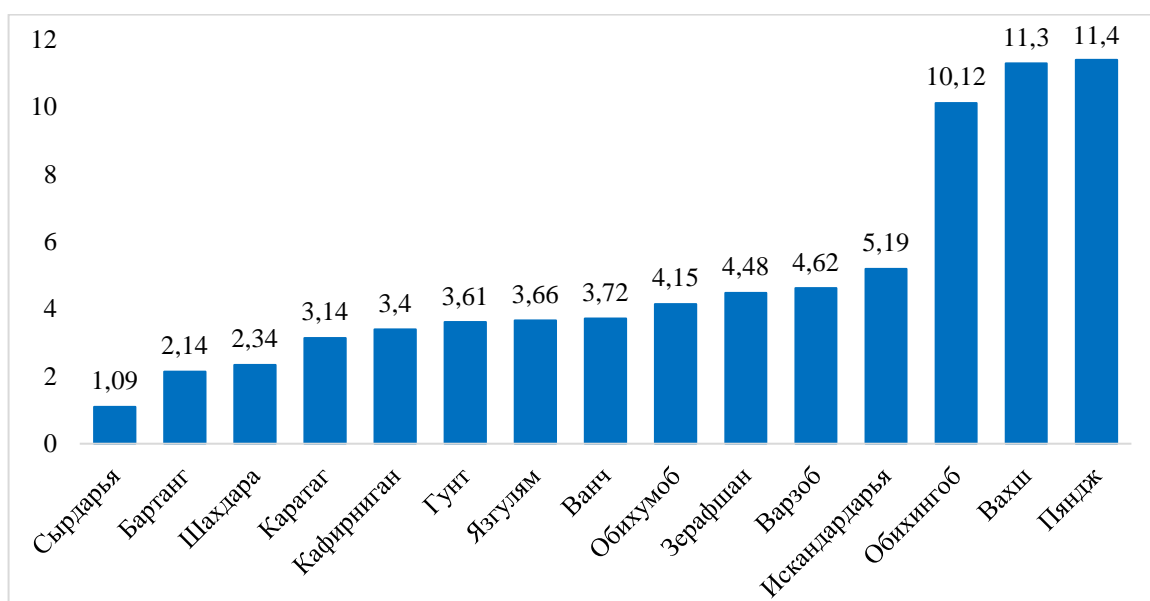
данных и проведенного анализа, распределение потенциала гидроэнергоресурсов по бассейнам рек РТ показано на рис. 4.7.



**Рис. 4.7.** Гидроэнергетические ресурсы РТ по бассейнам рек

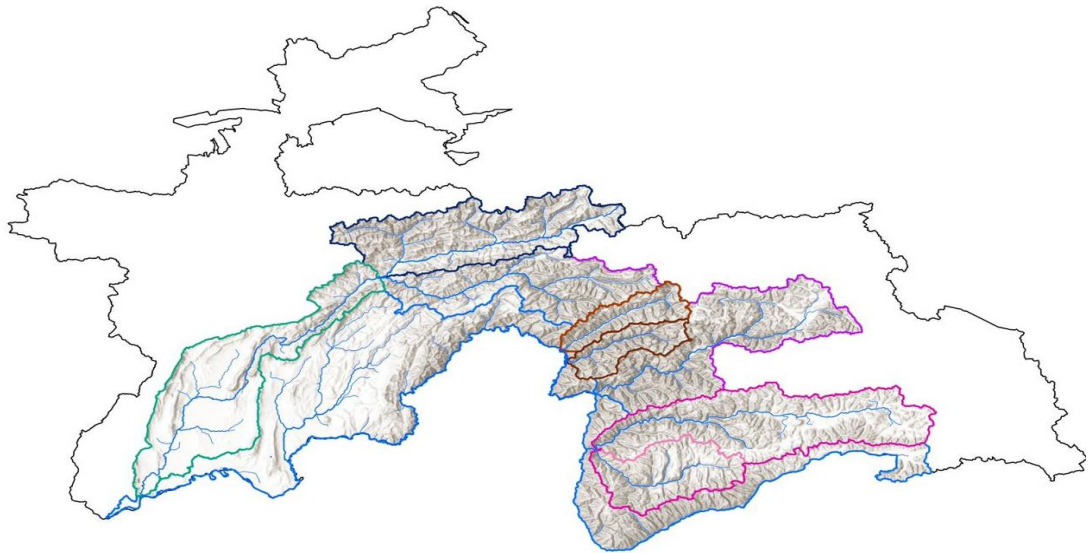
Результаты (рис. 4.6-4.7) показывают, что «вместе с тем крупные ГЭС строятся на руслах больших рек и выработанную электроэнергию выгодно использовать в крупных промышленных центрах и населенных пунктах. Протягивание линий электропередачи от крупных ГЭС к небольшим населенным пунктам, разбросанным по горным и высокогорным территориям РТ, становится нерентабельным. Для таких населенных пунктов, расположенных недалеко от небольших рек и ручейков, целесообразно использование мини- и микро-ГЭС мощностью от десятков до 1000 кВт» [228-230]. В сочетании с другими ВИЭ они могут стать эффективными источниками энергообеспечения. Поэтому пристальное внимание в государственных стратегиях и программах РТ, «уделяется и малой гидроэнергетике, общий потенциал которого составляет более 21000 МВт и при этом почти 50% из них технически пригодны к освоению уже сегодня» [234, 248-250]. Здесь необходимо отметить, что согласно закону, ГЭС в зависимости от мощности выработки электроэнергии разделяются на следующие: «1) крупные ГЭС-ы с мощностью 30 МВт; 2) микро-ГЭС – до 100 кВт; 3) мини-ГЭС – от 101 до 1000 кВт и 4) малы-ГЭС – от 1001 до 30000 кВт» [234].

В то же время, на основе анализа научных источников [228-229], на рис. 4.8 показано разделение потенциальных, технических гидроэнергоресурсов РТ по крупнейшим рекам и их притокам, а также технически допустимые и практически используемые такие ресурсы. Необходимо отметить, что в целом по республике величина мощности основного створа реки превосходит величину мощности притоков. Согласно данным, «в РТ технически допустимые к применению гидроэнергоресурсы насчитываются: 19,3 ГВт по производительности и 143,6 млрд. кВт/ч по выработке» [230].



**Рис. 4.8.** Удельная мощность средних и крупных рек Таджикистана

В виду того, что, что большинство рек РТ – Ягноб, Зерафшан, Вахш, Кафирниган, Обихингоб, Сурхоб, а также основные составляющие р. Пяндж – Вандж, Язгулям, Бартанг, Гунт, Шохдара, Памир и другие реки, расположены параллельно друг другу, то одним из основных подходов регулирования речного стока и развития энергетического, промышленного, экономического и сельскохозяйственного секторов республики является разработка и внедрены схемы межбассейнового регулирования стока рек, за счет переброски из другого водораздела и перераспределения в маловодные периоды, для организации работы каскадных ГЭС в постоянном режиме. Именно с этой целью на рис. 4.9 показана схема параллельного расположения основных притоков зона формирования бассейнов рек Пяндж и Вахш.



**Рис. 4.9.** Схема расположения основных притоков рек Пяндж и Вахш

Вышеизложенное позволяет отметить, что такой подход подразумевает разработку нового способа межбассейнового регулирования речного стока [251], путём его переброски из другого водораздела и перераспределения в маловодные периоды, для организации работы каскадных ГЭС в постоянном режиме. Потому что, технический результат этого изобретения [251], заключается в повышении надёжности работы ГЭС-й и поддержки верхнего бьефа выше расчётной отметки объёма воды.

Сущность названного изобретения заключается в том, что «для повышения эффективности существующих каскадных ГЭС с водохранилищами сезонного и многолетнего регулирования, находящегося в одном бассейне, в параллельно идущем речном бассейне, дополнительно строят плотину, водохранилища с водосбросом и осуществляют проходку межбассейнового водоподводящего туннеля в условиях горной местности и на входном портале туннеля монтируют затворы для регулирования объёма подачи воды» [2, 251]. Проходку межбассейнового водоподводящего туннеля осуществляют с двух сторон, с железобетонной обделкой и снабжают вертикальными аэрационными шахтами для обеспечения нормального гидравлического режима.

Межбассейновое перераспределение стока в маловодные годы способствует повышению энергоэффективности реки бассейна, в особенности при каскадном строительстве ГЭС, а дополнительный сток покрывает имеющийся

дефицит стока в маловодный период года. В частности, реализация межбассейнового перераспределения стока осуществляется за счет строительства плотины на р. Вандж, создавая при этом водохранилище с водосбросом, с межбассейновый водоподводящей туннелем, позволяющий осуществить переброску требуемого объема воды из водораздела р. Вандж и повысить ее сток.

Поскольку в настоящее время на территории РТ единственный каскадных ГЭС действует на реке Вахш (рис. 4.10) [30], поэтому для получения рабочего уровня водохранилища и поддержания верхнего бьефа выше расчётной отметки объема воды в этих каскадах в маловодные периоды необходимо строительство соединительного водоподводящего туннеля для переброски стока реки из водораздела р. Вандж в сток р. Обихингоб поступающий в бассейне р. Вахш.

Для осуществления межбассейнового перераспределения стока реки дополнительно строят плотину на реке Ванч для создания водохранилища с водосбросом, межбассейновый водоподводящий туннель, позволяющий в условиях горной местности перебросить требуемый объем воды из водораздела р. Ванч и повысить ее сток. Полученный дополнительный сток реки покрывает дефицит стока в маловодные периоды года. На русле р. Вандж строят плотину небольшого водохранилища с водосбросами и гидротехническими сооружениями с автоматическими затворами, которые постоянно находятся в открытом положении.

Поддержание рабочего объема воды верхнего бьефа каскадных гидростанций на р. Вахш, способствует бесперебойной и эффективной работе каскада ГЭС, а также от состояния водности водохранилища, устанавливают необходимый режим работы системы каскадных ГЭС. Предлагаемый способ одновременно повышает и обеспечивает приток стока в бассейн р. Вахш для эффективной и бесперебойной работы каскадных ГЭС в условиях изменения климата, снижения уровня воды и является важным фактором экономики, направленной на развитие и благополучие ниже находящихся регионов, потребляющих воду, на освоение новых земель и роста продовольственной безопасности и населения.



Результаты наблюдений за изменениями климата показывают, что имеется тенденция нехватки воды в зимние периоды времени, а в летнее время года избыток воды, влияющий на гидрологические параметры каскадных ГЭС р. Вахш. Это связано со снижением уровня воды, который препятствует бесперебойной работе каскадных ГЭС. Естественно, конечный результат таких изменений также сказывается на режим работы каскадных ГЭС, на выработку электроэнергии, в целом, на экономику. Как показали в табл. 2.5 уменьшения среднего объема стока некоторых крупных рек страны к 2050 г. по сравнению с нормой 1990 г., по научным расчетам, до 2020 г. водность р. Вахш было выше средней примерно на  $0,7 \text{ км}^3$ , а затем наступит маловодный период, который продлится до 2050 г.

Отсюда ясно, что энергетический сектор, особенно гидроэнергетика, «в РТ тесно зависит от климатических изменений, поэтому в условиях изменения климата особую роль следует отводить разработке концептуальной модели оптимального управления по обеспечению водно-энергетической безопасности республики и региона в целом» [2, 246-247]. И оптимизацию системы управления водными ресурсами необходимо вести на организационном, технико-экономическом уровнях, а также выполнение организационных и экономических мер должно касаться внутригосударственного и международного уровней. Именно с учетом этой проблемы автором диссертации совместно с другими учеными предложено изобретение, которое относится «к системе управления водно-энергетической отрасли, а именно к системе управления выработки электроэнергии и аккумулировании речного стока в водохранилище» [252].

Сущность данного изобретения состоит в том, что «управляя выработкой электроэнергии и речного стока крупными водохранилищами, создать возможность наиболее полно и эффективно использовать природные водные ресурсы: аккумулировать воды в период половодий; увеличить водность рек в период маловодья» [2, 252]. Система управления водноэнергетической отрасли представлен на рис. 4.11, которая состоит из: «Центральное

диспетчерское управление, ЦДУ» (1); «Показатели производимой электроэнергии» (2); «Показатели потребляемой электроэнергии и водных ресурсов на нужды ирригации и водоснабжения» (3); «Гидропосты» (4); «Рогунская ГЭС с водохранилищем многолетнего регулирования» (5); «Нурекская ГЭС с водохранилищем многолетнего регулирования» (6); «Малые и средние ГЭС бассейна Вахш с водохранилищами сезонного и суточного регулирования» (7); «Малые и средние ГЭС других бассейнов с водохранилищами сезонного и суточного регулирования» (8); «Тепловые электрические станции» (9); «Другие виды источников электроэнергии» (10); «Ирригационные системы и системы водоснабжения» (11); «Входы и выходы системы» (12); «Передача сведений объёмов речного стока из гидропостов в ЦДУ» (13); «Осадки» (14); «Управляющий сигнал о переводе режима выработки электроэнергии в режим аккумуляирования воды» (15); «Управляющий сигнал по производству электроэнергии, регулированию системы ирригации и водоснабжения» (16); «Общая линия энергетической сети»; «Линии связи» (18).

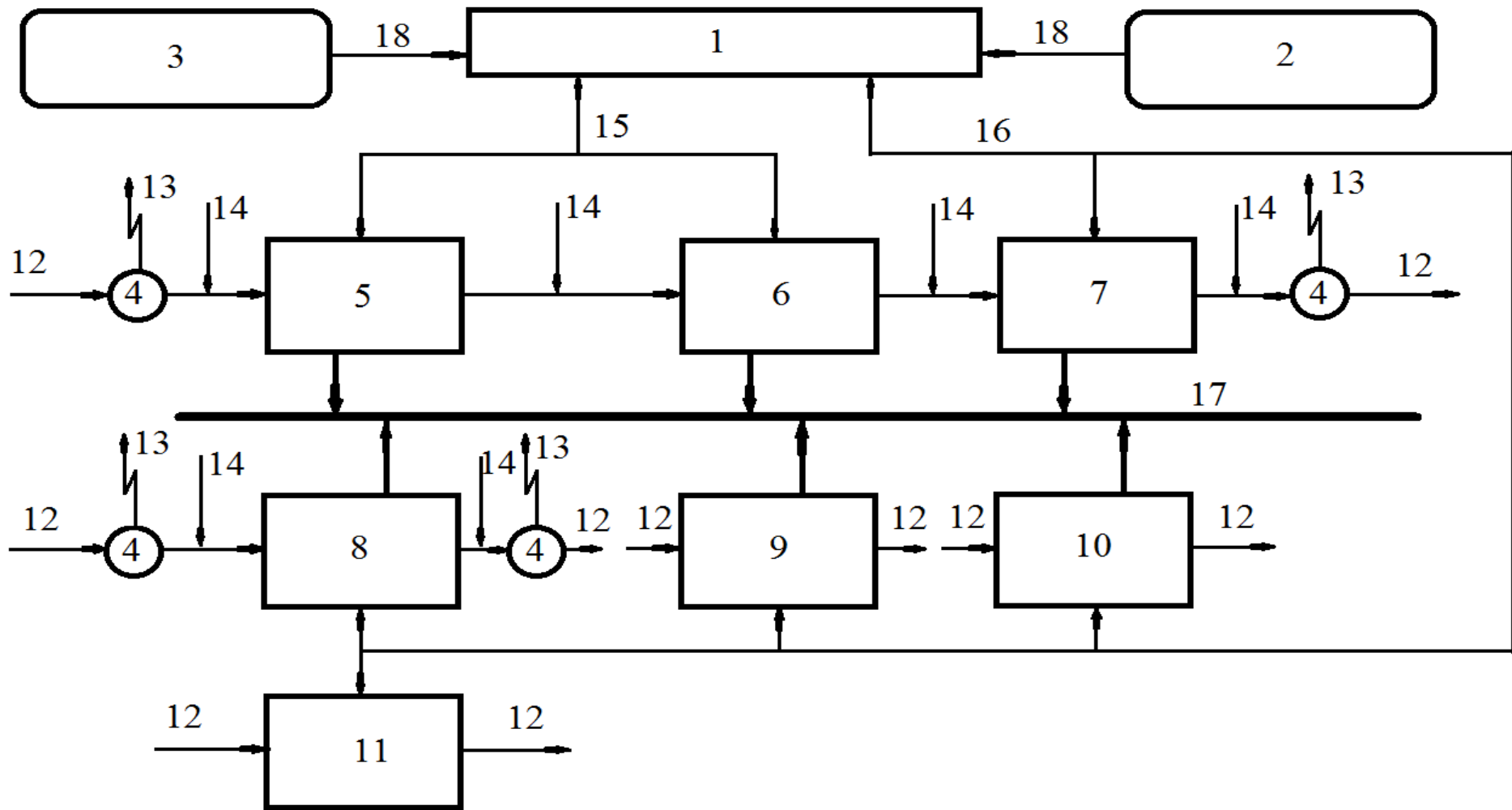


Рис. 4.11. Система управления водно-энергетической отрасли

Выявлено (рис. 4.11), что данная система включает оптимизацию управления водо-энергетической отрасли на региональном уровне, переход от административного метода управления на системный метод управления в пределах гидрографических, энергетических и потребительских показателей.

Информация из измерительно-информационных устройств об объёме поступающей воды из гидропостов 4 на входе и выходе бассейнов рек и каскада водохранилищ и количество осадков 14 по линии спецсвязи 13, вырабатываемый объём электроэнергии из ГЭС с крупными водохранилищами 5, 6 по линии связи 15, малые и средние ГЭС с водохранилищами сезонного суточного регулирования 7, 8, тепловые электрические станции 9, другие источники электрической энергии 10 и ирригационные системы и системы водоснабжения по линии связи 16, поступают в ЦДУ. Выдача мощности электрической энергии производители электрической энергии осуществляют по общей энергетической сети 17. Данные о количестве производимой энергии 2 и данные о потребляемой энергии потребителям 3 по линии связи 18 поступают в ЦДУ. При появлении избытка электроэнергии и многоводные периоды ГЭС с крупными водохранилищами многолетнего регулирования переводятся в режим аккумуляирования воды 15 и снижением выработки электроэнергии, а в маловодные периоды в режим выработки электроэнергии.

Согласно авторов, «система управления имеет следующие преимущества: удовлетворяет базовые потребности людей в безопасной питьевой воде и в благоприятных санитарно-гигиенических условиях; обеспечивает продовольственную безопасность; защищает экосистему и обеспечивает её целостность; управляет водными ресурсами на основе определения ценности воды в экономическом, социальном, экологическом, культурном аспектах; обеспечивает безопасность эксплуатации гидротехнических сооружений; обеспечивает максимальную выработку электроэнергии» [2, 246-247, 252]. А также, «данная система на базе Рогунского, Нурекского и планируемого Даштиджумского водохранилище многолетнего регулирования позволяет обеспечить водно-энергетическую безопасность РТ, а с включением в состав системы Токтогульского и

Камбаратинского водохранилищ многолетнего регулирования позволяет обеспечить водно-энергетическую безопасность ЦА» [2, 178].

Общеизвестно, что Рогунский гидроэлектроузел является наиболее крупным на р. Вахш, обеспечивающим наиболее эффективную работу каскада. Осуществляя многолетнее регулирование стока, Рогунская ГЭС не только увеличит общую выработку электроэнергии каскада ГЭС на р. Вахш, но и самое главное, позволит ему вырабатывать базисную энергию, которая будет иметь, прежде всего, региональное значение. В настоящее время гидроузел сохраняет свое комплексное назначение и может работать как в чисто энергетическом режиме, без нарушения сложившейся на сегодняшний день водохозяйственной обстановки в бассейне р. Амударья и в БАМ, так и в режиме с приоритетным ирригационным направлением.

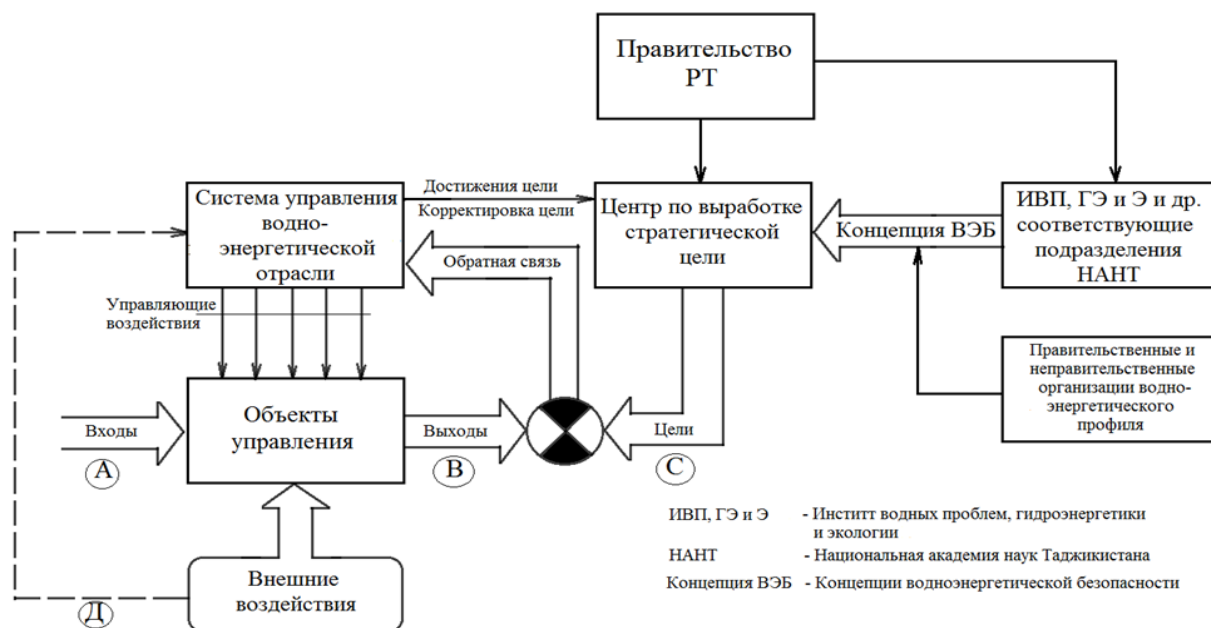
В целом, водно-энергетическая безопасность страны может быть достигнута обеспечением: «безопасной и надежной эксплуатации оборудования ГЭС; безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений; рекомендаций по использованию водно-энергетических ресурсов; обоснованных решений установления режимов сработки и наполнения водохранилищ; выработки рекомендаций по управлению функционированию водохранилищ; максимальной выработки электроэнергии и эффективных режимов ирригационных систем за счет выбора оптимальных водно-энергетических режимов ГЭС и каскадов ГЭС при выполнении ограничений, определяемых уполномоченными структурами» [2, 178, 246-247, 252].

Для достижения вышеупомянутых целей по обеспечению водно-энергетической безопасности отрасли решение следующих задач являются чрезвычайно важным: определение объемов полезного притока к створам ГЭС; проверка и обеспечение совместимости ограничений на технические возможности водно-энергетических режимов ГЭС и каскады ГЭС; определение оптимальных сроков вывода оборудования в текущий и капитальный ремонт; расчет допустимых водно-энергетических режимов ГЭС и каскадов ГЭС; оптимизация водно-энергетических режимов управления ГЭС и каскадов ГЭС;

формирование графиков работы ГЭС, обеспечивающее максимально полное использование водных ресурсов при обеспечении установленной мощности гидроагрегатов; формирование и согласование предложений по водно-энергетическим режимам с диспетчерским управлением водно-энергетической системы и структурами по установлению режимов сработки и наполнения водохранилищ.

Важная роль в водохозяйственном комплексе принадлежит водохранилищам, которые обеспечивают регулирование и перераспределение во времени стока рек, гарантированное водоснабжение населения, защиту территорий от паводков. Для решения этой задачи необходимо разрабатывать эффективную систему управления и контроля, обеспечивающую регулирование стока водохранилища в соответствии с требованием водно-энергетической системы. Наиболее полным и целесообразным использованием речной сток для удовлетворения нужд водно-энергетической системы является его регулирование крупными водохранилищами многолетнего регулирования, позволяющими перераспределение во времени объёма и стока в соответствии с требованиями водно-энергетической системы. Для решения вышеупомянутые цели и задачи необходимо разрабатывать концептуальную модель оптимального управления по обеспечению водно-энергетической безопасности, особенно в условиях изменения климата (рис. 4.12).

Концептуальная модель управления водно-энергетической отрасли позволяет наиболее полно и максимально эффективно использовать водные ресурсы для нужд системы водоснабжения (питьевая вода, коммунальное хозяйство, сельское хозяйство, санитарно-гигиенических услуг), сельского хозяйства, ГЭС, рыбного хозяйства и рекреации (рис. 4.12).



**Рис. 4.12.** Концептуальная модель управления водно-энергетической безопасности

Научным сообществом разрабатывается концепция водно-энергетической безопасности страны, на основании которой Центр по выработке стратегической цели формирует общую политику достижения поставленной цели.

«Объекты водно-энергетической отрасли под действием внешних воздействий управляется системой. Реализация намеченной цели со стороны объектов управления сравнивается с поставленной целью. Результат сравнения цели по обратной связи поступает в систему управления водно-энергетической отраслью. В случае полного достижения цели, система управления сообщает Центру о достижении цели, в противном случае система управления запросит корректировку цели» [2, 178, 252]. В табл. 4.9 представлены входные и выходные параметры объекта управления, состав цели и виды внешних воздействий.

**Таблица 4.9.** Входные и выходные параметры и цели

А	В
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Объём стока воды;</li> <li>- Материалы;</li> <li>- Осадки;</li> <li>- Экологические проблемы;</li> <li>- Испарения;</li> <li>- Фильтрация;</li> <li>- Селевые явления;</li> <li>- Заиление водохранилища;</li> <li>- Качества воды.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Энергетические;</li> <li>- Ирригационные;</li> <li>- Водоснабжение;</li> <li>- Объём стока воды в низовья;</li> <li>- Качества воды;</li> <li>- Эксплуатационные характеристики;</li> <li>- Холостой сброс.</li> </ul>

<b>Продолжение таблицы 4.9</b>	
<b>С</b>	<b>Д</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Корректировка цели;</li> <li>- Реконструкция генерирующих мощностей;</li> <li>- Ввод новых водно-энергетических объектов;</li> <li>- Ввод новых ирригационных систем;</li> <li>- Аккумуляция воды.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Климатические условия и риски безопасности;</li> <li>- Непрогнозируемые условия;</li> <li>- Землетрясения;</li> <li>- Эндогенные и экзогенные процессы в береговой зоне водохранилища.</li> </ul>

Преимуществом концептуальной модели по оптимизации управления водно-энергетической отраслью на региональном уровне, заключается в переходе от командно-административного метода управления на системный метод управления в пределах гидрографических, энергетических и потребительских параметрах. В многоводные периоды и избытка электроэнергии ГЭС с крупными водохранилищами многолетнего регулирования переводятся в режим аккумуляции воды и снижением выработки электроэнергии, а в маловодные периоды в режим выработки электроэнергии.

## **Глава V. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ, СВЯЗАННЫЕ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ**

### **5.1. Исследования опасных природных явлений горно- предгорной зоны, в условиях изменения климата**

Как известно, что сегодня процесс повышения температуры воздуха или глобального потепления климата можно наблюдать во всех регионах земного шара, однако эта тенденция изменчива и неравномерна в зависимости от географического положения планеты: в некоторых районах наблюдается сильная засуха, в некоторых регионах встречаются частое возникновение наводнений и ливней, и в некоторых районах одновременно происходит несколько ОЯ и СГЯ. Ибо, «в последние годы количество наводнений, штормов, аномальной жары, засух и других явлений, связанных с экстремальными изменениями метеоусловий, составляют более 90% крупных стихийных бедствий, и ожидается, что из-за изменения климата количества и интенсивности таких явлений снова возрастут» [253]. В частности, согласно ВМО, «с 1980 г. прошлого столетия общий риск заболевания или смерти из-за потепления климата постоянно возрастал, и в настоящее время примерно 30% населения планеты проживает в климатических условиях, где они испытывают до 20 дней смертельной температуры в году» [253].

С точки зрения метеорологии повышение температуры воздуха вызывает изменение количества и распределения осадков в земном шаре, дождей выпадает больше в умеренных и высоких широтах и меньше в тропических и субтропических районах. Иначе говоря, атмосфера становится более влажной, и в зависимости от географических широт и орографических условий могут усиливаться наводнения, засухи и другие ОЯ, и СГЯ. В то же время, потепление климата приводит к переносу ареала биологических видов в полярные районы, увеличение вероятности вымирания мелких видов – стали жителями прибрежных районов и островов, вызывает появление экологических вынужденных

мигрантов. Например, по расчетам ученых из Вашингтонского университета [254], если в 80-х годах XX века на планетарном масштабе происходило в среднем 100-120 природных явлений в течении года и с 2000 года количество штормов, наводнений и других ОЯ и СГЯ ежегодно увеличивается в 5 раз. В последние годы участились засухи, увеличилась продолжительность сезона муссонных дождей и в глобальном масштабе наводнения и штормов составляют 71% стихийных бедствий, произошедших в 1990-2019 гг. Согласно полученным данным, с 60-х годов прошлого столетия количество стихийных бедствий, связанных с погодой и климатом, выросло в десять раз: с 39 случаев в 1960 г. до 396 явлений в 2019 г. (табл. 5.1). Только в 2005 г. произошло 442 крупных стихийных бедствий, в результате которых 160 млн человек нуждались в немедленной помощи и погибло более 90 тыс. человек.

**Таблица 5.1.** Общее количество глобальных катастроф за 1990-2019 гг.

<b>Тип катастрофы</b>	<b>Количество</b>	<b>Процент (%)</b>
Наводнение	4119	41,5
Шторм	2942	29,6
Землетрясение	818	8,2
Оползень	551	5,6
Экстремальная температура	524	5,3
Засуха	475	4,8
Лесной пожар	341	3,4
Вулканическая активность	154	1,6
<b>Всего</b>	<b>9924</b>	<b>100</b>

**Источник:** Institute for Economics & Peace, 2020 [254].

Анализ результатов показывают, что за 1970-2010 гг. из-за СГЯ и других стихийных бедствий природно-климатического характера погибли ~3,3 млн (в среднем 82 500 чел./г.) людей [255]. Одновременно, по данным ВМО [256], в результате таких явлений погибли более 5 тыс. человек, непосредственно пострадали 50 млн людей и их экономический ущерб составили более 36 млрд. долларов США. В целом, экономический ущерб от засухи, произошедшей в течении 2022 г. примерно на 200% (2,6 млрд \$) превышает среднюю величину ущерба от засух за 2002-2021 гг. Таким образом, согласно [257-258], наиболее крупные

стихийные бедствия произошли в период 2000-2010 гг. и нанесли большой финансовый и человеческий потери:

**Таблица 5.2.** Наиболее крупные СГЯ в разных регионах мира

<b>Стихийные бедствия</b>	<b>Страна, регион</b>	<b>Годы</b>	<b>Жертва, млн. чел.</b>	<b>Ущерб, млрд. \$</b>
Засуха	Индии	1965-67	1,5	–
Ураган	Бангладеш	1970	0,3	–
Жара	Европа	2003	0,035	–
Цунами	Тихий океан	2004	0,23	81
Ураган	США	2005	0,002	–
Циклон	Мьянма	2008	0,014	12
Наводнение	Пакистан	2010	0,002	43
Засуха	США	2010-11	–	5,2
Засуха	Китай	2022	–	7,6
Засуха	Индия	2022	–	4,2
Жара	Европа	2023	0,015	–

Последствия изменения климата часто проявляются в виде наводнений или засух. Кроме того, изменение климата выражается в большей изменчивости климата и в следующих друг за другом крупных явлениях экстремальной погоды, которые резко ослабляют устойчивое развитие. Также, основными последствиями изменения климата являются либо значительный недостаток воды, либо сильное затопление водой (паводки). Согласно «Группы экспертов и руководителей высокого уровня по вопросам воды и стихийных бедствий», «на долю стихийных бедствий, связанных с водой, приходится 90% из 1000 наиболее серьёзных таких явлений, имевших место с 1990 г. Стихийные бедствия, связанные с водой в 2018 г. привели к гибели 6,5 тыс. людей, затронули источники средств к существованию более 57 млн человек и их экономический ущерб во всём мире составил 140 млрд долларов» [259].

Отсюда ясно, что воздействие изменения климата, особенно повышение температуры приземного атмосферы увеличивает вероятность возникновения стихийных бедствий, связанных с погодой и климатом. Потепление климата, в свою очередь, увеличивает риск засух и интенсивности штормов, а также вызывает появление влажных муссонов. Такая ситуация и тенденция чаще

наблюдается при изменении интенсивности засух, штормов, наводнений, аномальных температур и лесных пожаров. В процессе усиления экстремальных погодных явлений и стихийных бедствий, связанных с климатом, природные ресурсы, такие как земля и вода, становятся более уязвимыми. Негативное воздействие СГЯ и их последствия зависят от интенсивности отдельных явлений, т.е. они могут быть малой интенсивности и происходить часто и ещё могут быть разовыми явлениями с огромным ущербом. Например, как показано в табл. 5.1, наводнение является одним из наиболее распространенных стихийных бедствий сравнительно небольшой интенсивности и на его долю приходится 42% от общего числа таких явлений (9924 бедствий) за 1990-2019 гг. В отличие от наводнений, «цунами является разовым явлением высокой интенсивности, и в ряде стран Юго-Восточной Азии в 2004 г. произошло цунами, которое привело к гибели более 220 000 человек и нанесло огромный ущерб всему региону» [254].

Наряду с данными табл. 5.1 и 5.2, по мнению Фрумина Г.Т., «за последние 50 лет количество природно-климатических катастроф на планетарном масштабе увеличилось почти в 3 раза. Наиболее распространенными СГЯ в земном шаре являются тропические штормы и наводнения (32%), землетрясения (12%), засухи (10%) и другие явления (14%) [258]. Таким образом, согласно расчетам, «среди континентов наиболее подверженными действию опасных природных процессов являются Азия (38%) и Северная и Южная Америка (26%), а также Африка (14%), Европа (14%) и Океания (8%)» [259].

В то же время, статистические данные ВМО [260-261] свидетельствуют, что большинство людей умирают от последствий ОЯ и СГЯ, и в этой процессе природные геологические катастрофы и техногенные ЧС занимают вторым и третьим местом, соответственно. А также «80% потерь во всем мире является следствием бедствий, связанных с погодой, климатом и водой: штормов, наводнений, засух» [133]. Параллельно с этим, выявлено, что число техногенных катастроф в мире, особенно транспортных происшествий, резко возросло с конца 70-х годов прошлого столетия. В то же время несмотря на то, что

страны Европы и Северной Америки имеют более плотную инфраструктуру, чем другие страны континентов, но большое количество жертв таких катастроф можно увидеть в Африканском и Азиатском континенте. Анализы доказывают, что за период 1901-2007 гг. во всем мире произошло 1125 промышленных аварий, в результате которых пострадало ~4,5 млн человек и погибло около 49 тыс. человек. Согласно [257], общий ущерб названных техногенных катастроф достигает 225 млн долларов США (по курсу доллара 2006 г.), и в этот период возникли многие ЧС техногенного характера в Азии (651 случай), Европе (199) и Америке (177).

Анализы показывают, что большая часть ОЯ тесна связан с состоянием и изменением метеоусловий и гидрологических величин. Уже неоднократно упомянули, что за последние более двадцать лет проблема глобального изменения климата стала одной из важнейших и привлекла внимание всего человечества. Многие ученые и эксперты подтверждают, что планета Земли угрожает глобальное потепление климата, и сегодня появляются некоторые его признаки. Тем не менее, ясно, что человек настолько радикально изменил климат планеты и даже не ожидал последствий таких изменений. С данными Списка экологических угроз [254], которые показывают глубокий рост стихийных бедствий в последние годы, в Докладе о проблемах глобальных изменений геологической среды – «Geochange» [262] отмечается, что за последние 10 лет (1999-2009 гг.) количество смертей от землетрясений на 42% выше, чем 50 лет назад, число пострадавших от цунами в этом декаде в десять раз выше, чем 100 лет назад, а за последние пять лет количество наводнений увеличилось вдвое по сравнению с пятью годами ранее.

Отсюда ясно, и вышеприведенные данные также показывают, что большинство стихийных бедствий связано с погодой и климатом, и с целями снижения риска таких катастроф в ходе Третьей Всемирной конференции в Сендае (Япония, 18.03.2015) была принята «Сендайская рамочная программа по снижению риска стихийных бедствий на 2015-2030 гг.» [263]. Названный документ является результатом трехлетних переговоров, и он включает в себе

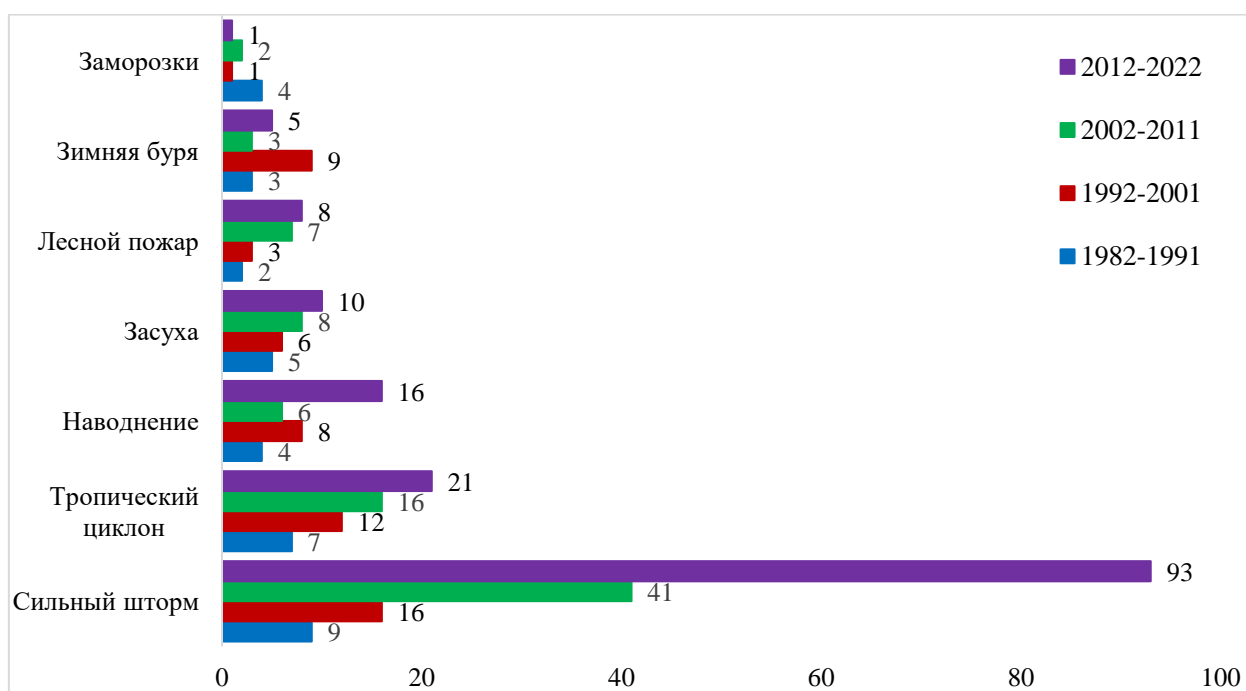
7 целей и 4 приоритета действий по снижению интенсивности и воздействия стихийных бедствий, связанных с климатом. Параллельно с этим целям и приоритетам, Сендайская рамочная программа призывает к укреплению глобальных механизмов решения гидрометеорологических проблем путем повышения осведомленности, а также к улучшению понимания риска стихийных бедствий, связанных с водой, и их последствий, чтобы внести вклад в реализацию стратегии по снижению их рисков.

Принимая во внимание вышеупомянутые идеи и данные, автор разработал схему ЧС природно-климатического характера, которые представлены на рис. 5.1. Здесь необходимо отметить, что согласно данным, по генезису все опасные природные процессы делят на следующих групп: «1) литосферные или геологические (землетрясение, оползни, сели); 2) гидросферные или гидрологические (наводнение, цунами, штормы); 3) атмосферные или метеорологические (смерч, бури, ураган и т.д.); 4) природные пожары (лесные, степные, торфяные); 5) биологические (эпидемии, эпизоотии, эпифитотии) и 6) космические (астероиды, ультрафиолетовое излучение)» [258-259].



Рис. 5.1. Схема чрезвычайные ситуации природно-климатического характера

Отсюда ясно, что чем больше изменяется климат, тем больше усложняются проблемы, связанные с водой, и увеличивается количество ОЯ и СГЯ. Ибо, по данным НОАА [264], который оценил ущербы, причиненный стихийными бедствиями с 1980 г., и связывал их возникновение с изменением климата, число катастрофа с ущербом более 1 млрд дол. увеличилось за последние 40 лет: с 3 стихийных бедствий в 1980 г. достигает на 13 явлений в 2010 г. [257]. По имеющимся данным, ~43% стихийных бедствий, нанесших ущерб более чем на млрд. долларов, произошли только в декаде 2012-2022 гг.



**Рис. 5.2.** Количество стихийных бедствий с ущербом более одного миллиарда долларов США за каждое десятилетие 1982-2022 гг.

Хотя данные, приведенные в табл. 5.1 и на рис. 5.2, были получены двумя совершенно разными организациями, однако данные цифры очень близки друг к другу, т.е. доказывают, что с глобальным потеплением климата количество и масштаба ОЯ и СГЯ возросли. Иначе говоря, со второй половины XX века социально-экономические ущербы от стихийных бедствий гидрологического цикла увеличиваются, во основном, за счет увеличения количества стихийных бедствий, связанных с погодой, и повышения уязвимости к ним. По оценке МГЭИК [265], при глобальном потеплении климата на 2°C по сравнению с

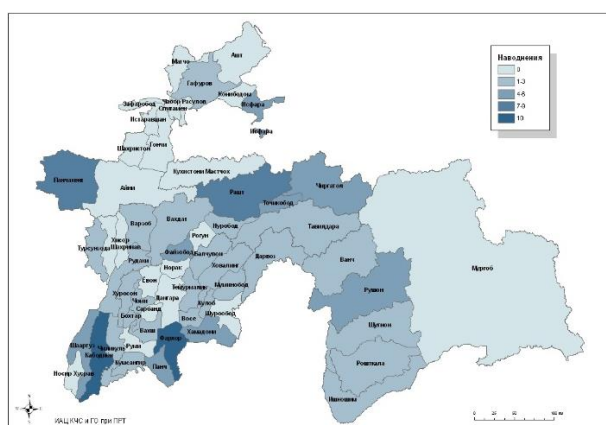
повышением 1,5°C риск интенсивных атмосферных осадков охватывает ряд горных и высокогорных районов Северного полушария, Восточной Азии и восточной части Северной Америки. Поэтому риски, связанные с наводнениями, возрастают в таких регионах, как Южная, Юго-Восточная и Северная Азия, Тропическая Африка и Южная Америка. В отличие от этой ситуации, изменение климата в ближайшие десятилетия приведет к возможности увеличения метеорологических засух (уменьшение количества осадков) и сельскохозяйственных засух (снижение влажности почвы) в большинстве районов земного шара. Согласно МГЭИК [265], при повышении глобального климата на 2°C по сравнению с 1,5°C в большинстве регионов земного шара увеличится риск засухи и дефицита осадков. В результате, в таких районах чаще случаются кратковременные или быстро нарастающие засухи, значительно уменьшается объем поверхностных и подземных вод.

Наряду с этим, по данным ВМО [266], основные силы, но не единственные, двигающие факторы изменения климатической системы, т.е. природно-океанические явления Эль-Ниньо (Ла-Нинья) за последние годы изменились (§1.1 и §1.2), и их условия расширяется и способствует возможному увеличению числа стихийных бедствий связаны с ними в разных частях земного шара. Как уже отметили, что климатические тенденции в ЦА тесно зависят от таких климатодвигающих факторов [16-17], т.е. сильное проявление ENSO вызовет возможное усиление засухи в южной части ЦА и развитие отрицательного фазы NAO способствует увеличению количества осадков в данном регионе.

Как показывают вышеприведенные данные и анализ, глобальное потепление климата оказало негативное влияние на все отрасли и привело к увеличению числа стихийных бедствий, и, следовательно, после 2000-х годов в ЦА, в частности, в РТ, было зафиксировано несколько тяжелых и разрушительных стихийных бедствий, наиболее известными из которых являются засуха в 2000-2001 гг. и холодная зима 2007-2008 гг. Здесь, важно отметить, что сильная засуха в 2000 г. нанесла ущерб 3 млн. жителей РТ (половина населения

республики на тот момент) и поставила под серьезную угрозу безопасность пищевых продуктов. Уже написали в главах I (§1.1.1) и II (§2.1), поскольку РТ имеет очень сложные географические условия и гористый рельеф, ее территория очень уязвима к изменению климата. Результаты (АГ РТ) подтверждают, что в неблагоприятные погодные условия за 2007-2008 гг. стихийным бедствиям подверглись более 40 города и районов страны, а ущерб от таких явлений составил более 100 млн \$США. Все эти явления, в свою очередь, вызывают тяжелые негативные последствия, влияют на уровень жизни населения и сокращают возможности страны для устойчивого развития. Потому что в РТ чаще наблюдаются стихийные бедствия, такие как засухи, наводнения, сели, оползни, землетрясения и явления, связанные с изменением погоды, водой и климата.

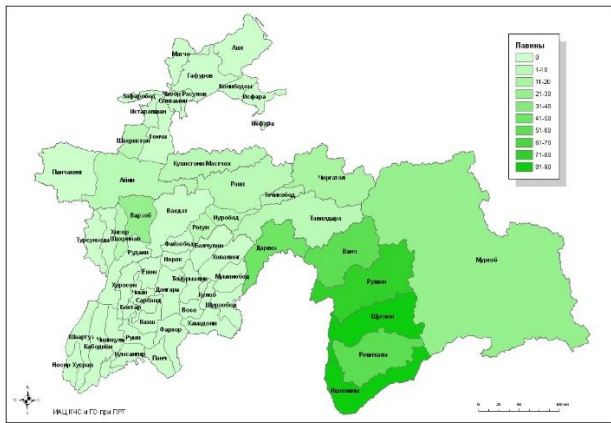
Поскольку неблагоприятные последствия изменения глобального климата отчетливо наблюдаются в РТ, эта проблема занимает значительное место в настоящих геоэкологических, экономических, сельскохозяйственных и инженерных исследованиях, и управлениями рисками в связи с климатическими колебаниями горных и предгорных районов (рис. 5.3-5.12).



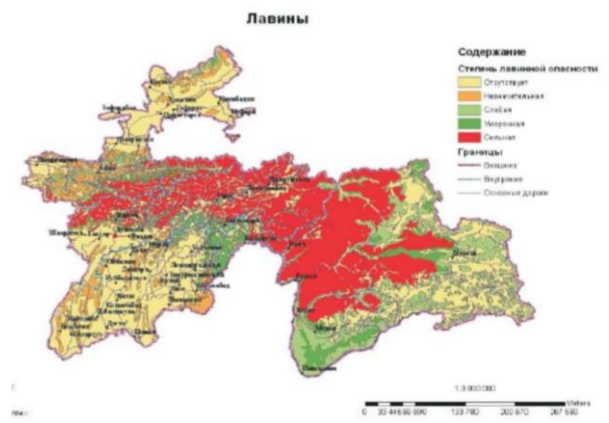
**Рис. 5.3.** Количество наводнений на территории РТ в 1997-2017 гг.



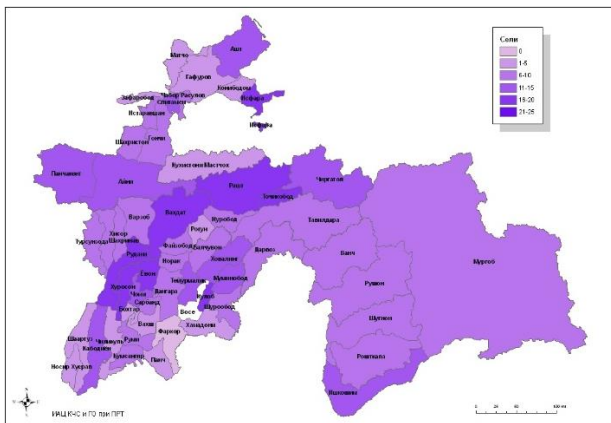
**Рис. 5.4.** Факторы окружающей среды вызывающие наводнения



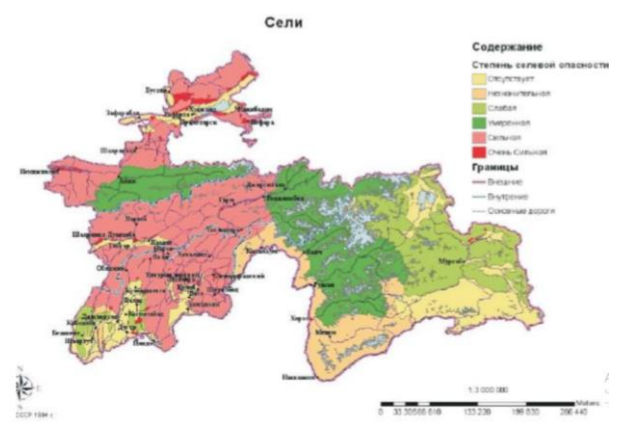
**Рис. 5.5.** Количество лавин на территории РТ в 1997-2017 гг.



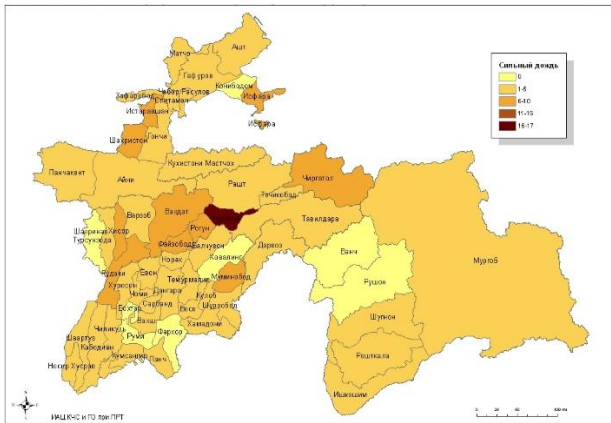
**Рис. 5.6.** Лавины на территории Таджикистана



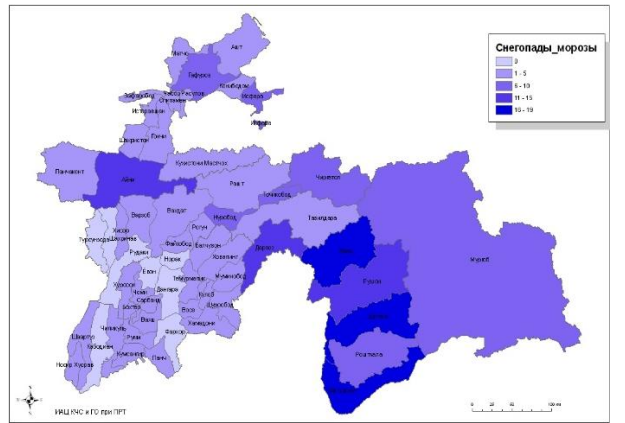
**Рис. 5.7.** Количество селей на территории РТ в 1997-2017 гг.



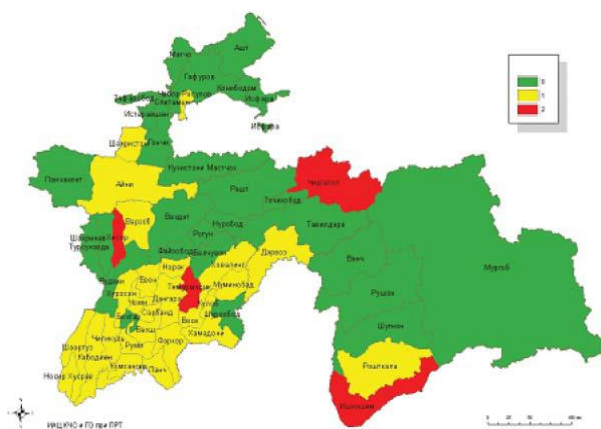
**Рис. 5.8.** Селевые явления на территории Таджикистана



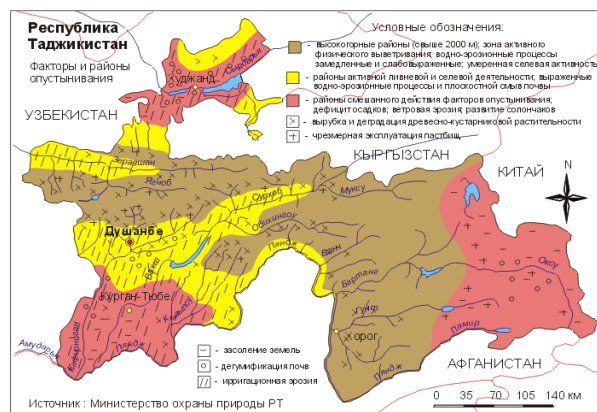
**Рис. 5.9.** Количество сильный дождь на территории РТ в 1997-2017 гг.



**Рис. 5.10.** Количество снегопады и морозы на территории РТ в 1997-2017 гг.



**Рис. 5.11.** Количество засухи на территории РТ в 1997-2017 гг. (зеленый цвет - сильные засухи не наблюдались, желтый цвет - наблюдалось одно явление, красный цвет - наблюдались два явления)



**Рис. 5.12.** Факторы и районы опустынивания на территории Таджикистана

Мониторинг и анализ результатов (рис. 5.3-5.12) показывают, что вся территория республики находится под глубоким влиянием ОЯ и СГЯ. Ясно, что рис. 5.3-5.10 и 5.11 являются административными картами РТ, а стихийные бедствия показаны по их количеству в городах и районах страны. Поэтому из этих картинок можно увидеть и сравнивается, что какой город и район относительно более уязвимы, т.е. карты 5.3-5.10 и 5.11 являются реальным подтверждением табл. 2.6.

Согласно [254, 257], хотя РТ не входит в десятку страны мира, наиболее уязвимых к климатическим изменениям и экологическим угрозам по степени риска, где входят Афганистан, Мозамбик, Намибия, Ботсвана, Чад, Эфиопия, Индия, Иран, Ирак и Кения, которые считающиеся наиболее уязвимыми к таким изменениям и угрозам, но она считается страной, подверженной высокому уровню риска, а также является частью всемирной программы Пилотной Программы по адаптации к изменению климата (ППАИК) [112]. В главах I (§1.1.1) и II (§2.2) многократно отметили, что РТ является одной из стран, которая является наиболее уязвимой к изменениям климата в Европе, Кавказе и ЦА, из-за относительно высокого воздействия изменения климата, экстремальной чувствительности к изменению климата, и крайне ограниченных

возможностей по адаптации к изменению климата. По данным оценкам, «если взять самые уязвимые страны Европы, то для Албании характерна относительно высокая подверженность воздействию изменения климата, однако в РТ структура социальной и производственной сферы такова, что данной страны, по расчётам, оказываются очень чувствительными к воздействию климатических изменений» [70, 112, 123]. Согласно данным, в РТ экономический ущерб, связанный с ОЯ и СГЯ, составляет 1-1,15 ВВП, что соответствует 25-30 млн долл. США в год, и в отдельные годы, величина ущерба может достичь 5 ВВП. Автор работы [267] нависал, что общий ущерб от ОЯ и СГЯ за 2012-2016 гг. составил более 600 млн \$США. Эти факты подтверждаются выступлением Президента РТ, председателя Госкомиссии по чрезвычайным ситуациям Эмомали Рахмон о природных чрезвычайных ситуациях за 2012-2016 гг. и он в своем речи и отметил, что: Анализ последних пяти лет показывает, что из-за изменения климата ежегодно растут случаи возникновения природных бедствий. Обобщение сведений, утвержденных комиссиями по чрезвычайным ситуациям за последние пять лет, показывает, что за этот период в стране зафиксировано 603 чрезвычайных стихийных, в результате которых погибли 127 человек и экономике страны нанесен ущерб на 600 млн. американских долларов [268]. А также, результаты анализа показывают, что объем ежегодно ущерба от изменения климата может увеличиваться с 50,4 млн долларов в 2016-2020 гг. до 132,3 млн \$ в 2030 г. В то же время, данные ВМО, свидетельствуют, что «с учетом размеров экономики ожидается, что среднегодовой потери от экстремальных метеорологических явлений в РТ достигнет максимального уровня 7,9% ВВП (7,5 млрд \$). По этим данным, наибольшую долю ущерба от экстремальных метеоявлений в Азии несут такие страны, как Китай, Индия и Япония, которые сумма потери в целом составляют ~238 млрд \$» [269].

Из вышеизложенного следует, что глобальное потепление климата приводят к увеличению количества и интенсивности ОЯ и СГЯ, охвативших географические границы большинства стран, включая РТ, и увеличится их

уязвимость к изменению климата. Таджикистан, как уязвимая страна, больше подвержена влиянию процесса изменения климата, чем другие страны ЦА. Речь Президента РТ Эмомали Рахмона, приведенные в Послании к парламенту страны (28.12.2023), разъясняют и доказывают этот момент: «В нашей стране каждый год стихийные бедствия, включая засухи, наводнения, лавины и оползни, наносят большой ущерб населению и экономике страны» [80]. Действительно, слова Лидера нации верны, «потому что за 2001-2022 гг. на территории страны ежегодно происходило, в среднем, 483 стихийных бедствия, связанных с климатом, которые нанесли большой экономический ущерб, а также привели к человеческим жертвам» [257]. В частности, за последние 5 лет (2018-2022 гг.) произошло 2118 стихийных бедствий, большинство из которых являются чисто СГЯ, такими как лавины (54,25%), сели (15,39%), камнепады (8,50%), сильные ветра (4,58%), повышение уровня воды (3,92%) и проливной дождь (2,74%) были зафиксированы. Для подтверждения этих слов, на основе ежегодные статистики КЧСиГО [270-274], авторам подготовлен гистограмма годовой суммы ОЯ, произошедших за 2001-2022 гг.

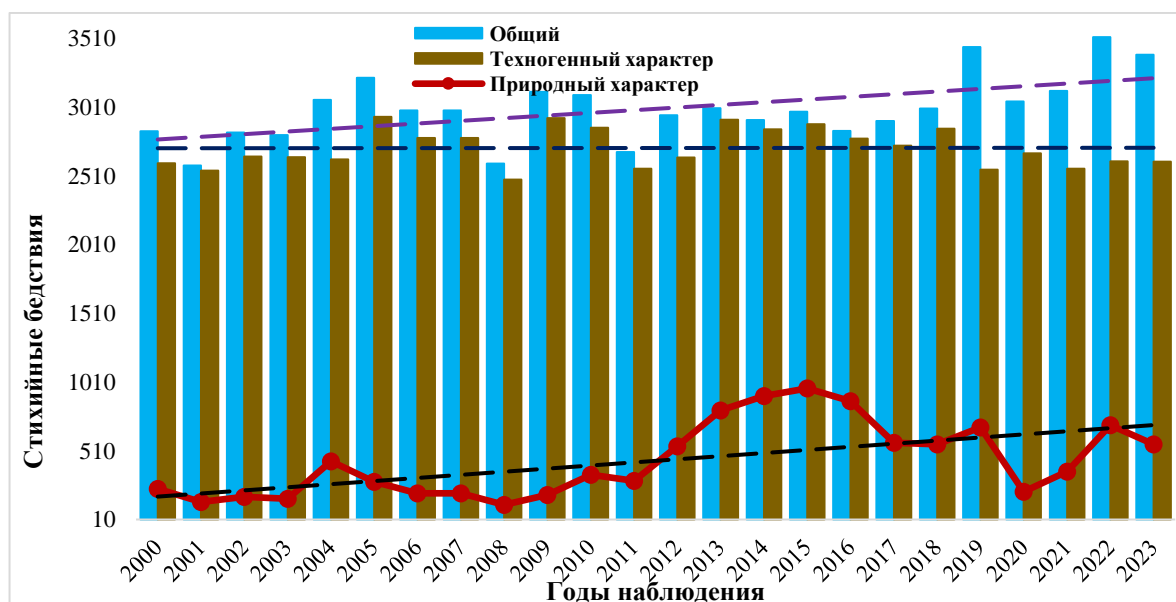


Рис. 5.13. Динамика стихийных бедствий в РТ в период 2000-2023 гг.

Согласно полученным результатам, что в последние годы с глобальным потеплением климата также увеличилось количество и интенсивность

природных катаклизмов, и гистограмма 5.13 показывает этот момент на примере Таджикистана. Анализ расчетов (рис. 5.13) показывают, что в период 2000-2023 гг. общее число стихийных бедствий увеличилось по линейному уравнению  $y = 19,382x + 2756,2$  и природно-климатических явлений по  $y = 22,641x + 153,82$ , а величины достоверности аппроксимации их диаграмм равно  $R^2 = 0,334$  и  $R^2 = 0,353$  соответственно. Значение достоверности роста стихийных явлений показывает, что за период наблюдений количество природно-климатических явлений увеличилось сравнительно больше, который рост подтверждает вышеизложенные слова. По сравнению с общим количеством явлениям и явлениям природного характера, явления техногенного характера, хотя имеют более многочисленны, чем природные явления, но за период наблюдения их количество оставалось почти неизменным и следовательно, значение достоверности диаграммы техногенных явлений равно  $R^2 = 5E-05$ . Это свидетельствует о том, что с развитием сфер деятельности и строительством новых инфраструктур, соответствующих международным стандартам, в РТ повысилась экологическая безопасность.

## **5.2. Экологические последствия и социально-экономический ущерб в условиях проявлений опасных климатических явлений**

Естественно, что в результате изменения климата в последние годы во всем мире произошли рекордные температуры, большое количество пожаров и сильных штормов, вызывающих кризисы и другие катастрофические бедствия. Согласно совместному исследованию Межправительственной научно-политической платформы по биоразнообразию и экосистемным услугам (Бонн) и МГЭИК (Женева), «резкое сокращение биологического разнообразия является одним из явных последствий из изменения климата, которое в настоящее время более 1 млн видов растений и животных находятся под угрозой исчезновения» [275-276]. Хотя эксперты МГЭИК в своем VI-ом оценочном докладе этот процесс называют «тревожным сигналом для человечества» [277],

климатические модели предсказывают чрезмерное глобальное потепление и худшие сценарии изменения климата. Например, по оценке ученых, «если глобальное потепление климата продолжится с такой тенденцией, то в конце текущего столетия (2080-2010 гг.) температура повысится на  $+2,7^{\circ}\text{C}$  по сравнению с доиндустриального периода, в результате чего более 2 млрд человек (22% населения земного шара) остаются за пределами хороших климатических зон» [278]. Поэтому снижение глобального потепления с  $+2,7^{\circ}\text{C}$  до  $+1,5^{\circ}\text{C}$ , установленное в рамках ПКС [125, 275], может сократить численность населения, находящегося под климатическими рисками, до 500 млн человек. Если сегодняшнее потепление климата менее чем на  $+1,2^{\circ}\text{C}$  привело к увеличению интенсивности и продолжительности волн жары, засух, опустынивания и лесных пожаров, по сценарию потепления климата, в будущем ожидаются новые и более стихийные бедствия.

Такая перспектива полностью соответствует тенденциям, которые наблюдаются на территории РТ уже более 20 лет (см. рис. 5.13). Отсюда можно говорить, что в последние годы не только в РТ, и в мировом масштабе отмечается увеличение количества и интенсивности ОЯ и СГЯ, которые приносят значительный ущерб хозяйственной деятельности. Влияние этих неблагоприятных явлений погоды проявляется в том, что экономика и общество несут потери, которые, несмотря на принимаемые меры защиты, часто оказываются существенными. Поэтому ни технико-экономическое планирование, ни оперативное управление производством, ни экономическое стимулирование трудящихся не должно производиться без учета характера погоды или состояния водных объектов.

В соответствии данным АГ РТ, «ежегодно в республике наблюдается, в среднем до 250-300 СГЯ, оказывающие значительное негативное воздействие на результаты экономической деятельности страны, приводящие, к сожалению, к потерям человеческих жизней» [279]. Стихийные бедствия, связанные с климатом, до 500 таких явлений ежегодно и их отрицательное влияние на

основные социально-экономические отрасли РТ выражаются ущербом от 20 до 100 млн долларов США. В частности, по данным РЭЦА, «СГЯ, произошедшие в период 1997-2009 гг., унесли жизни 933 человек и причинили ущербы на сумму 1,15 млрд сомони, а масштабные наводнения в 1998-1999 гг. нанесли ущерб на сумму 55 млн долл. США, а наводнения 1998, 1999, 2005 и 2010 гг., были наиболее разрушительными» [3]. Установлено, что с 1991 по 2000 год, ежегодные ущерб выразился в потере трети сельскохозяйственного производства. В таблице 11 представлены данные по числу погибших от ЧС природно-климатического характера на всей территории республики за последние более десять лет (2012-2023 гг.).

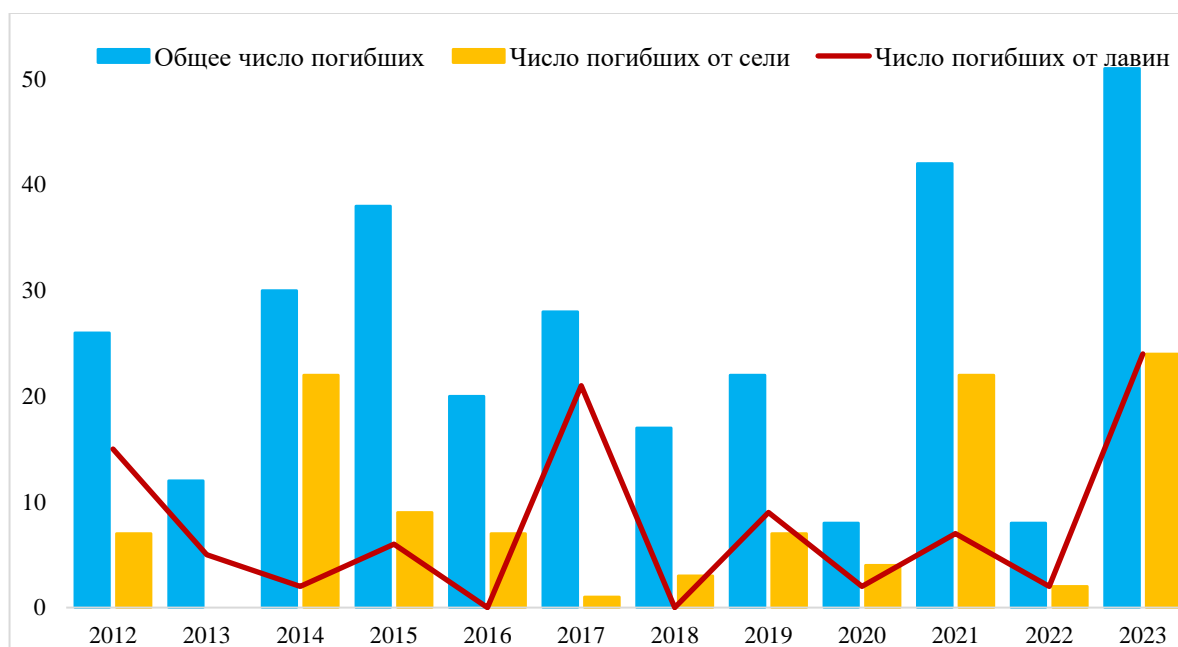
**Таблица 5.3.** Число погибших от ЧС природно-климатического характера в период 2012-2023 гг.

	Землетрясение	Лавина	Оползень	Камнепады	Сильный ветер	Сильный дождь	Туман	Гром и молния	Сели	Гололёд
<b>2012</b>	1	15	-	2	1	-	-	-	7	-
<b>2013</b>	-	5	-	5	-	-	-	-	-	2
<b>2014</b>	-	2	-	3	-	3	-	-	22	-
<b>2015</b>	3	6	-	11	-	9	-	-	9	-
<b>2016</b>	-	-	-	12	-	1	-	-	7	-
<b>2017</b>	-	21	-	3	1	-	-	-	1	2
<b>2018</b>	-	-	-	4	2	-	5	2	3	1
<b>2019</b>	-	9	-	3	2	-	-	1	7	-
<b>2020</b>	-	2	-	-	-	-	-	2	4	-
<b>2021</b>	5	7	5	2	-	-	-	1	22	-
<b>2022</b>	-	2	-	2	-	-	-	2	2	-
<b>2023</b>	-	24	1	-	-	-	-	2	24	-

*Источник: КЧСиГО РТ.*

Установлено (табл. 5.3), что на всей территории республики (2012-2023 гг.) в результате СГЯ погибли 302 человека, 82% из-за: селей (35,76%), лавин (30,79%) и камнепадов (15,56%). В то же время, выявлено что за годы исследований не было зафиксировано случаев смерти из-за селей только в 2013 г. и

из-за лавины в 2016 и 2018 гг. Анализ и оценка позволили установить, что годы с наименьшим числом погибшими были 2020 и 2022 гг. (8 случаев), а годы с наибольшим числом жертвам были 2023, 2021 и 2015 гг. (16,89%, 13,91% и 12,58%, соответственно). Вышеприведенные данные подтверждают мировые прогнозы. В частности, согласно международной статистике, период 2030-2050 гг. ожидается, что из-за климатического изменения число смертей может достигнут ~250 000 в год. Поэтому, на рис. 5.14 показаны сравнительный анализ общего числа смертей в результате ЧС природно-климатического характера, количества погибших из-за селей и числа жертв в результате лавины.



**Рис. 5.14.** Диаграмма общего числа погибших и количества жертв из-за селей и лавины в период 2012-2023 гг.

Анализ результатов (рис. 5.14) показывают, что за период наблюдения в последние годы также выросло число жертв в результате ЧС природно-климатического характера: общее число погибших от таких явлений увеличивается по линейному уравнению  $y = 0,5874x + 21,348$ , а величина прироста равна  $R^2 = 0,024$ , и число жертв в результате селей также увеличивается по уравнению  $y = 0,6364x + 4,8636$ , величина роста равна  $R^2 = 0,069$  и увеличение количества

смертей из-за лавины представляет линейное уравнение  $y = 0,3252x + 5,6364$ , а значение которого равно  $R^2 = 0,021$ .

Как динамика рисунков (диаграммы) 5.13, 5.14, так и данные табл. 5.3 показывают, что на территории республики как количество ЧС природно-климатического характера, так и число смертельных случаев из-за этих бедствий увеличивается больше, чем в результате таких процессов, как сели и лавины. Установлено, что в силу географических и климатических условий в РТ возможны различные ОЯ, но лавины и сели занимают особое место среди них, и около 85% территории страны находится в зонах риска селепроявления и 32% территории РТ расположены по угрозе высокого селевого потока [280]. В то же время, следует отметить, что большое количество сели было зафиксировано на территории РТ в 1972, 1987, 1992, 1998 и 2005 гг. Анализы статданных КЧСиГО показывают, что 52% ущерба от СГЯ, происшедших в период 1998-2008 гг. связаны с наводнениями, селями и лавинами [281]. По словам Флейшмана [282], селеопасные районы РТ дислоцируются в бассейнах рр. Зерафшан, Сурхоб, Обихингоу, на южном склоне Гиссарского хр. (Варзоб), Южно-Таджикском нагорье (Вахш, Пяндж, Сухроб (южный), Яхсу, Явансу). Значительное развитие, селевые процессы получили на Памире и в Дарвозе (бассейны рр. Пяндж, Вандж, Гунт). По расчетам авторов в 70-е годы XX века, «в бассейнах рр. Вахш и Пяндж в среднем ежегодно с мая по август происходит 70 селей, в западной части БРЗ с февраля по октябрь – 105 селей» [5, 283], а на Западном Памире в среднем с июня по сентябрь произошло только 9 селей, но на территории Восточного Памира из-за малого выпадения количества осадков и относительно равнинного рельефа сели почти не случаются. Согласно оценкам, «~50% всех паводков и селей происходит в Гиссарской и Рапштской долинах, где было выявлено в общей сложности 466 населенных пунктов, подверженных селевым потокам и наводнениям» [284]. В целом, классификация долины рек выбраны в качестве наиболее опасных и наиболее

уязвимых паводкам и селям, проведенная Главтаджикгеология, подтверждает вышеизложенные слова и данные (табл. 5.4).

**Таблица 5.4.** Долины рек, где наводнения и сели наиболее опасны

<b>Район, область</b>	<b>Река</b>
Пенджикент	Зерафшан, Могиян, Шинг, Фароб, Киштут
Айни	Зерафшан, Фондарья, Ягноб
Ашт	Понгоз, Ошоба, Шайдон
Вандж	Вандж, Язгулям
Рушан	Бартанг
Шугнан	Гунт, Шохдара
Хатлон	Пяндж, Кафирнихан, Яхсу, Таирсу, Сурхоб

Вышеприведенные слова и классификация Главтаджикгеология (табл. 5.4) показывают, что большое количество селевые явления происходят в Центральном и Северном Таджикистане, и следует отметить, что этот момент подтвержден в ряде научно-исследований таджикских ученых [285-287]. В то же время, необходимо отметить, что в отличие от других регионов РТ, в БРЗ наблюдается наиболее ОЯ. По расчетам автора, «в данном бассейне ОЯ в среднем составляют более 150 случаев в году или ~7%. При этом большинство населенных пунктов БРЗ, а именно население г. Пенджикента и Айнинского района, ежегодно несут большие социально-экономико-экологические ущербы» [133, 289].

Если по данным АГ РТ в период 1940-2008 гг. было зарегистрировано 1324 селевых потоков, нанесших экономический ущерб (19 случаев/год), то только за 9 лет (1997-2005 гг.) по данным КЧСиГО, число случаев достигло 1137, что в среднем составляет 126 случаев в год. Анализ результатов (618 селей в период 1951-1988 гг.) показывает, что из них 78% произошли в результате дождя, 19% – из-за таяния снега и осадков и 3% селей в результате прорыва озер. Как известно, что в высокогорных районах РТ сели могут формироваться в результате прорыва временных озер. Мониторинги показывают, что «селевые паводки имеют кратковременный характер, но причиняют огромный экономический ущерб населенным пунктам и народному хозяйству» [5, 286]. Ибо, за исследуемый период наибольшее

число катастрофических селей наблюдалось в 1969, 1970, 1985 и 1988 годах, и за 1961-1990 гг. наблюдается увеличение числа дней с катастрофическими селями на 50-60%. В последнее время мощные селевые паводки наблюдались в 1993, 1998 и 2010 гг., когда ими были разрушены многие объекты экономики (плотина строящейся Рогунской ГЭС, дороги, дома, и другие объекты) [257-258].

**Таблица 5.5.** Сели в разных регионах РТ в период 1940-2008 гг.

<b>№</b>	<b>Регионы</b>	<b>Число селей</b>	<b>В процентах</b>
1	Северный Таджикистан	566	42,7
2	Зерафшанкская долина	76	5,7
3	Раштская долина	217	16,4
4	Гиссарская долина	197	14,9
5	Вахшская долина	69	5,2
6	Кулябский регион	124	9,4
7	Западный Памир	75	5,7
	<b>Всего</b>	<b>1324</b>	<b>100</b>

Для подтверждения вышеупомянутых мнений и данные (цифры), карты, подготовленная авторами [281] на основе ежегодных данных КЧСиГО по распространению селевых явлений на административной территории РТ по времени их возникновения в период 2017-2020 гг. показывает, что фактически в Центральном Таджикистане происходит больше селей, чем в других регионах республики, и это не только соответствует рисунку (карте) 5.7, но и полностью подтверждает показатели табл. 5.4 и 5.5.



тенденцию к повышению, в частности, за последние 10 лет (2014-2023 гг.) на территории республики зарегистрировано 1713 лавинных явлений, 540 случаев сели, 143 случая повышения уровня воды, 140 сильных ветров, 85 случаев проливных дождей и т.п. Поэтому, в табл. 5.6. проведены годовая сумма некоторых стихийных бедствий природно-климатического характера за 2014-2023 гг.

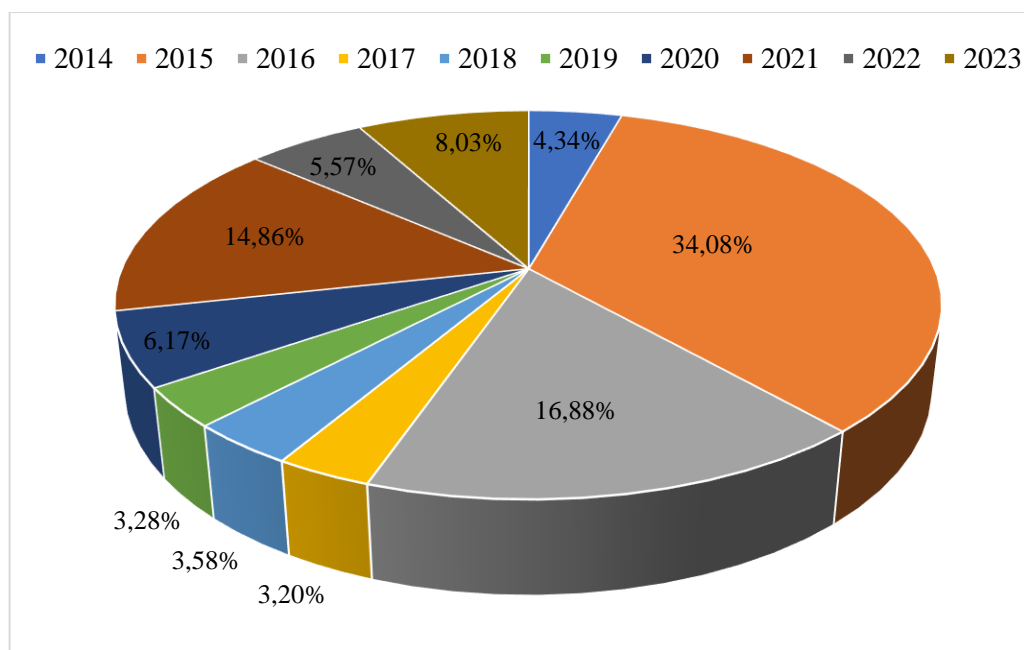
**Таблица 5.6.** Количество стихийных бедствий с 2014 по 2023 год

Годы наблюдения	Стихийные бедствия	Землетрясения	Лавины	Камнепады	Оползень	Сильный ветер	Сильные дожди	Сильный снегопад	Повышение уровня воды	Сели	Гром и молния
	2014	11	15	8	-	9	3	-	2	18	-
2015	15	6	8	-	3	7	2	9	42	-	
2016	2	2	5	-	8	3	-	-	34	-	
2017	33	206	21	23	13	2	17	32	41	-	
2018	30	8	44	8	7	2	1	11	48	3	
2019	25	445	37	13	18	17	8	32	80	1	
2020	30	95	9	6	21	9	1	4	36	2	
2021	33	153	42	7	40	8	1	19	53	1	
2022	21	448	48	14	11	22	3	17	109	3	
2023	47	335	26	22	10	12	-	17	79	3	

Результаты (КЧСиГО) подтверждают, что за период с 2014 по 2023 годы на всей территории РТ зафиксировано 5988 стихийных природно-климатических явлений, наиболее возникновениях и многоколичественных случаев, т.е. 600 случаев по годами их возникновения.

Согласно ежегодному бюллетеню КЧСиГО, «за период с 2010 по 2023 гг. стихийные бедствия природно-климатического характера нанесли ущерб экономике республики на сумму более 1 млрд сомони, из которых 93,73% отмечены в период 2014-2023 гг.» [275]. В соответствие с диаграммой (рис. 5.16) более 65% экономического ущерба произошло в 2015 (34,08%), 2016 (16,88%) и 2021 (14,86%) годах. На основе полученных данных сделан вывод о том, что

2022, 2019 и 2023 гг., данный негативный процесс связан прежде всего с большим количеством ливневых и селевых явлений.



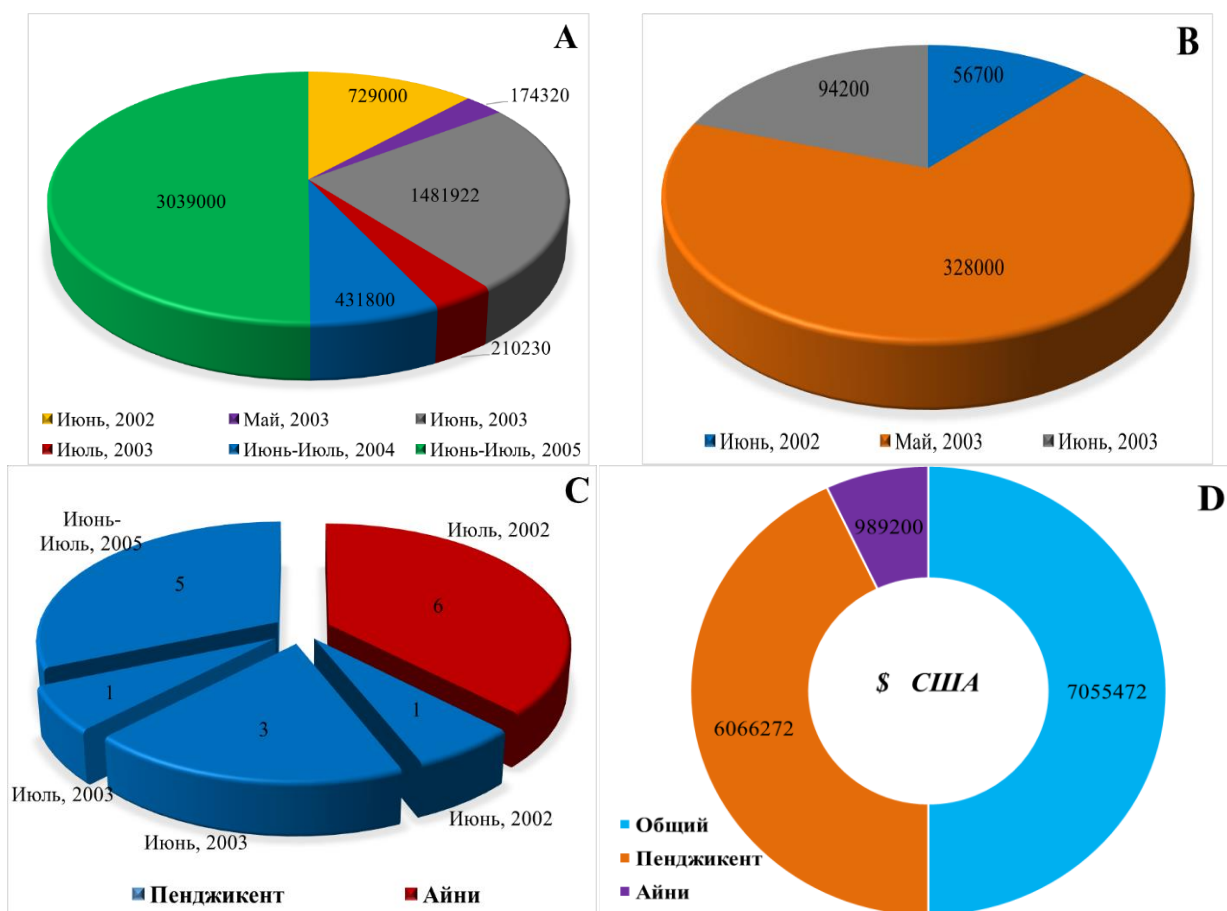
**Рис. 5.16.** Экономущербы от стихийных бедствий с 2014 по 2023 гг. в процентах

Хотя из показателей табл. 5.6 видно, что ~60% стихийных бедствий природно-климатического характера произошли в 2022 (21,38%), 2019 (20,77%) и 2023 (16,93%), но диаграммы 5.16 показывает, что более 65% экономического ущерба от таких явлений соответствуют не годами с большим количеством случаев, а соответствует следующими годами 2015 (34,08%), 2016 (16,88%) и 2021 (14,86%). Следовательно, видно, что количество стихийных бедствий в 2022, 2019 и 2023 гг., которые по процентному (количеством) показателю превышают от показателя другие годы, произошло только за счет большого количества ливневых и селевых явлениях, а экономущерб, представленный на диаграмме 5.16, частично соответствует показателям гистограммы 5.13.

Здесь важно отметить, что на территории РТ, особенно в Центральном Таджикистане и горных и предгорных районах страны, обладающей большим разнообразием геологических, климатических и ландшафтных условий, наблюдается более 20 видов опасных природных явлений. И несомненно, что наиболее тяжелые последствия несут землетрясения, наводнения, лавины, засухи,

обвалы, сильные дожди, сильные морозы и другие. Стихийные бедствия ежегодно охватывают территории почти всех субъектов страны. Поэтому центральные горные и предгорные районы республики, включая БРЗ, являются наиболее уязвимыми во всей территории страны. Это связано не только с существующими и ожидаемыми последствиями изменения климата, особенно основные определяющие данного процесса – повышение температуры воздуха, уменьшение атмосферных осадков и другими ОЯ, но и с низкой адаптационной способностью на местном уровне, включая качество жизни, образование и диверсификацию. По мнению авторов, на основе оценки Всемирного банка в 2011 г., согласованной с местными экспертами, «горные и предгорные районы и долины Хатлонской области, а также население, проживающее на склонах Зерафшанского и Туркестанского хр., находятся на втором уровне уязвимости» [31], которые полностью соответствует согласуется с данными табл. 2.6.

Как выше упоминалось, а также показаны в таблицах 6.4 и 6.5, БРЗ в отличие от других регионов страны, в БРЗ, как горный и высокогорный район и очень чувствительный к процессу изменения климата, характерный наличием опасных процессов природно-климатического характера – наводнения, селевые потоки, сход лавин и оползней. Подтверждено, что большинство населенных пунктов горной и предгорных зоны БРЗ (Пенджикент, Айнинский район) [31], ежегодно подвержены большим социально-экономическим ущербам, нередко сопровождаемые человеческими потерями. На рис. 5.17 (А, В) приведены результаты оценки размеров экономического ущерба за период 2002-2005 гг., и количество жертв (А) и общий экономический ущерб (В) в городе Пенджикент и Айнинском районе при наводнениях 2002-2005 гг. (рис. 5.17 (С, D)).



**Рис. 5.17.** Размеры экономущерба в Пенджикент (А) и Айни (В), и количество жертв (С), и общий экономущерб (D) при селях 2002-2005 гг.

Размер экономущерба от ОЯ в 2002-2005 гг. (рис. 23 (А, D)) в городе Пенджикент и Айнинском районе составляет более семи млн долларов США, в т.ч. разрушение: жилых домов – 2,49 млн. \$США, автомобильных дорог – 1,22 млн.\$ США, оросительных каналов – 793 тыс. \$США, мостов и переправ – 467 тыс. \$США берегоукрепительных сооружений – 32 тыс. \$ США.

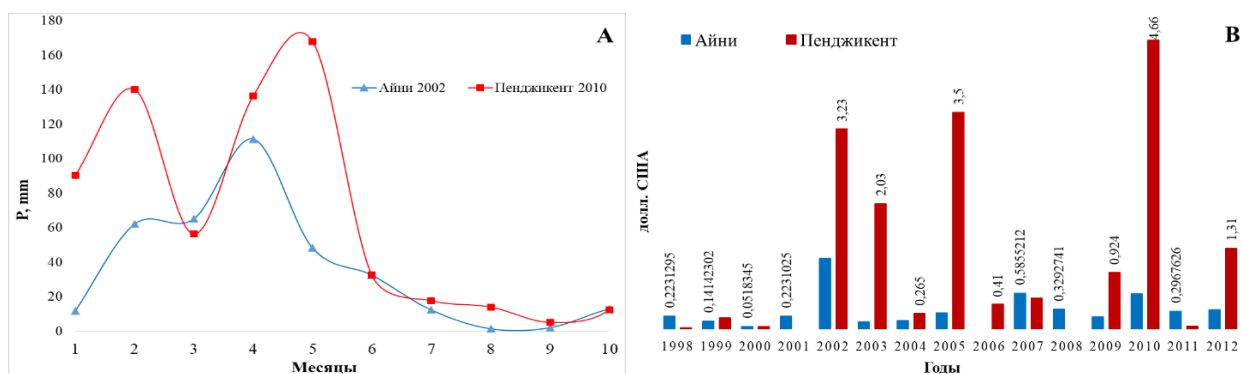
Как уже отметили, поскольку БРЗ в климатическом отношении является чрезвычайно опасным регионом, «для него характерно регулярное проявление разнообразных опасных природных процессов, постоянно создающих угрозу безопасности жизнедеятельности населения. Горная часть названного бассейна покрыта многолетними снегами и ледниками, динамика которых приводит к образованию лавин, сходу ледников, селей и т.п. В горных и предгорных зонах также формируются условия возникновения опасных гидрологических процессов в нижней части бассейнов, где сосредоточено основное население

и хозяйственная деятельность» [282]. Особое положение в ряду многолетних данных занимает метеобстановка, сложившаяся зимой 2017 г. и весной 2018 г., что привело к значительной активизации оползней и селевых потоков. Преобладающими ветрами в районе являются западные, которые особенно сильны в весеннее время. Поэтому, автор данной работы прогнозирует грандиозные изменения СГЯ, ибо они могут реализоваться путем образования селеопасных и лавиноопасных мест (табл. 5.7).

**Таблица 5.7.** Стихийные бедствия, связанные с водным фактором в горных регионах Зерафшанской долины (1998-2016 гг.)

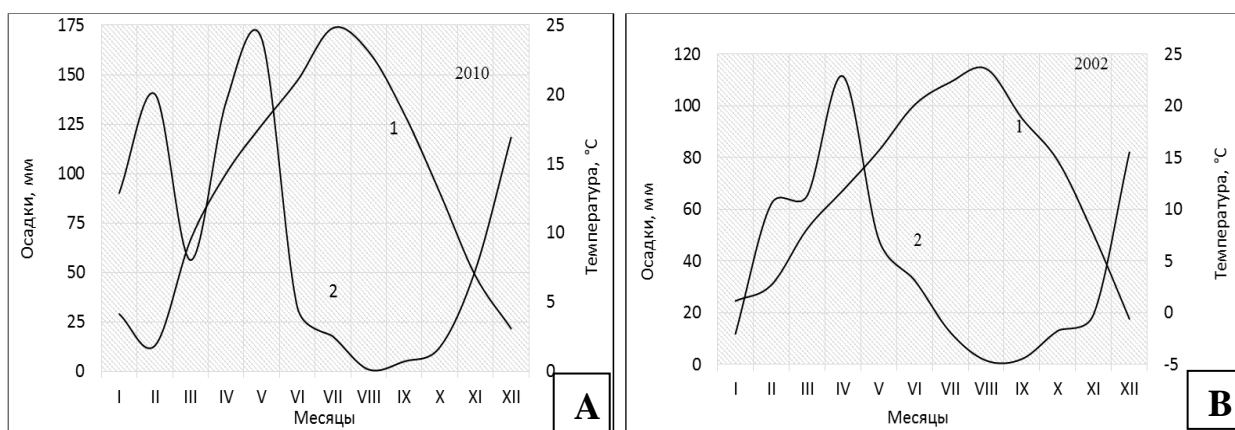
Стихийные бедствия	Горный Матча		Айни		Пенджикент	
	Общий	Ущерб, тыс. \$	Общий	Ущерб, тыс. \$	Общий	Ущерб, тыс. \$
Наводнение	1	-	1	-	9	3850,99
Сель	3	8,38	11	1784,28	11	3290,86
Лавина	2	18,03	5	6,74	-	-
Сильный дождь	3	8,51	3	43,77	2	500,60
Обвал	3	32,07	18	498,11	-	-
Засуха	-	-	2	530,27	2	2634,28
<b>Итого:</b>	-	<b>67,00</b>	-	<b>2863,17</b>	-	<b>10276,74</b>

Ежегодно за период наблюдений и регистрации ОГЯ с 1998 по 2016 год в горных административных центрах БРЗ фиксировались наводнения и селевые потоки. В соответствии с полученными автором данных КЧСиГО [31, 288-290], в Пенджикенте наводнение катастрофического масштаба зафиксировано в 2010 г. с общим экономическим ущербом 4,66 млн. долл. США. В Айнинском районе подобная картина наблюдалась в 2002 году с экономическим ущербом более 3 млн. долл. США (рис. 5.18 (В)). Метеостанциями, установленными в горных административных центрах, «было зафиксировано выпадение обильных осадков в виде дождя, о чем свидетельствует представленное на рис. 5.18 (А) сезонное распределение количества осадков в 2002 и 2010 гг. в городе Пенджикент и Айнинском районе» [133].



**Рис. 5.18.** Среднемесячное значение атмосферных осадков в Айнинском районе и городе Пенджикент (А) и общий экономический ущерб от наводнений в этих районах (В)

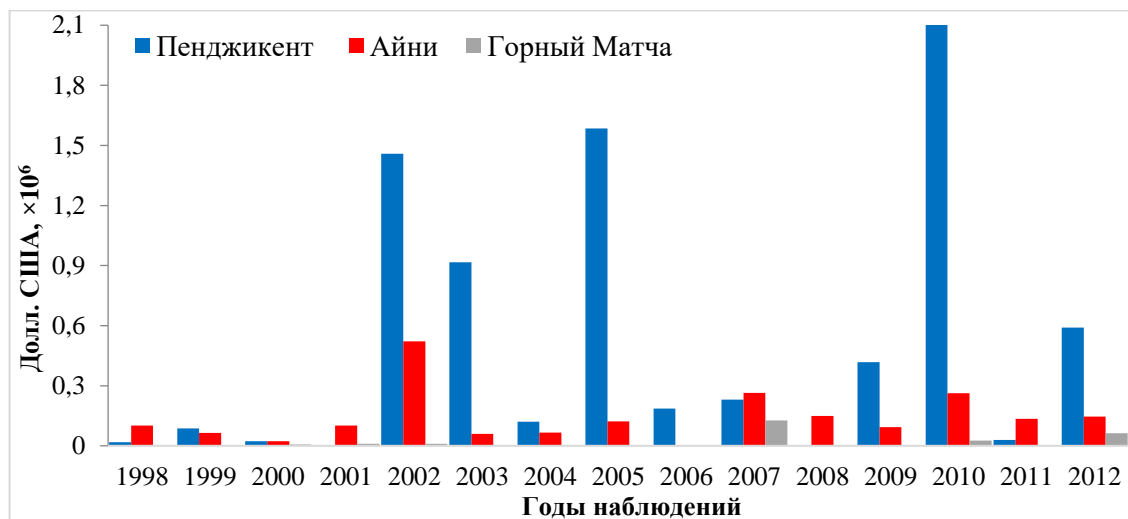
Согласно автору, «экстремальные изменения атмосферных осадков в Пенджикенте и Айни БРЗ были зафиксированы в 2002 г. и в 2010 г., однако сглажены в многолетнем разрезе» [133]. Следовательно, «если при определении долгосрочного прогноза метеоусловий бассейна важно усредненное значение метеопараметров многолетнего периода, то для оценки и возможности предсказаний ОЯ необходим анализ и обобщение их значений за более короткие периоды (декадные и суточные)» [133].



**Рис. 5.19.** Среднемесячное количество атмосферных осадков (2), температуры (1) в городе Пенджикент в 2010 году (А) и в Айнинском районе в 2002 году (В)

На рис. 5.20 представлены результаты ущерба всех трех крупных административных центров. Анализ результатов (рис. 5.20) показывают, что по сравнению с городом Пенджикент и Айнинском районе размер экономического ущерба в районе Кухистони Масчох сравнительно меньше. Это, прежде всего, обусловлено тем, что в Кухистони Масчох осадки в основном происходят в

твердом виде и, во-вторых, большой уклон местности позволяет собирать осадки и образовавшийся поток течет по каньонам и ущельям. В зоне рассеяния реки и в Айнинском районе осадки выпадают в виде проливных дождей.



**Рис. 5.20.** Размеры экономущерба в трех основных административных районах БРЗ в 1998-2012 гг.

Выявлено (рис. 5.20), что в Пенджикенте экономущерб в июне 2002 г. составил: 1481921,9 \$, а июне-июле месяце 2005 г. достигнул: 3039000 \$. Установлено, что в Айни экономущерб от наводнения в апреле месяце 2002 г. составил: 567000 \$, а в июле этого года достигнул: 328000 \$. В тоже время, наряду с этим, представлены результаты оценки влияния СГЯ и ОЯ на общеобразовательные учреждения, системы коммуникации и другие социально-общественные объекты БРЗ. В исследуемом бассейне создана эффективная система управления мероприятиями по предупреждению и ликвидации последствий стихийных бедствий. Экономущерб, причиняемый населению в результате различных опасных явлений, может проявляться в потере жизни, заболеваниях с потерей трудоспособности, ухудшении качества жизни. Нанесенный ущерб природной среде, выражается в ухудшении ее состояния, потерях народнохозяйственной ценной площади, затратах на ее реабилитацию и т.д. Поэтому, в табл. 5.8 показан обобщенный ущерб от ОЯ в двух административных центрах БРЗ.

**Таблица 5.8.** Ущерб от ОЯ для систем коммуникации, ирригации и других социальных объектов в период 1998-2016 гг.

<b>Название объекты</b>	<b>Айни</b>	<b>Пенджикент</b>
Школы	6	26
Магазин	1	6
Жилой дом	719	1746
Возделываемая земля (га)	41	1462
Сад (га)	8,65	134,6
Лес (га)	260	–
Крестьянское хозяйство	697	915
Ферма	16	27
Дороги (км)	407	416,15
Мосты	51	84
Животные (штук)	873	243
Система ирригации (км)	228,2	232,6
Водопроводы (км)	3,9	11,4
Система коммуникации (км)	1,2	–
Газопровод (км)	–	1,8
Насосная водокачка	–	26
Трансформаторы	13	–

С 1998 по 2016 год (табл. 5.8), в Айнинском районе и городе Пенджикент СГЯ и ОЯ осуществляется мониторинг и фиксация, специалистами выясняются причины их возникновения. Ущерб, связанные с полным или частичным разрушением инфраструктуры, зданий, транспортных средств, потерей сельскохозяйственных угодий, ирригационных и гидротехнических сооружений. В компоненты прямого ущерба включаются также потери урожая, если ЧС произошли в период вегетации и сбора урожая. При этом, расходы на восстановление инфраструктуры зависят от типа ЧС и масштаба последствий. Выявлено (рис. 5.17-5.18), что в этом районе острые потери произошли в 2002 году с большим ущербом, чем в другие годы. Прямые потери объектов инфраструктуры включают в себя потерю недвижимости и запасов готовой продукции, полуфабрикатов или других материалов. Ущерб, связанные с полным или частичным разрушением инфраструктуры, зданий, транспортных средств, потерей сельскохозяйственных угодий, ирригационных и гидротехнических сооружений. Компоненты прямого ущерба также включают потери урожая,

если ЧС произошли во время периода сбора. Расходы на восстановление инфраструктуры зависят от типа ЧС и масштаба последствий.

Естественно, в результате изменения метеоусловий часто возникают ОЯ и СГЯ, особенно в горных и предгорных районах, наносящие большой ущерб бюджету страны и поэтому, для их локализации, в первую очередь необходимо улучшить гидрометеорологическое обслуживание в таких районах. Поэтому что в горных и предгорных районах, в т.ч. в БРЗ, многолетние метеорологические наблюдения показывают, что в данном бассейне температура воздуха повысилась, а атмосферных осадков снижается. Именно по этой причине внезапные проливные дожди и снегопады приводят к ОЯ и СГЯ. Определено, что вес экономущерб, нанесенный в результате ОЯ 2010 г. народному хозяйству Пенджикента, произошел за два дня (с 28.04.2010 по 29.04.2010) (рис. 5.18-5.19). Выявлено, что 80% экономущерба, причиненного ОЯ и СГЯ народному хозяйству Айни в 2002 г., соответствует с 21.04.2002 по 24.04.2002, что составляет более 2 млн сомони (рис. 5.17 (a, d)). В целом, наблюдения за период 1998-2012 гг. показывают, что экономический ущерб бюджету Айни от ОЯ составляет 13 669 492 сомони, а экономущерб бюджету Пенджикент от таких явлений, достигает на 48 979 379 сомони (рис. 5.17 (a, d)). Поэтому при изучении причин возникновения ОЯ прежде всего следует полностью проанализировать изменения метеоусловий одного и того же района и необходимо показывать взаимосвязь между ними. Результаты зарегистрированы ОЯ и СГЯ, представителями КЧСиГО в административных центрах, а также метеонаблюдения станций Сангистона и Пенджикента доказывает, что изменение метеоусловий БРЗ стало причиной возникновения ОЯ в названном бассейне.

Безусловно, социально-экономические и экологические последствия изменения климата могут привести к возникновению или обострению споров за доступ и распределение водных и земельных ресурсов, необходимости обеспечения продовольственной и энергетической безопасности. Последствия неблагоприятных климатических воздействий за последнее десятилетие от

наводнений в бассейнах рр. Пяндж, Вахш, Бартанг, Гунт, Зерафшан и Кафирниган, опустынивание сельскохозяйственных угодий в южных регионах страны, эрозия почв в результате неправильного орошения и обильных дождей, нехватка воды в результате засухи, исчезновение результатов обусловлено преждевременной жарой и похолоданием.

### **5.3. Ситуационный анализ рисков и их смягчение, в условиях чрезвычайных гидрометеорологических факторов**

Уже многократно отметили, что стихийные бедствия в РТ очень развиты, из-за ее горной и высокогорной территории состояние атмосферных осадков и это особенно касается стихийных бедствий, связанных с климатическими изменениями. Согласно «Национальным стратегиям по управлению риском бедствий на 2010-2015 гг.» [291], бедствия и угрозы, происходящие в РТ, разделяются на гидрометеорологические, геологические, биологические и техногенные, и среди которых бедствия и угрозы гидрометеорологического и геологического характера, связанных с водой, таких как наводнения, сели, обильные снегопады, сильные дожди, высокие грунтовые воды, деградации почв и оползни очень опасны и наносят огромный ущерб. Сравнительные анализы статданных (КЧСиГО) в период 1997-2007 гг. показывают, что за эти годы было зафиксировано 124 случая оползней, в их результате погибли 46 человек, зарегистрировано 1253 случая схода лавин и сели, в результате которых погибли 24 человека. В то же время, стихийными бедствиями, нанесшими наибольший экономический ущерб, являются СГЯ – лавины и сели (124,3 млн \$), засухи (97,1 млн \$), снегопады (1,4 млн \$) и наводнения (113 770 \$). Также, важно отметить, что учитывая актуальность проблемы, расширения процессы климатических изменений и их последствий, увеличения количества ОЯ, СГЯ и их угрозы, больших финансовых и человеческих потерь, в целом уязвимости территории страны к этим процессам и стихийным бедствиям, Правительства республики усовершенствовали вышеназванную стратегию и на ее основе приняла новый

документ – «Национальная стратегия по снижению риска стихийных бедствий на 2019-2030 гг.» [292], и процесс его реализации продолжается. Установлено, что за 1997-2018 гг. на всей территории РТ происходили ~3460 стихийных бедствий, среди которых самые распространенные были селевые потоки, что полностью соответствует данными табл. 5.5 и 5.6, а также в результате произошедших случаев за этот период был нанесен ущерб на сумму более 589 млн \$США. Таким образом, с учетом вышеизложенных данных в табл. 5.9 показаны наиболее пострадавшие города и районы страны (количество стихийных бедствий и жертв).

Согласно результаты [291], к таким бедствиям более уязвимыми районами являются горные и предгорные зоны республики, а общие сведения об их частоте и количестве погибших указывают на трех уязвимых географических кластера – верховьях бассейнов рек Пяндж, Вахш и Зерафшан [128]. По расчетам, имеющимся региональный характер, «в горных и предгорных районах РТ наводнения чаще всего происходят в бассейнах трех вышеупомянутых рек, а на небольших реках, таких как Яхсу, стоки в периоды паводков могут превышать среднемесячную норму в 5 и более раз, тогда как на более крупных реках, таких как Пяндж, этот показатель обычно составляет 2 и менее раза» [127]. И таким образом, в последнее время «в связи с изменением климата подобные бедствия учащаются и их риски повышаются, и поэтому их изучение имеет огромное значение в горных и предгорных районах республики, особенно в зонах формирования водных ресурсов и бассейнов крупных рек» [123]. Вышеприведенные слов и данные свидетельствуют о том, что горные и предгорные зоны РТ более уязвимы к ОЯ и СГЯ, особенно бедствия связанных с водой и основными источниками таких рисков являются повышение уровня воды в реке, прорыв гляциальных озер, прорыв снежно-ледниково покрова долины и прорыв плотин или экранов в устье притока главной реки [127].

Поэтому «необходимость исследования прорывоопасных горных озер очень серьезна в настоящее время в связи с нарастающими процессами

изменения климата, деградации ледникового покрова на фоне активных геодинамических процессов, имеющих место в горных и предгорных районах региона, особенно РТ» [280]. Согласно расчетам, из 5600 озер ЦА хи большая числа расположены в предгорных, горных и высокогорных районах [293]. В частности, на территории РТ почти 80% озер и основная их площадь находятся в горных районах страны на высоте от 3000 до 5000 м. В целом на территории РТ было классифицировано более 270 озер и их прорывоопасности оценивалась при сравнении различных космических снимков, а также данных аэровизуальных и полевых обследовании и ещё, наиболее острые прорывоопасные озера горные районы страны представлены в табл. 5.9.

**Таблица 5.9.** Прорывоопасные озера в горных и высокогорных районах

<b>Озера</b>	<b>Автор</b>	<b>Год обследования</b>	<b>Причина прорыва</b>
Маргузорские	В.Д. Фоменко	1967-1968	Обвалы или оползни озеро
Варшидздара	– // –	1967-1968	Движение ледника
Немацкуль	– // –	1967-1968	Обвалы с бортов
Риваккуль	– // –	1967-1968	– // –
Хуумецкуль	– // –	1967-1968	– // –
Друмкуль	– // –	1967-1968	– // –
Зардев	– // –	1967-1968	– // –
Хавраздара	– // –	1967-1968	Селевой поток
Риваккуль	Ж. Шнайдер	2002-2003	Прорыв 5-ти вышележащих озер
Зардев	– // –	2002-2003	Оползень
Друмкуль	– // –	2002-2003	– // –
Хидорджевдара	– // –	2002-2003	Перелив через плотину
Шарфдара	– // –	2002-2003	– // –
Даштдара	– // –	2002-2003	Образование нового озера
Шарипдара	– // –	2002-2003	Перелив через плотину
Пишдара	– // –	2002-2003	– // –

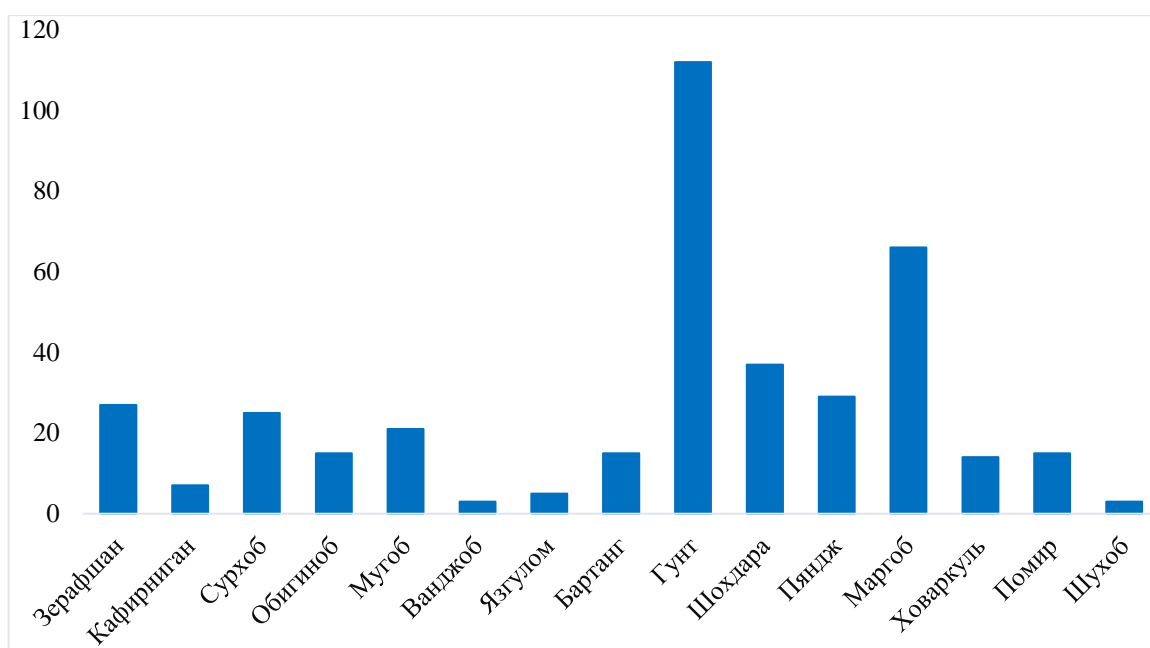
*Источник: Устойчивость горных озер..., 2008.*

Не только данные табл. 5.9, но и многие научные работы отечественных и зарубежных ученых [294-301], а также опыт многих стран (России, Канады, Китая, Индии, Непала, Бутана, Пакистана) и горных районов (Гималаи, Гиндукуш, Куньлунь, Кавказ, Альпы) показывают, что «прорывы горных и

гляциальных озер, представляющие серьезную экологическую и гидрологическую опасность, характерны для многих высокогорных регионов, в т.ч. и для РТ» [300]. Важно отметить, что в настоящее время в многих горных и высокогорных странах Азиатского континента, как уже указали их ряд с развитым современным оледенением в ряде речных бассейнов проведена сплошная каталогизация высокогорных озер и получены данные об их расположении, площади и длине. По данным, общее число горных озер в основном гляциального генезиса в бассейнах рр. Инда и Ганга составляет 3600. В Швейцарии, США и Канаде многие годы выполняются исследования прорывоопасных гляциальных озер с целью совершенствования методов расчета их режима. На Кавказе (в России) проводятся комплексные работы с применением современных методов получения и обработки данных о режиме ледниковых, моренных и моренно-ледниковых озер. Поскольку аналогичная картина наблюдается и в горах РТ, поэтому изучение состояния и последствий ледниковых озер на ее территории имеет большое научное и практическое значение. По данным, на территории РТ имеется 542 ледниковых озер, «наиболее опасными из них являются ледниковые озера, затопление которых приводит к их прорыву и, как следствие, наводнениям» [300, 302]. Также, последние исследования выявили 428 ледниковых озер в восточных горных и высокогорных районах РТ, из которых 6 классифицируются как особо опасные, а 16 как опасные.

Особо важно отметить, что количество гляциальных озер ежегодно изменяется в зависимости от колебаний метеоусловий, и, согласно многолетним наблюдениям АГ РТ [303], их число на территории РТ значительно увеличилось за 1968-2009 гг., где зарегистрировано 1436 ледниковых озер, из которых 397 озер имеют площадь более 0,01 км<sup>2</sup>, а наибольшее количество гляциальных озер находятся в бассейнах рр. Гунт (112), Маргоб (66), Шохдара (37). Поэтому «в горно-высокогорных условиях мониторинг состояния ледников и прорывоопасных озер является одним из основных, наиболее востребованных «инструментов» прогнозирования возможного прорыва и что немало важно

осуществления раннего оповещения населения проживающие в низовьях» [300]. Ибо, риск, связанный с прорывами ледниковых озер, увеличивается из-за потепления климата и мониторинг этих озер, и внедрение систем раннего оповещения имеют решающее значение для защиты уязвимых сообществ и инфраструктуры в этих регионах с высоким уровнем риска. С этой целью, наряду с данными табл. 5.9, на рис. 5.21 представлена гистограмма количества ледниковых озер в бассейнах основных рек Таджикистана.



**Рис. 5.21.** Количество ледниковых озер в речных бассейнах Таджикистана

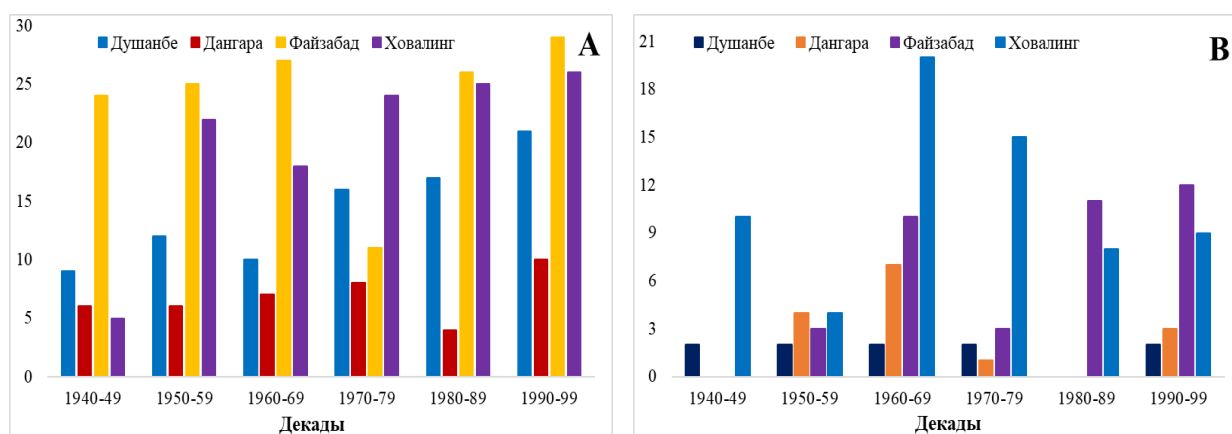
Именно с этой целью, т.е. «для снижения риска прорывоопасных горных озер и завальных плотин в условиях горного рельефа РТ», авторами получены два авторских свидетельства [252, 304], на способ стабилизации и понижения уровня воды горного завального озера, и устройство для предотвращения прорыва завальной плотины, которые изобретения относятся к гидротехническому строительству дренажных систем стабилизации и понижения уровня воды до безопасного уровня горного завального озера. Способ стабилизации и понижения уровня воды горного завального озера [252, 304], включающий плотину из оползневого массива скальных пород и дренажный туннель с матричной системой скважин для перехвата фильтрационных потоков. Дренажный

туннель с наклонным лотковым каналом выполняют в теле горной породы по левому борту горного завального озера на глубине обеспечивающий понижения уровня воды на безопасной отметке и в нём пробурируется матричная система скважин вертикально-наклонным по обеим стенам дренажного туннеля. Организованный перехват фильтрационных потоков осуществляют через систему скважин, вентиля, трубопроводы, водоприёмные лотки и отводящие трубы к лотковому каналу для сброса вод в нижний бьеф сооружения. В верхней части лоткового канала через определённые шаги устраивают распорные железобетонные ригель балки от разрушения и железные решётки для безопасного ведения строительных работ. Также, устройство понижения уровня воды горного завального озера [304], включающий дренажную туннель по удобному борту завальной плотины с матричной системы скважин выполненное по обеим сторонам туннеля вертикально-наклонным для перехвата фильтрационных вод. Для перехвата фильтрационных вод и сбросу их в нижний бьеф сооружения система скважин соединены с вентилями, трубопроводами, водоприёмными лотками, отводящими трубами и наклонному лотковому каналу.

Как уже выше упоминали, свидетельствуют данные табл. 5.1, 5.6, диаграмм 5.2, 5.13, а также ряда международных документов [264] и «Национальный план действий» [35], разработанный в связи с прогнозами об изменении климата, определяют, что из-за изменения и потепления климата все связанные с ним природные катаклизмы или стихийные бедствия как по масштабу в стране, так и в мировом масштабе, как по количеству, так и по масштабу растут чрезвычайно высокими темпами. Несмотря на то, что прогнозируемые изменения являются всего лишь предположениями, в данных документах указывается, что вследствие изменений в глобальном и региональном циклонах масштабы бедствий будут расширяться, а последствия будут еще более разрушительными. Мониторинги и анализы (Deutsche Welle, МГЭИК) показывают: «если бы в эпоху до индустриальной революции человек наблюдал сильные

дожди раз в 10 лет, а в настоящее время количество проливной дождь увеличилось на 30%. В случае повышения температуры на 1,5°C количество проливных осадков увеличится на 50% и вызовет увеличение влажности воздуха на 10,5%» [275, 305].

Анализ результатов подтверждают, что «если температура повысится на 2°C, то экстремальные погодные условия увеличатся на 70% по сравнению с доиндустриальным периодом, а влажность – 14%» [275]. Поэтому, ограничение глобального потепления с +2,7°C до +1,5°C, которое предусмотрено ПКС [125, 275], может сократить число людей, подверженных климатических риски, на 500 млн человек. В целом, как показано в таблицах 5.3 и 5.6, анализ результатов метеонаблюдений свидетельствует о том, что в большинстве равнинных и предгорных районах РТ количество полудней с обильными осадками увеличилось за последние 15-20 лет. В подтверждение этому на рис. 5.22 представлены распределение обильных дождей (А) и сильных снегопадов (В) в течении полусутки за декады 1940-2000 гг., по многолетним метеонаблюдениями станций Душанбе, Дангара, Файзабад Ховалинг.



**Рис. 5.22.** Распределение обильных дождей (А) и снегопадов (В) в течение полусутки

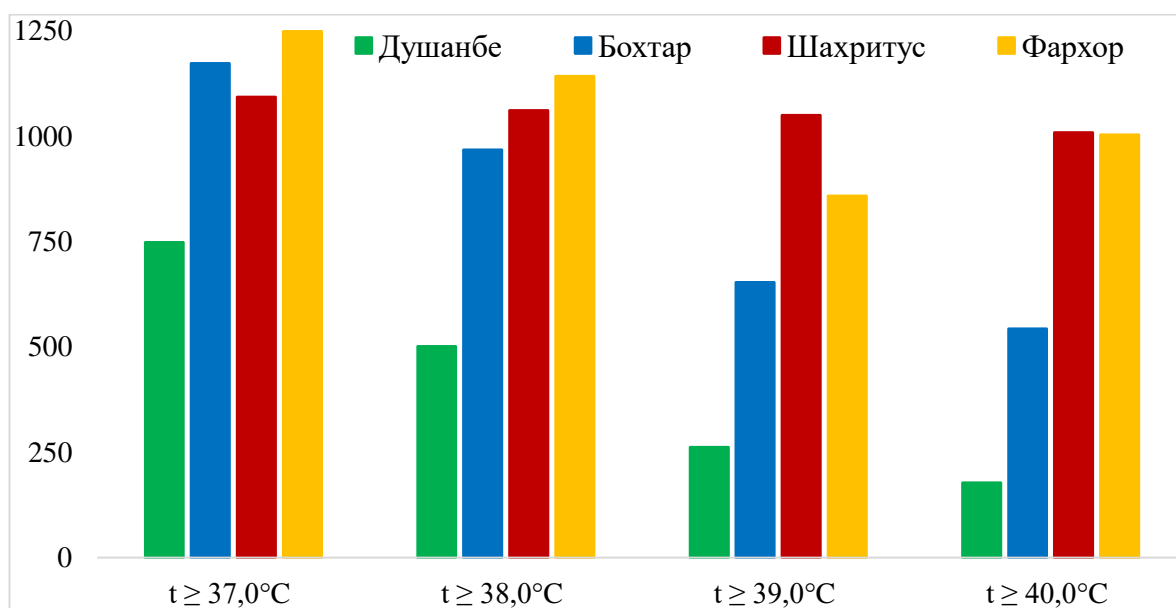
Анализ результатов (рис. 5.22, А) показывают, что в Душанбе относительно длительный период без сильных снегопадов продолжается 17 лет, т.е. с 1960 по 1977 г. и с 1980 по 1997 г. По метеонаблюдениям Дангары, самый длительный период без сильных снегопадов длиться 22 года (1972-1993 гг.), а

самый короткий период – 13 лет (1940-1952 гг.). Разумеется, такое распределение обильных дождей и снега тесно зависит от орография местности, и подобные явления чаще наблюдаются в горных и предгорных районах (на высоте 1400-1500 м). Метеонаблюдения показывают, что если в горных районах обильные снегопады длятся до мая и даже июня, то в предгорных зонах такие снегопады продолжается до марта и апреля.

Естественно, с потеплением климата периодическое и прерывистое распределение количества дней с сильным снегом и дождем становится неравномерным, а также, сегодняшнее потепление менее чем на  $+1,2^{\circ}\text{C}$  приведет к уменьшению количества дождливых дней и увеличению количества экстремально тёплых дней, засух, пыльных бурь и пыльных мгле [275]. Поэтому здесь необходимо проанализировать возникновение экстремальных СГЯ, высоких температур, повторяемость дней с пыльных бурь и длительность дней с пыльной мглы. Результат мониторинги показывают, что одним из последствий климатических изменений является увеличение числа дней с аномально высокой или низкой температуры, т.е. волны тепла и холода. Метеорологи и экологи прогнозируют увеличение количества дней с экстремально высокой температурой, учащение волн тепла и сильных осадков. Анализ результатов (рис. 1.14 и 1.15) представляют, что с усилением глобального потепления количество дней пыльных бурь и пыльных мгла в РТ, особенно на Юго-западном равнине, значительно увеличилось с 2000-х годов. Установлено, что, если в десятилетия второй половины XX-го столетия такие дни с экстремальными температурами наблюдались только на эго-западной территории, в сегодняшняя время количество таких дней увеличилось также в предгорных и горных районах республики [82, 84].

В последнее время волны тепла стали обращать на себя большое внимание, так как повторяемость периодов с аномально жаркой погодой растет во многих странах мира. Во время этих периодов ухудшается состояние здоровья людей, растет количество лесных пожаров, падает урожайность

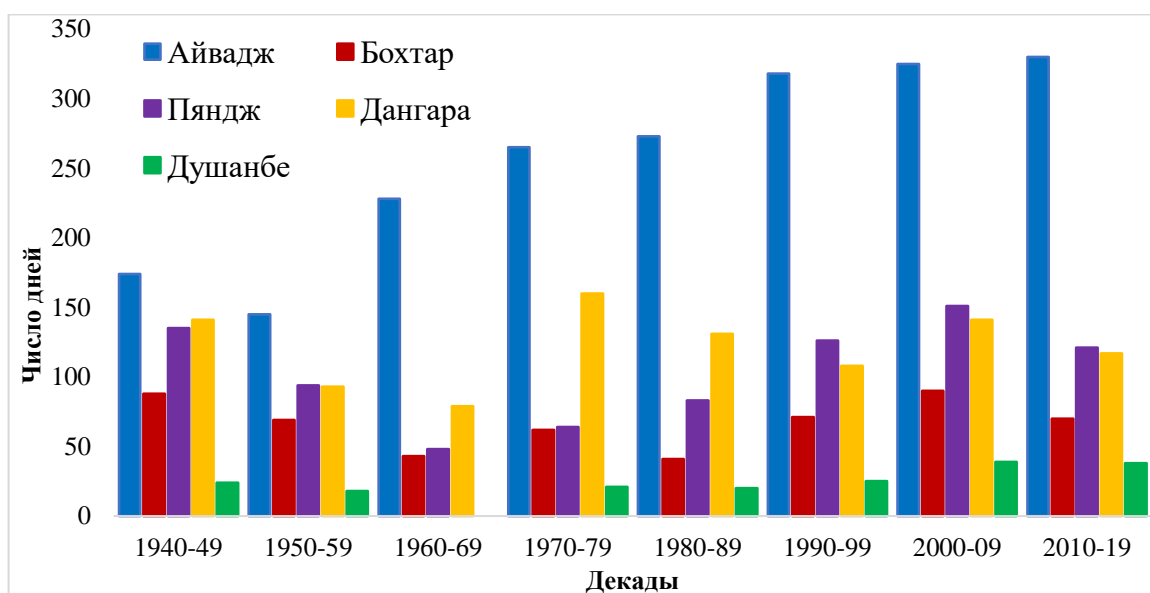
сельскохозяйственных культур, происходит загрязнение водных ресурсов и т.д. Поэтому, в последнее десятилетие единичные случаи с такими температурами отмечалось достаточно много, но не все они принимаются за волны тепла. Для определения «волн тепла» в РТ рассматривались лишь случаи с абсолютным максимумом  $37^{\circ}\text{C}$  и более, на метеостанциях с длинными рядами наблюдений (за период 1940-2016 гг.). Поэтому на рис. 5.23 показаны сравнение частота потеплений в период 1940-2019 гг. по данным многолетними наблюдениями метеостанций Душанбе, Бохтар, Фархор и Шахритус.



**Рис. 5.23.** Частота потеплений в период 1940-2016 в Юго-Западном Таджикистане по абсолютному максимуму температуры с  $37,0^{\circ}\text{C}$  по  $40^{\circ}\text{C}$

Установлено (рис. 5.23), что в период 1940-2016 гг., в Душанбе зафиксировано 1689 случаев высокой температуры от  $t \geq 37,0^{\circ}\text{C}$  до  $t \geq 40,0^{\circ}\text{C}$ , в Бохтаре – 3337 случаев, в Шахритусе – 4213 явлений и в Фархоре – 4252 случая, из которых всего 31,6% температуры  $37,0-37,9^{\circ}\text{C}$ , 27,2% – температуры  $38,0-38,9^{\circ}\text{C}$ , 20,9% – температуры  $39,0-39,9^{\circ}\text{C}$  и 20,3% – температуры  $t \geq 40,0^{\circ}\text{C}$ . По расчетам, по городу Душанбе 10,5% дней имеют высокие температуры  $t \geq 40,0^{\circ}\text{C}$ , а для Бохтара, Шахритуса и Фархора этот показатель составляет 16,3%, 23,9% и 23,6% соответственно. Выявлено, что по сравнению с Душанбе, в Бохтаре, Шахритусе и Фархоре, расположенный в южной, юго-западной части и

ниже уровня моря, количества случаи с температурами  $t \geq 40^{\circ}\text{C}$  намного выше. Одновременно, определено, что, если в 1944, 1947, 1977, 1984, 1994, 1997, 2006 и 2008 гг. наблюдалось значительное потепление в Душанбе, то наряду с этим, в 1944, 1977, 1983 и 1997 гг. на многих метеостанциях, таких как Шахритус, Пяндж, Фархор и Бохтар тоже отмечалось, самое большое число дней с температурой больше  $40^{\circ}\text{C}$  [2, 48, 84, 275]. В подтверждение правильности приведенных слов и показателей диаграммы 5.23, на рис. 5.24 показаны гистограммы общего количества случаев с абсолютным максимумом температуры  $t \geq 40,0^{\circ}\text{C}$  за декады за 1940-2019 гг. по многолетним наблюдениям метеостанций Шахритус (Айвадж), Пяндж, Бохтар, Дангара и Душанбе.



**Рис. 5.24.** Количество случаев с температурой  $t \geq 40,0^{\circ}\text{C}$  по декадам за 1940-2019 гг.

Анализ результатов (рис. 5.23 и 5.24) показывают, что с повышением величины абсолютного максимума, площадь территории, на которых они отмечались, значительно уменьшается. Согласно наблюдениям (Шахритус), в период 1940-2019 гг. количество случаев с температурой  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  динамично увеличивалось. Это можно объяснить тем, что «пыльные бури проникают на территорию РТ с юго-западной стороны и сильно влияют на повышение температуры» [5, 84]. Выявлено (рис. 5.23), что самой жаркой со значительным числом дней с температурой выше  $40^{\circ}\text{C}$  в большинстве долинных районов юго-

западной части РТ были первое (1940-1950 гг.) и седьмое (2000-2009 гг.) десятилетия. Некоторые эксперты [48] связывают жару первой декады с климатическими условиями и с отсутствием густой оросительной сети и водохранилищ. В этот период преобладали циркуляционные процессы, обуславливающие вынос тропического воздуха с малооблачным ясным небом, а, следовательно, дополнительно сильный прогрев земной поверхности от нее и воздуха. Результаты наблюдения показывают, что за десятилетия 1940-1950 и 2000-2010 гг. в долинах РТ, включая Вахшскую долину и другие районы юго-западной части страны, наблюдались температуры  $t \geq 40^{\circ}\text{C}$  и выше. В течение последних трех десятилетий (1990-2019 гг.) на всей территории страны было много жарких дней. В частности, в 1997 г. продолжительность жаркой погоды в Шахритусе с температурой  $t \geq 40^{\circ}\text{C}$  составляла 53 дня, а в Пяндже - 26 дней [84].

Наряду с этим, многолетние метеонаблюдения подтверждают, что на большей части долинных районов РТ максимальные температуры отмечались выше  $38^{\circ}\text{C}$ , на юге и юго-востоке они составили  $40-47^{\circ}\text{C}$  тепла. В 1944 г. был год абсолютного максимума температуры для большей части ЦА и, в частности, южной части РТ, когда температура повышалась до  $43-47^{\circ}\text{C}$  тепла. В этот период на всей территории долинных районов наблюдалась жаркая и сухая погода. Такой высокий температурный режим был обусловлен влиянием термической депрессии (область пониженного давления с наибольшими барическими градиентами) у земли и теплой высотной антициклоном на высотах. Установлено, что в седьмом десятилетии (2000-2009 гг.), ровно в 2008 г. наблюдался самый продолжительный период, когда среднесуточная температура воздуха колеблется в пределах  $25-30^{\circ}\text{C}$  (на  $4-7^{\circ}\text{C}$  выше нормы - рекорд). Анализы показывают, что число дней с максимальной температурой выше  $37^{\circ}\text{C}$  составило 51 день, превысив норму в 2,5 раза, а число дней с температурой  $39^{\circ}\text{C}$  и выше – 9-13 дня, превысив норму в 2-3 раз. Естественно, из-за засухи и резкого увеличения количества дней максимальной температуры в 2001, 2008, 2009, 2010 и 2011 гг. самые сильные пыльные бури были зафиксированы в юго-

западных районах страны (рис. 1.15). Результаты мониторинги показывают, что число дней с пыльными бурами и пыльными мглами на юго-западной части республики зависит в основном от расширения орошаемых земель и неуклонного уменьшения, и повторяемости воздействия холодных воздушных масс с северо-западной и юго-западной стороны [48, 84]. Появление таких дней не только приводит к повышению наземной температуры воздуха, но и негативно влияет на социально-экономические сферы, включая сельское хозяйство и здоровье население. В связи с климатическими изменениями, число и последствия ОЯ и СГЯ, включая катастрофические наводнения и сели, увеличиваются, что причиняет значительный материальный ущерб: выходят из оборота продуктивные земли, разрушительному действию подвергаются населенные пункты, дороги, мосты, ирригационные каналы, гидротехнические сооружения и другие объекты народного хозяйства. Принятие адаптационных мер может уменьшить последствия стихийных бедствий, а в отдельных случаях предотвратить ущерб.

### **5.3.1. Анализ корреляции между возникновением стихийных бедствий и изменениями метеорологических условий**

Поэтому именно с этой целью ниже проанализируем связь между ОЯ и СГЯ с изменением основных метеоусловий в некоторых горных и высокогорных районах РТ за период 2021 г. Согласно данным, «РТ имеет сложный горно-ущельный рельеф, это оказывает сильное влияние на изменчивости метеоусловий и возникновение ОЯ, и поэтому метеостанциях, установленных в долинах, осадки либо не регистрируются или они незначительные, тогда как на метеостанциях, установленных в горной и высокогорной местности, регистрируются значительные осадки» [257]. Поэтому, хотя большинство ОЯ и СГЯ, происходящих на территории страны, тесно связаны с изменением метеоусловий, некоторые из них носят локальный характер, что в тот же момент возникновения, в другом регионе или значительные изменения

метеорологических величин и существующих условий того же события не регистрируется. Несмотря на это, РТ остается одной из наиболее уязвимых стран к изменению климата, одним из которых являются такие стихийные бедствия, как сели и лавины (см. таблицы 5.5, 5.6). И «естественно для их для его уменьшения необходимо принять меры по своевременному прогнозированию погодных условий в период пика этих процессов и снижению риска возможных СГЯ» [306].

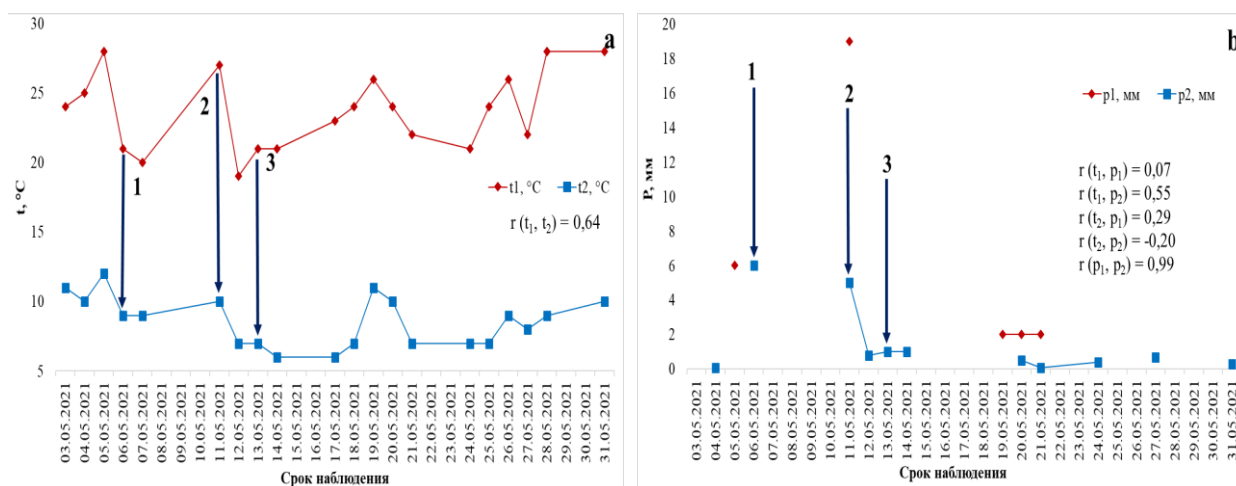
Наряду с этим, необходимо отметить, что «изменение метеоусловий и следовательно возникновение селей тесным образом связаны с изменением основных метеопараметров (температура, осадки), но до настоящего времени анализ такой связи, не проводился» [307]. Нами, с целью определения научной закономерности ниже представлен анализ связи возникновения СГЯ и изменения метеоусловий. Согласно данным КЧСиГО [273-275], «крупномасштабными и наиболее разрушительными были сели, происшедшие 6, 11 и 13.05. Подобные селевые потоки наблюдались также 14, 19 и 28.07, и 05.08.2021 гг.» [306-307]. Поэтому именно эти события и были выбраны в качестве предмета исследования данной параграфе работы. Поскольку происшедшие в мае месяце такие явления охватили почти все регионы республики, для анализа данных по ним, использовались данные 12 метеостанций, расположенных на высотах от 1004 до 3134 м и в различных районах – равнинах, предгорьях, горах и высокогорьях Центрального Таджикистана, поскольку из рис. 5.15 видно, что данная часть РТ является наиболее подверженным селям и уязвимым регионом), а по всем остальным событиям 5 метеостанции, близкие к зоне прохождения селей, или метеостанции, подходящие по благоприятствующим формированию селевых потоков метеоусловиям [257]. Результаты анализа связи метеопараметров с селевыми потоками приведены в таблице 5.10.

**Таблица 5.10.** Связь метеопараметров и их точность на метеостанциях в предгорных и горных районах на май месяц 2021 г.

Метеостан-ция	Высота, м	$r$ ( $t_1, t_2$ )	$r$ ( $t_1, p_1$ )	$r$ ( $t_1, p_2$ )	$r$ ( $t_2, p_1$ )	$r$ ( $t_2, p_2$ )	$r$ ( $p_1, p_2$ )	$t_{1cp.} \pm \sigma$	$t_{2cp.} \pm \sigma$	$p_{1cp.} \pm \sigma$	$p_{2cp.} \pm \sigma$
«Истаравшан»	1004	0,81	-0,45	0,94	-0,53	0,97	-0,52	27,7±3,4	15,1±2,6	2,7±6,0	0,2±0,2
«Пенджикент»	1015	0,56	-0,64	0,50	-0,86	0,50	-0,50	28,8±4,6	15,5±2,5	3,9±6,1	0,7±1,1
«Муминабад»	1232	0,74	-0,69	-0,83	0,81	-0,58	0,99	25,2±4,3	12,3±2,05	7,6±10,4	11,1±17,1
«Дарбанд»	1258	0,59	-0,69	-0,82	0,30	-0,58	–	23,4±3,4	12,2±1,7	2,0±2,5	0,3±0,5
«Дарвоз»	1288	0,56	0,25	0,39	0,22	-0,28	-0,27	27,2±3,0	13,3±1,5	0,5±0,8	2,5±5,1
«Рашт»	1316	0,33	-0,44	0,15	–	0,15	–	25,9±2,6	11,4±2,2	1,3±2,5	0,5±0,8
«Хушёри»	1361	0,29	-0,31	0,99	0,46	0,99	–	24,4±3,5	11,7±1,6	3,1±4,1	8,5±6,4
«Ховалинг»	1468	0,65	-0,51	0,29	0,34	-0,29	0,99	24,2±4,6	13,2±2,2	4,0±5,1	12,0±16,3
«Сангвор»	1616	0,64	0,07	0,55	0,29	-0,20	0,99	23,7±2,8	8,6±1,8	1,5±2,0	6,0±7,5
«Бустонабад»	1964	0,54	0,93	0,66	-0,52	-0,49	–	18,3±3,2	10,4±4,7	6,5±5,3	10,2±6,3
«Санглох»	2239	0,82	-0,73	0,80	-0,75	0,50	–	17,1±3,1	10,5±2,3	6,7±5,6	3,3±4,0
«Шахристон»	3143	0,61	-0,37	-0,19	-0,21	0,19	0,80	9,0±2,2	3,2±3,6	2,8±3,9	0,9±3,9

**Примечание:**  $r$  – коэффициент корреляции между метеопараметрами,  $t_1$  – дневная температура воздуха, °С,  $t_2$  – ночная температура воздуха, °С,  $p_1$  – дневные осадки, мм,  $p_2$  – ночные осадки, мм,  $t_{1cp.}$  – среднемесячная дневная температура, °С,  $t_{2cp.}$  – среднемесячная ночная температура, °С,  $p_{1cp.}$  – среднемесячные дневные осадки, мм,  $p_{2cp.}$  – среднемесячные ночные осадки, мм,  $\sigma$  – разброс относительно среднего значения.

В подтверждение правильности вышеприведенных слов и показателей табл. 5.10, на рис. 5.25 приведены данные анализа «о дневной ( $t_1$ ) и ночной ( $t_2$ ) температуре воздуха (a), а также дневных ( $p_1$ ) и ночных ( $p_2$ ) атмосферных осадках (b) за май 2021 года по наблюдениям метеостанции Сангвор» [307]. Данные по другим метеостанциям не приводятся поскольку они идентичны по ходу изменения метеопараметров.



**Рис. 5.25.** Данные о дневной ( $t_1$ ) и ночной ( $t_2$ ) температуре воздуха (a), а также дневных ( $p_1$ ) и ночных ( $p_2$ ) атмосферных осадках (b) за май 2021 года по наблюдениям метеостанции Сангвор

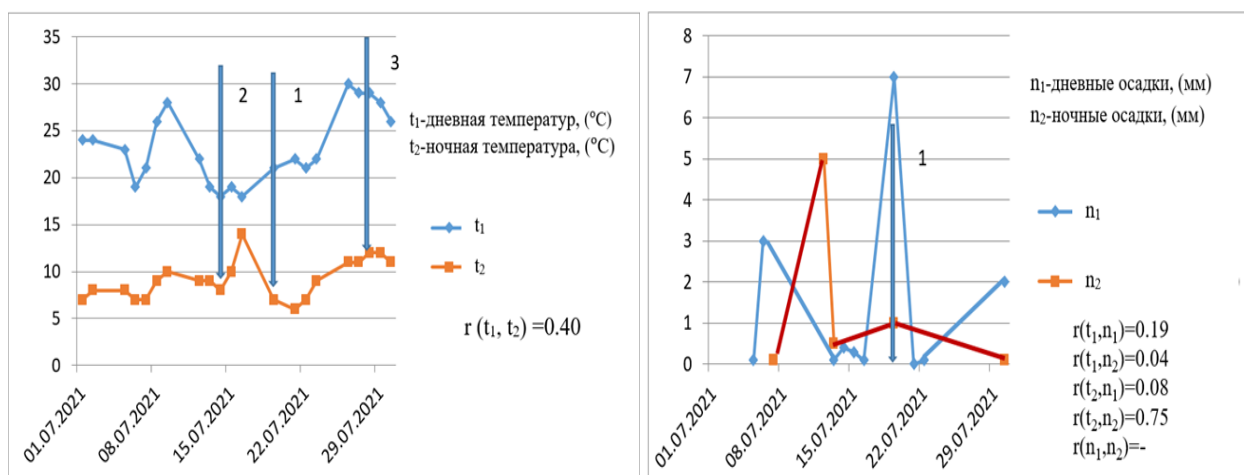
**Примечание:** на рисунке стрелками также приведены сели, происшедшие в отдельных регионах страны: 1 – 6 мая, 2 – 11 мая и 3 – 13 мая.

Анализ данных метеостанции Сангвор (рис. 5.25 и табл. 5.10) показывает, что связь между изменениями дневных и ночных температур, недостаточно тесна ( $r(t_1, t_2) = 0,64$ ). Установлено (рис. 5.25), что в данной метеостанции связь между дневными и ночными температурами и суточными осадками очень слабая [ $r(t_1, p_1) = 0,07$ ;  $r(t_2, p_1) = 0,29$ ]. В то же время, хотя дневная температура имеет значительную связь с ночным осадкам ( $r(t_1, p_2) = 0,55$ ), однако ночная температура вообще не имеет никакой связи с количеством осадков ( $r(t_2, p_2) = -0,20$ ).

Согласно мониторингам, «несмотря на сильные дожди, происшедшие в мае месяце 2021 г. в непосредственной близости к Куляб и Турсунзода, а также Ашт, Айни, Рашт, Нурабад, Яван и Вахшской долине, на метеостанциях, находящихся вблизи событий, осадки не наблюдались (Муминабад, Яван, Хушёри, Ганджина, Куляб), а если и наблюдались, то – незначительные (метеостанции

Гулшан, Мастчо, Сангистон, Гиссар, Рашт, Нуробод, Гиссар, Дангара, Фархор, Пяндж, Нижний Пяндж)» [306-307].

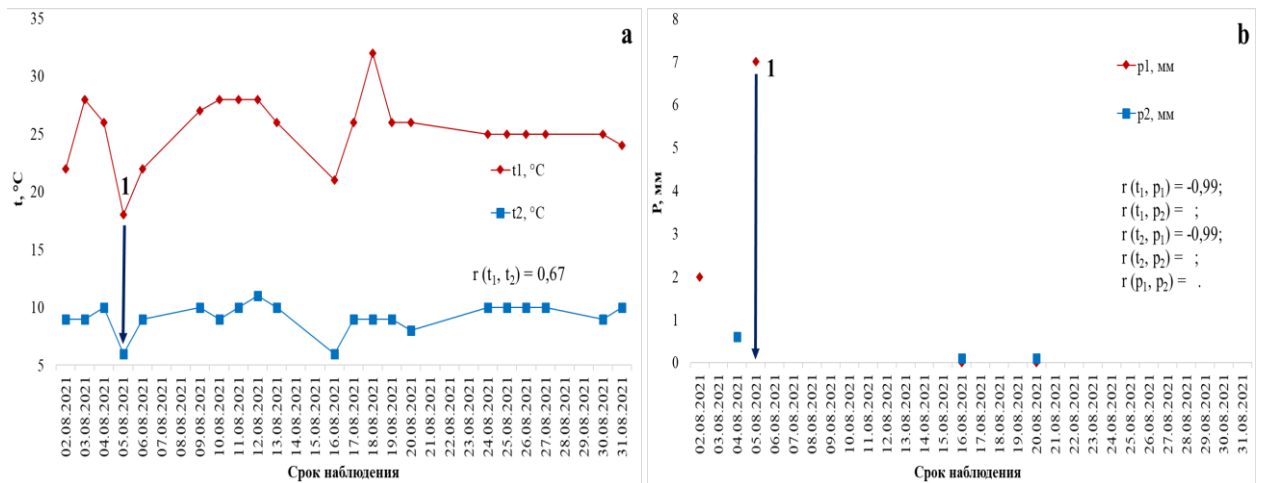
Чтобы объяснить это, следует принять во внимание, что 5-7 мая и 10-14 мая, в долинах наблюдалось небольшое количество осадков (иногда, даже не было осадков), а в горных регионах наблюдались сильные осадки, сопровождающиеся селевыми потоками. Такие же явления наблюдались и во время прохождения селевых потоков 19.07 и 05.08.2021 г. в джамоатах Ёри и Амондара города Пенджикент. Тогда на метеостанции Пенджикент, находящейся недалеко от места селевых потоков, осадки не регистрировались, в то время как в высокогорьях наблюдались сильные осадки. Поэтому для анализа были использованы данные трёх метеостанции БРЗ, таких как Дехавз (рис. 5.26), Искандеркуль (рис. 5.27) и Шахристан (5.28).



**Рис. 5.26.** Данные о дневной ( $t_1$ ) и ночной ( $t_2$ ) температуре воздуха (а), а также дневных ( $p_1$ ) и ночных ( $p_2$ ) атмосферных осадках (б) за август 2021 года по наблюдениям метеостанции Дехавз

**Примечание:** на рисунке стрелками приведены другие сели, прошедшие в июле месяце: 1 – 19 июля, 2 – 14 июля и 3 – 28 июля 2021 года.

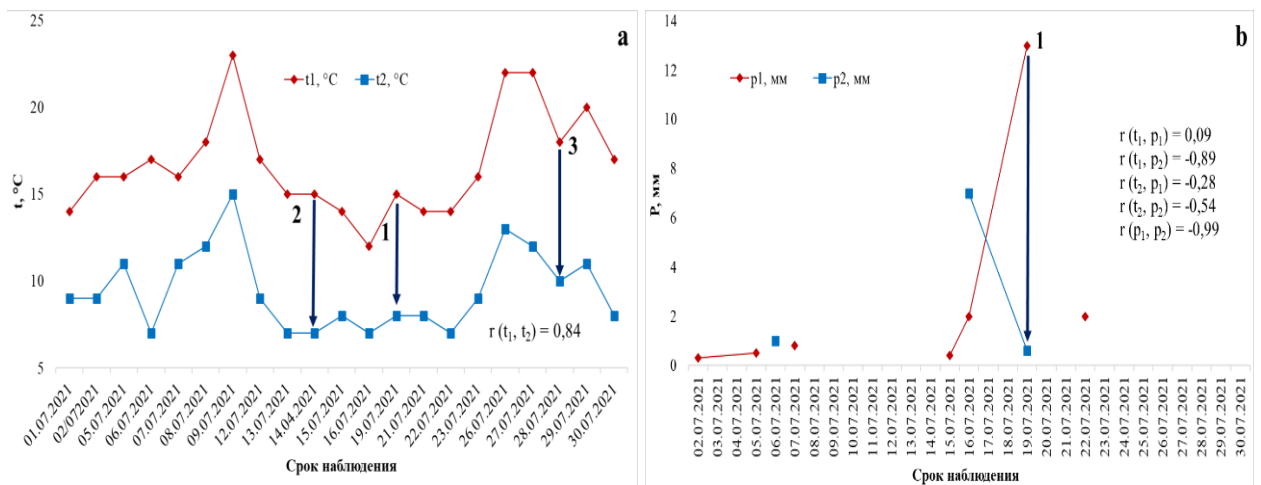
Анализ метеонаблюдений станции Дехавз (рис. 5.26 (б)) показывают, что осадки составляли 7 мм. В метеостанции Искандеркуль, как и в метеостанции Дехавз, в день сели 5 августа 2021 г. зафиксировано всего 7 мм атмосферных осадков. Важно отметить, что за весь август 2021 года в этой метеостанции зафиксировано всего 9,2 мм осадков (рис. 5.27, б).



**Рис. 5.27.** Данные о дневной ( $t_1$ ) и ночной ( $t_2$ ) температуре воздуха (а), а также дневных ( $p_1$ ) и ночных ( $p_2$ ) атмосферных осадках (б) за август 2021 года по наблюдениям метеостанции Искандеркуль

**Примечание:** на рисунке стрелкой указан селевой поток 5 августа 2021 года.

Поскольку две вышеуказанные метеостанции – Дехавз и Искандеркуль, расположены более далеко от зоны наводнения в Пенджикенте, поэтому для анализа по селевому потоку 05.08 были использованы данные на метеостанции Шахристан за август 2021 года (рис. 5.27).



**Рис. 5.28.** Данные о дневной ( $t_1$ ) и ночной ( $t_2$ ) температуре воздуха (а), а также дневных ( $p_1$ ) и ночных ( $p_2$ ) атмосферных осадках (б) за июль 2021 года по наблюдениям метеостанции Шахристан

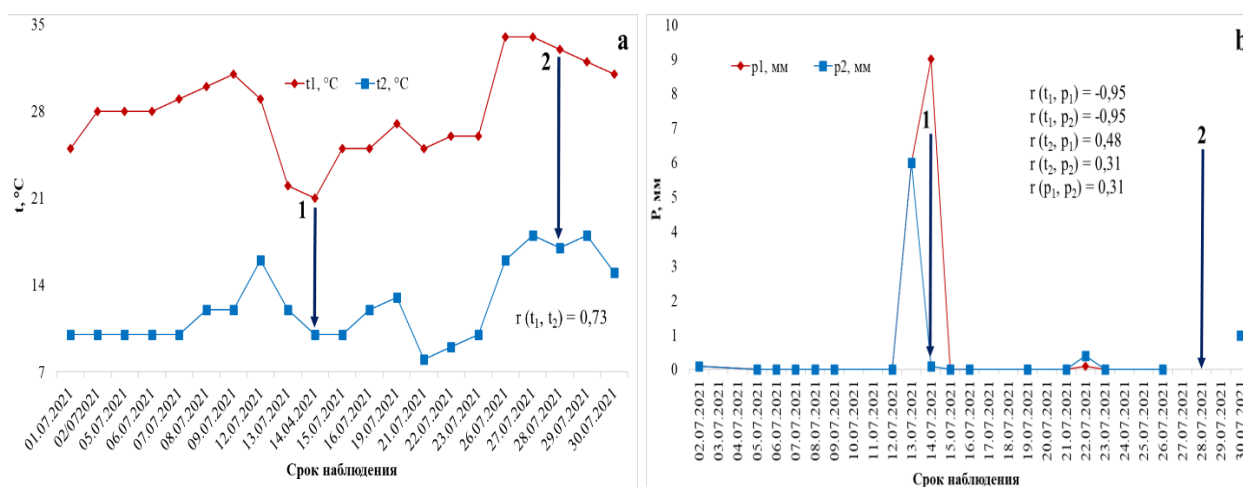
**Примечание:** на рисунке стрелками, кроме селя 19 июля, приведены другие сели, прошедшие также в июле месяце: 1 – 19 июля, 2 – 14 июля и 3 – 28 июля 2021 года.

Однако, данные метеостанции Шахристан тоже показывают аналогичную картину (рис. 5.28, б) с данными двух других метеостанций за июль и август месяца 2021 г. (рис. 5.27, б; 5.28, б).

Анализ результатов показывают, что «хотя количество атмосферных осадков на метеостанциях Дехавз, Искандеркуль и Шахристан незначительно, все-таки оно подчеркивает, что на вышеназванных метеостанциях, находящихся далеко от места селевые потоки, но установленных в горно-высокогорье, они все-таки наблюдаются» [306]. Поэтому с большой вероятностью можно сказать, что масса влажного воздуха проникла на территорию БРЗ с запада, как и весь РТ, и разлила свои осадки в западные части долины, а также, горы препятствовали прохождению влажных масс воздуха. Выявлено, что как обычно, в 1-9 и 26-28.07.2021 г. на территорию ЦА и РТ, «со стороны Атлантического океана и Средиземного моря поступал горячий и сухой тропический воздух, и температура в РТ повысилась не только в долинах, но и на высотах более 3000 м н.у.м., где дневная температура достигала 20-24°C и возникла опасность возникновения гляциальных селей» [306-307].

Полученные результаты показывают, что 14.07.2021 г. на р. Сугат из сая, берущего начало из ледника С.Нафиси сошел селевой поток, в результате которого автотрасса Вахдат – Лахш на 250-м км был засыпан камнями и гравием, на протяжении 300-500 м [257]. По данным КЧСиГО [273-274], «такой же случай, в Ляхшском районе, с той же последовательностью, произошел 28.07.2021 г. Если причиной селя 28.07 (2 селя за 1 день) в названном районе было повышение суточной температуры 26-28.07 и быстрое таяние ледников, то причиной селя 14.07, вероятно, было повышение температуры в течение 1-9.07, быстрое таяние ледников и критическое наполнение ледниковых оз. на леднике С.Нафиси» [306-307]. Одновременно, наблюдаемые за 13-14.07.2021 г. осадки ускорили процесс схождения селя из одного (или нескольких) переполненного ледникового озера, т.е. произошло смешанное воздействие, экстремальное повышение температуры воздуха 1-9.07 и ее снижение 12-14.07. Естественно ясно, что «такая ситуация подтверждает вышеизложенные слова о влиянии климатических изменений на динамику и движение ледников, образование ледниковых озер и возможном риске их прорыва» [306-307].

Необходимо отметить, что проведенное в ходе этой экспедиции, организованной «Центром изучения ледников НАН Таджикистана» в 15-30.09.2021 г. на ледника С.Нафиси, результаты экспедиции показывают, что «в 14.07.2021 г. с ледникового холма над озером откололся большой кусок льда, упал в полное, после прохождения дождей, водой ледниковые оз., переполнил его, и большое количество воды, в виде селевого потока выплеснулось и стекло вниз» [306-307]. Поэтому, на рис. 5.28 приведены графики изменения температуры и количества осадков на ближайшей к событию метеостанции Ляхш.



**Рис. 5.29.** Данные о дневной ( $t_1$ ) и ночной ( $t_2$ ) температуре воздуха (а), а также дневных ( $p_1$ ) и ночных ( $p_2$ ) атмосферных осадках (б) за июль 2021 года по наблюдениям метеостанции Ляхш

**Примечание:** на рисунке стрелками также приведены сели, происшедшие в отдельных регионах страны: 1 – 14 июля и 2 – 28 июля 2021 года.

Результаты показывают, что связь температуры (дневная температура) и количества осадков достаточно тесная [ $r(t_1, t_2) = 0,73$ ,  $r(t_1, p_1) = -0,95$ ,  $r(t_1, p_2) = -0,95$ ], и между ночной температурой и осадками (дневными и ночными), а также между ночными и дневными осадками существует очень слабая связь [ $r(t_1, p_2) = 0,48$ ,  $r(t_2, p_2) = 0,31$ ,  $r(p_1, p_2) = 0,31$ ] (рис. 5.29, б).

Анализ результатов (рис. 5.25, а) показывают, что помимо тесной взаимосвязи между дневной и ночной температурами на метеостанции Дехавз и селевым потоком 19.07 в Пенджикенте, наблюдается также связь между изменением температуры и селевыми потоками 14 и 28.07 в Ляхше (рис. 5.29, а), хотя выбранная метеостанция Дехавз расположена очень далеко от места их прохождения. Отсюда можно сделать вывод, что ход изменения температур

перед прохождением селевых потоков, происходит практически одинаково по всей территории республики.

Таким образом, на основании анализа данных по происшедшим в мае месяце селевым потокам, было выявлено, что при расчете коэффициента корреляции между температурой воздуха и осадками (таб. 5.10), а также между дневными и ночными осадками, во многих случаях, связь этих величин оказывается слабой (или слишком тесной). По всей вероятности, причиной является очень малый объем данных по осадкам, несовпадение дней и ночей с осадками и большой разброс их значений ( $\sigma$ ) относительно среднего (табл. 5.10). Анализ результатов по изменению температуры до наступления крупномасштабных обычных и ледниковых (гляциальных) селей показывает, что практически на всех метеостанциях ход этих изменений одинаков и имеет вид, приведенный на рис. 5.26 (а) и 5.29 (а). Поэтому такой ход изменения температуры воздуха можно принять в качестве предвестника селевых потоков (обычных или ледниковых).

Иначе говоря, «из-за наплыва влажного, теплого и холодного воздуха в пределы страны, в определенные дни и их смешивания устанавливается неустойчивая погода, вызывающая циклоны с теплыми и холодными фронтами и при пересечении горной местности, образуются конвективные дождевые облака» [307]. Потому что, конвективные облака очень мощные и вызывают сильные дожди в высокогорьях, сопровождающиеся крупными селями, сходящимися в долины (селей, происшедших в Пенджикенте 19.07 и 05.08.2021 г.), хотя в долинах могут наблюдаться небольшие дожди или полное их отсутствие. В то же время, на метеостанциях, установленных в высокогорье, могут регистрироваться значительные осадки, а на станциях, находящихся в долинах - незначительные (даже могут не регистрироваться осадки).

Из-за небольшого количества данных по осадкам и их большого разброса, можно полагаться только на количество осадков (более 14 мм), наблюдаемое в день событий или накануне их возникновения, а полагаться на значения коэффициентов корреляции между температурой воздуха и осадками, а также

между дневными и ночными осадками - не рекомендуется. Однако, рассчитанный коэффициент корреляции между дневными и ночными температурами можно считать надежным, будь он большим или малым.

В целом, «метеонаблюдение за ходом изменения температуры показало, что быстрое повышение её в теплом периоде увеличивает вероятность быстрого таяния ледников и возникновения гляциальных селей, а ее резкое падение может вызывать обычные сели» [306-307]. Иногда может наблюдаться смешанное воздействие, как например, при гляциальном селевом потоке 14.07.2021 г. в Ляхше (рис. 5.26 (а) и 5.29 (а)). Поэтому, ход этого изменения одинаков практически на всех метеостанциях страны и может быть принят в качестве предвестника селевых потоков.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Климатические изменения тесно связаны с изменением общей циркуляции атмосферы (синоптико-климатологические представления), характеризующие поведением центров действия атмосферы, оказывающие влияние на территорию исследуемого региона. Установлено, что при росте среднеглобальной температуры в июле 1943-2023 гг. составляющий  $R^2 = 0,804$ , повышение в стране за 1961-2011 гг. составило  $0,2-1,9^{\circ}\text{C}$ ., с наибольшим повышением температуры в осенне-зимний период на  $0,6^{\circ}\text{C}$  в долинах и на  $0,7^{\circ}\text{C}$  в горах, а в весенне-летний период ее роста в среднем по страну составило  $0,1-0,4^{\circ}\text{C}$  [7-А; 26-А; 29-А; 36-А; 62-А; 69-А; 70-А].

2. Изменение регионального климата Таджикистана в зависимости от географо-орографических условий и зонально-высотного распределения дифференцируется: по каждой декаде за 1931-2020 гг. тренд для долины и равнины (до 1000 м) составляет  $0,19^{\circ}\text{C}$ , для районов перехода от долины к высокогорью (до 2000 м) –  $0,11^{\circ}\text{C}$ , для горных районов (от 2000 до 3000 м) –  $0,11^{\circ}\text{C}$  и для высокогорных районов (выше 3000 м) –  $0,07^{\circ}\text{C}$ . Сезонная температура зимой составляет  $0,32^{\circ}\text{C}$ , весной –  $0,51^{\circ}\text{C}$ , летом –  $0,22^{\circ}\text{C}$  и осенью –  $0,17^{\circ}\text{C}$ . В Таджикистане за период 1940-2020 гг. годовое количество осадков на высоте до 1000 м уменьшается с тренда  $R^2 = 0,002$ , на высотах от 1000 до 2000 оно увеличивается с показателем  $R^2 = 0,031$ , а в высокогорных районах выше 2500 м остается неизменной с значения  $R^2 = 6\text{E}-06$  [1-А; 12-А; 22-А; 23-А; 36-А].

3. Среднемноголетняя температура в горных и предгорных районах, на примере БРЗ, согласно тридцатилетнему стандарту изменения климата, имеет явную тенденцию роста, при этом показатель достигает на  $0,21^{\circ}\text{C}-12,3^{\circ}\text{C}$  (в период 1931-1960 гг.)  $4,33^{\circ}\text{C}-12,6^{\circ}\text{C}$  (за 1961-1990 гг.) и  $4,69^{\circ}\text{C}-13,2^{\circ}\text{C}$  (в 1991-2020 гг.), а в Анзобе наоборот отмечается понижение температуры ( $-2,03^{\circ}\text{C}$ ;  $-1,79^{\circ}\text{C}$ ;  $-1,53^{\circ}\text{C}$ ). Вместе с тем, на основе среднедекадных значений температуры за период 1931-2020 гг. выявлена тенденция ее повышения по метеостанциями Зарафшанской долины:  $R^2 = 0,791$  (Пенджикент);  $R^2 = 0,427$

(Сангистон);  $R^2 = 0,692$  (Мадрушкат);  $R^2 = 0,598$  (Искандеркуль) и  $R^2 = 0,422$  (Дехавз) [18-А; 25-А; 33-А].

4. Корреляционной зависимости температуры на метеостанциях БРЗ за два периода 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг. характерны два разных значения: значимая корреляция температуры между данными метеостанций Искандеркуль и Дехавз (0,962) за период 1961-1990 гг., а наименьшее значение корреляции между Сангистон и Дехавз (0,257) за период 1991-2020 гг. При этом, значимая взаимная корреляция осадков 0,906 между данными метеостанций Сангистона и Искандеркуля наблюдалось в 1991-2020 гг., а наименьшая – между метеостанциями Пенджикента и Искандеркуля (0,313). Метеостатрасчеты позволяют утверждать, что взаимная корреляция температуры в 1991-2020 гг. относительно слабая по сравнению с показателями периода 1961-1990 гг., а результаты взаимной корреляции атмосферных осадков практически противоположна значениям температуры [18-А; 25-А; 33-А].

5. На основе сравнительных анализов установлено, что потепление климата оказывает значительное влияние на увеличение расхода воды реки Зерфшан: среднемесячное значение речного стока за тридцатилетний период 1991-2020 гг. (176,2 м<sup>3</sup>/с) относительно выше среднего значения за 1961-1990 гг. составляет 153,4 м<sup>3</sup>/с. Установлено, что тесная корреляция температуры со среднемноголетним расходом воды реки между метеостанцию Дехавз (0,432) и гидропостом Дупули за 1961-1990 гг., а сильная корреляция осадков со средним многолетним расходом воды реки между Мадрушкатом (0,579) и Дупули в период 1961-1990 гг. [24-А; 33-А; 50-А].

6. Теоретическая взаимосвязь таяния горных ледников с метеорологическими колебаниями, по каждой декаде были рассчитаны на основе среднегодовых значений температуры и осадков по метеостанциям Дехавз за периоды 1977-1988 гг., 1988-1999 гг., 1999-2009 гг. и 2009-2019 гг., позволила установить, что, ледники верховья р. Зерафшан деградируют неравномерно от декады к декаде, а среднегодовая скорость сокращения их языков (рассчитанная для каждой декады) составляет: Зерафшан – 24,4 м/г, Рамы – 41,1 м/г,

Россинджа – 22,7 м/г, Туро – 10,4 м/г, Дихаданга – 7,1 м/г и ГГП – 4,1 м/г. При определено, что регрессионная зависимость может быть признана сильной только для двух ледников: Рама и Туро, а остальные ледники показывают явно слабые связи с колебаниями средних значений температуры по декадам наблюдения [6-А; 14-А; 25-А; 33-А; 46-А].

7. На основе динамики изменения метеовеличин по метеостанциям Файзабад, Дангар и Яван, (нормативы тридцатилетнего стандарта климатических изменений – до (1951-1980 гг.) и после (1981-2010 гг.) относительно территориального расположения Нурекского водохранилища, определено, что водохранилища предгорных районов не оказывают существенного отрицательного влияния на изменение метеоусловий прилегающих регионов. В тоже время, установлено, что водохранилища равнинных районах в частности «Бахри Точик» оказывают тесное влияние на изменение метеоусловий прилегающих районов. При этом, количество дней с температурой  $t \geq 40^{\circ}\text{C}$  сократилось с 94 в декаде 1940-1949 гг. до 26 в декаде 1980-1989 гг. [5-А; 20-А; 31-А; 34-А; 36-А; 64-А; 65-А].

8. Относительно качества воды следует отметить, что исследованиями установлено, что качество воды в частности озера Искандеркуль и устье реки Саратаг по всем показателям соответствует требованиям ГОСТ 2874-82 «Питьевая вода» и СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода централизованных систем водоснабжения»; в то же время, определено, что содержание Al, N<sub>2</sub>, Fe, K, Ca, Si, Mn, Cu, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, Pb, Se, S, F, Cl, Cr, Zn и других неорганических веществ гораздо ниже установленной для них ПДК для питьевой воды, а также требованиями Всемирной организации здравоохранения и Европейской Союзу [2-А; 10-А; 18-А; 33-А; 43-А; 48-А; 55-А].

9. По результатам анализа качества воды из точек до (р. Ягноб) и после (р. Фондарья) хвостохранилища АГОК, выявлено, что водные артерии верхнего и среднего течения Зерафшанской долины не подвержены антропогенно-промышленной нагрузке, т.е. минерализация их воды в основном обусловлена смыванием водой прибрежных минеральных отложений, а также определено,

что содержание  $\text{NO}_2$ , F, Al, Fe, Mn, Cu, Cr, Zn и других химэлементов и химсоединения в воде р. Зерафшан гораздо ниже установленной для них ПДК [3-А; 33-А; 41-А; 49-А; 51-А; 53-А; 58-А].

10. Оценка эффективного использования гелиоэнергетики в различных географических условиях, в горных и высокогорных районах Таджикистана выбраны и изучены 11 точек, расположенные по идентичной широте, а также имея в виду, что центральная часть БРЗ является одним из самых засушливых регионов страны, позволили сделать вывод о том в холодный период года, т.е. в периоды относительно пасмурной погоды, с учетом того, что показатель продолжительности солнечной радиации в Вешабе и Оббурдоне выше, чем в Пенджикенте, то выявлена наивысшее значение и целесообразность её использования [15-А;19-А;60-А;61-А].

11. Предложенная концептуальная модель оптимального управления водно-энергетической системы на базе Рогунского, Нурекского и Даштиджумского (планируемого) водохранилищ многолетнего регулирования позволяет обеспечить водно-энергетическую безопасность Таджикистана, а с включением в общую систему Токтогульского и Камбаратинского водохранилищ позволит обеспечить водно-энергетическую безопасность региона. На наш взгляд, регулирование речного стока крупными водохранилищами многолетнего регулирования позволяют наиболее полно перераспределить во времени объём стока (аккумулировать воды в период половодий и увеличить водность рек в период маловодья) в соответствии с требованиями водно-энергетической системы [8-А; 9-А; 35-А; 37-А; 40-А; 52-А].

12. Исследования возникновения стихийных бедствий гидрометеорологического характера, позволили констатировать, что с глобальным потеплением климата в Таджикистане за 2000-2023 гг. увеличилось количество и интенсивность природно-климатических катаклизмов. Стихийные бедствия увеличилось по линейному уравнению  $y = 19,382x + 2756,2$  и природно-климатических явлений по  $y = 22,641x + 153,82$ , а величины их достоверности равны  $R^2 = 0,334$  и  $R^2 = 0,353$  соответственно. Выявлено, что в период 2014-2023 гг. произошло

5988 стихийных природно-климатических явлений, а стихийные бедствия, нанесли ущерб экономике республики более 1 млрд сомони, из которых 93,73% пришлось в период 2014-2020 гг. На основе полученных данных сделан вывод о том, что связан прежде всего с большим количеством гидрологических явлений, а за 2012-2023 гг. в результате ОЯ погибли 302 человека, 82% из-за: селей (35,76%), лавин (30,79%) и камнепадов (15,56%) [11-А; 13-А; 21-А; 30-А; 33-А; 44-А; 57-А].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Результаты, полученные в диссертации, могут быть широко использованы для разработки сценариев и математических моделей по прогнозу динамики изменения метеоусловий и гидрологического режима на в горно-предгорной зоне.

2. Результаты диссертации могут быть широко использованы в области повышения потенциала, устойчивости и адаптации к климатическому изменению позволяющие укрепить институциональную составляющую позволяющие повышение уровня осведомленности об изменении климата заинтересованных сторон, а также совершенствовать национальную систему гидрометеорологического мониторинга в горных и предгорных регионах.

3. Результаты по корреляционным зависимостям метеоусловий и гидрологических характеристик речных бассейнов горных и предгорных районов могут быть широко использованы для разработки планов аграрного, экономического, промышленного и энергетического сектора и рационального использования водных ресурсов.

4. Результаты исследований по климатическим обусловленным природным ресурсам горных и высокогорных районов рекомендуются для широкого применения при планировании комплексного развития отдельных регионов горных и высокогорных территорий с учетом климатических зависимый секторов экономики.

5. Концептуальная модель оптимизации управления водно-энергетической отрасли, разработанная для параллельных речных бассейнов горно-предгорной зоны, могут быть использованы на региональном уровне, способствующие переходу от командно-административного метода управления на системный метод управления в пределах гидрографических, энергетических и потребительских уровнях.

6. На основе анализа результатов стихийных бедствий гидрометеорологического характера, а также влияния горной орографии на ход и тенденцию погодных условий, рекомендуется установление автометеостанций в горных и высокогорных районах, характерные частыми стихийными бедствия, а также автооборудования для постоянного мониторинга за состоянием погодных условий.

7. Рекомендуется налаживание тесного сотрудничества между соответствующими министерствами и ведомствами РТ и исполнительными органами государственной власти и местного самоуправления горных городов и районов в области обмена информацией.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. BBC News. Изменение климата: в мире теперь в два раза больше дней, когда зашкаливает за 50°C // URL: <https://www.bbc.com/russian/features-58562017>.
2. Амирзода, О.Х. Научно-прикладные основы управления процессом водопользования и гидрохимические особенности водных ресурсов Республики Таджикистан / О.Х. Амирзода. - Дисс. на соис. уч. степ. д.т.н. - Душанбе, 2021.
3. РЭЦЦА. Таджикистан: Ситуационный анализ социально-экономического развития в условиях изменения климата // URL: [https://careseco.org/upload/02/rus\\_CSA%20Tajikistan.pdf](https://careseco.org/upload/02/rus_CSA%20Tajikistan.pdf).
4. WMO – No.1316. State of the Global Climate 2022. - Geneva, Switzerland, 2023. – 49 p.
5. Мирзохонова С. Влияние изменения климата на гидрологический режим бассейна реки Пяндж / Ситора Мирзохонова. - LAP Lambert Academic Publishing, 2021. - 137 с.
6. WMO. July 2023 is set to be the hottest month on record, 27 July 2023 // URL: <https://wmo.int/news/media-centre/july-2023-set-be-hottest-month-record>.
7. NASA Says 2022 Fifth Warmest Year on Record, Warming Trend Continues // URL: <https://climate.nasa.gov/news/3246/nasa-says-2022-fifth-warmest-year/>
8. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Изменение климата. Информационный бюллетень. - №105. – октябрь-ноябрь 2023 года // URL: <http://www.global-climate-change.ru/index.php>.
9. Copernicus Climate Change Service. Global air and ocean temperatures reach new record highs, 8 August 2023 // URL: <https://climate.copernicus.eu/july-2023-global-air-and-ocean-temperatures-reach-new-record-highs>.
10. WMO – No.1264. State of the Global Climate 2020. - Geneva, Switzerland, 2021. – 52 p.
11. WMO – No.1290. State of the Global Climate 2021. - Geneva, Switzerland, 2022. – 54 p.

12. WMO – No. 1347. State of the Global Climate 2023. - Geneva, Switzerland, 2024. – 47 p.
13. WMO. Global Seasonal Climate Update // URL: <https://www.wmolc.org/gscuBoard/list>.
14. Курбонов, Н.Б. Влияние природных феноменов Эль-Ниньо и Ла-Нинья на изменение климата Таджикистана (Часть первая) / Н.Б. Курбонов, Ф.А. Кариева, А.А. Гулахмадов, и др. // Евразийский Союз Ученых. Серия: междисциплинарный. - 2024. - №1 (110). - С.4-10.
15. Расулов, Т.А. Обоснование границ дорожно-климатических зон и расчетных характеристик крупнообломочных грунтов при проектировании дорожных одежд в условиях Республики Таджикистан / Т.А. Расулов. - Дисс. на соис. уч. степ. к.т.н. – Москва, 2019. - 190 с.
16. Курбонов, Н.Б. К вопросу изменения климата Таджикистана в условиях глобального потепления / Н.Б. Курбонов // Вестник Педагогического университета (Естественные науки). - 2022. - №3 (15). - С.22-31. - EDN QQFYLB.
17. Эколого-географические последствия глобального потепления климата XX века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири: Монография / Под. ред. Н.С. Касимова и А.В. Кислова. - М.: МАКС Пресс, 2011. - 496 с.
18. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, And Vulnerability // URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII\\_TAR\\_full\\_report-2.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII_TAR_full_report-2.pdf).
19. Бугаев, В.А. Климат Средней Азии и Казахстана / В.А. Бугаев. - Изд-во АН УзССР, Ташкент, 1946.
20. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
21. U.S. Global Change Research Program. Climate Science Special Report. Chapter 3: Detection and Attribution of Climate Change // URL: <https://science2017.globalchange.gov/>.
22. Всемирная метеорологическая организация. Наш будущий климат. ВМО - №952. - Женева, 2003. - 36 с.

23. Сводное ежегодное сообщение о состоянии и изменении климата на территориях государств-участников СНГ за 2022 год / Межгосударственный совет по гидрометеорологии государств-участников СНГ, 2023 г.

24. Рахмон, Э. Выступление на первой встрече Панели высокого уровня по воде и климату в формате видеоконференции, 03.03.2021 / Эмомали Рахмон // URL: <http://president.tj/node/25170> (на тадж. яз.).

25. Хубон, Н. О гендерных вопросах и уязвимости женщин при изменении климата в условиях Таджикистана / Н. Хубон, Н.Б. Курбон, Ф.А. Кариева // Молодой ученый. - 2025. - №4(555). - С.482-486. - EDN WZXKWC.

26. Ибатуллин, С.Р. Влияние изменения климата на водные ресурсы в Центральной Азии (Обобщающий отчет) / С.Р. Ибатуллин, В.А. Ясинский, А.П. Мироненков // Евразийский банк развития, 2009. - 57 с.

27. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан / В.Е. Чуб. - Ташкент, 2000. - 252 с.

28. Борисова Е.А. Особенности водного кризиса в Центральной Азии / Е.А. Борисова // История и современность, 2012. - №1. - С.138-146.

29. Будущее бассейна Амударьи в условиях изменения климата / Под ред. В.А. Духовного. – Ташкент: НИЦ МКВК Центральной Азии, 2018. – 328 с.

30. Гарелин, С.А. Повышение безопасности гидротехнических сооружений. Ч.2. На примере водохранилища Нурекской ГЭС на реке Вахш. Монография / С.А. Гарелина, Д.С. Давлатшоев, К.П. Латышенко, Н.Б. Курбонов. - Химки: АГЗ МЧС России, 2021. - 192 с.

31. Курбонов, Н.Б. Формирование состава водных ресурсов бассейна р. Зерафшан. Влияние изменения климата на условия формирования и химического состава водных ресурсов БРЗ. Монография / Н.Б. Курбонов, Г.Т. Фрумин. - LAP Lambert Academic Publishing, 2021. - 145 с.

32. Курбонов, Н.Б. Мониторинг изменения атмосферной температуры и осадков в Таджикистане за период 1961-2011 гг. / Н.Б. Курбонов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2014. - №1-3 (134). - С.76-80. - EDN VVSTOB.

33. Курбонов, Н.Б. Изменение климата за период 1961-2011 гг. в Таджикистане / Н.Б. Курбонов, Ш.Б. Курбонов // Земледелец («Кишоварз»). - 2014. - Т.63. - №3. - С.83-85. - EDN SZGZYV
34. Деминев, О.В. Краткая климатическая справка по Таджикской ССР. Рукопись. Бюро погоды / О.В. Деминев. - Душанбе, 1959.
35. Национальный план действий Республики Таджикистан по смягчению последствий изменения климата. - Душанбе: Таджикглавгидромет, 2003. - 264 с.
36. The Second National Communication of the Republic of Tajikistan under the United Nations Framework convention on Climate Change // В.Мakhmadaliev, А.Кауумов, V.Новиков, N.Мустаева, I.Ражабов. - Dushanbe, 2008. - 93 p.
37. The Fourth National Communication of the Republic of Tajikistan under the UN Framework Convention on Climate Change. - Dushanbe, 2022. - 260 p.
38. Саидов, И.И. Научно-прикладные и организационно-методологические основы управления водными ресурсами в зоне формирования стока / И.И. Саидов. - Душанбе-Бишкек: Дониш, 2012. - 380.
39. Жолдошева, Э. Адаптация к изменению климата в горных районах Центральной Азии. Серия обзоров по адаптации в горных районах / Э. Жолдошева, И. Ручевска, Л. Семерная // ООН – Окружающая среда, ГРИД-Арендал. Найроби, Вена, Арендал, Бишкек, 2017. - 128 с.
40. Мелешко, В.П. Потепление климата: причины и последствия / В.П. Мелешко // Химия и жизнь, 2007. - №4. - С.7-11.
41. РЭЦА. Изменение климата в Центральной Азии. Иллюстрированный обзор, 2020.
42. The First National Communication of the Republic of Tajikistan under the United Nations Framework convention on Climate Change / В.У. Мakhmadaliev, V.V. Novikov, А.К. Кауумов. - Dushanbe, 2002. - 138 p.
43. Хакимов, Ф.Х. Изменение температурного режима на территории Восточного Памира / Ф.Х. Хакимов, С.О. Мирзохонова, О.В. Мирзохонов // ДАН Республики Таджикистан, 2006. - Т.49. - №10-12. - С.948-954.

44. Хакимов, Ф.Х. Климат Таджикистана в связи с глобальным изменением климата / Ф.Х. Хакимов, С.О. Мирзохонова, Н.А. Мирзохонова // Вестник национального университета, 2006. - №2 (28). - С.177-187.

45. Хакимов, Ф.Х. Проблема изменения климата в Таджикистане и его последствия / Ф.Х. Хакимов, С.О. Мирзохонова, Н.А. Мирзохонова // Вестник национального университета, 2005. - №3. - С.151-156.

46. Каюмов, А.К. Влияние изменения климата на гидрологический режим водных артерий бассейна реки Пяндж / А.К. Каюмов, Т.Х. Расулзода, Н.Б. Курбонов, Ф.К. Восидов // Криосфера, 2022. - №1 (5). - С.91-104. - EDN NAFLHO.

47. Reports – IPCC // URL: <https://www.ipcc.ch/reports/>.

48. The Third National Communication of the Republic of Tajikistan under the under the United Nations Framework convention on Climate Change / Ed. by: A.Kayumov, V.Novikova. - Dushanbe, 2014. - 167 p.

49. Норматов, И.Ш. Исследование пространственного распределения атмосферных осадков Центрального и Западного Памира с применением стабильных изотопов поверхностных вод / И.Ш. Норматов, А.Ш. Хомидов, П.И. Норматов, А.О. Муминов // Гидрометеорологические исследования и прогнозы, 2022. - №3 (385). - С.98-111.

50. Normatov, I. Climate change impact on hydrological characteristics and water availability of the Mountain Pamir Rivers / I. Normatov, P. Normatov // Proc. IAHS. - 2020. - V.383. - P.31-41. <https://doi.org/10.5194/piahs-383-31-2020>.

51. Normatov, P.I. Meteorological Features of Climatic Zones in the Basin of the Transboundary River Pyanj / P.I. Normatov, B.A. Markaev, I.Sh. Normatov // Bul. Irkutsk St. Univ., 2017. - V.21. - P.106-113.

52. Evangelos, P. Deep decarbonisation pathways of the energy system in times of unprecedented uncertainty in the energy sector / P. Evangelos, G. James, K. Socrates // Energy Policy, №180 (2023) 113642 – <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113642>.

53. IPCC. IPCC Special Report. Emission scenarios. Summary for Policy Makers, 2000. - 27 p.

54. Semenov, S.M. Scenarios of anthropogenic changes in the climate system in the XXI century / S.M. Semenov, A.A. Gladilshchikova // *Fundamental and Applied Climatology*, 2022. - Vol.8. - No.1. - PP.75-106.
55. Джандаги, Н. Стохастическое моделирование стока речных систем Ирана в условиях климатической неопределенности и развития хозяйственной деятельности / Н.Джандаги. - Дисс. на соис. уч. степ. д.т.н. - Москва, 2016.
56. IPCC, 1992: *Climate Change 1992: The Supplementary Report of the IPCC Scientific Assessment. Report Prepared for IPCC by Working Group I*, in J.T. Houghton, B.A. Callander and S.K. Varney (eds.), Cambridge University Press, 1992.
57. IPCC Data Distribution Centre // URL: <https://www.ipcc-data.org/auto/ar4/model-UKMO-HADGEM1-change.html>.
58. WMO. Северо-Евразийский Климатический Центр // URL: <https://seakc.meteoinfo.ru/ru/svodnoe-ezhegodnoe-soobshchenie-o-sostoyanii-i-izmenenii-klimata>.
59. Курбонов, Н.Б. Изменение климата и циркуляция атмосферы в Таджикистане по моделям HadCM2 и UK-TR / Н.Б. Курбонов // *Вестник Педагогического университета*. - 2013. - №5-2 (54). - С.119-125. - EDN SCENST.
60. Курбонов, Н.Б. Моделирование изменения атмосферной температуры по моделям CCC-EQ и GFDL-TR / Н.Б. Курбонов // *Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук*. - 2013. - №1-2 (106). - С.122-129. - EDN VXKUQJ
61. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability* / Edited by: James J. McCarthy, Osvaldo F. Canziani, Neil A. Leary et al. // URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII\\_TAR\\_full\\_report-2.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII_TAR_full_report-2.pdf).
62. Мухаббатов, Х.М. Проблемы природопользования в горных регионах Таджикистана / Х.М. Мухаббатов. - Душанбе: Дониш, 2015. - 565 С.
63. Рахими, Ф. Рогун – гарантия устойчивого экологического и экономического развития региона / Ф. Рахими, Н. Курбон // *Водные ресурсы, энергетика и экология*, 2022. - Т.2. - №4. - С.109-122 (на тадж. яз.). - EDN SQDXTJ.

64. WMO. Airborne Dust Bulletin. No.4 – May 2020 // URL: <https://library.wmo.int/idurl/4/57466>.

65. WMO. New international coalition to combat sand and dust storms, 6 September 2019 // URL: <https://public-old.wmo.int/en/media/news/new-international-coalition-combat-sand-and-dust-storms>.

66. Новикова, Н.М. Эколого-географический аспект Аральского кризиса. Часть 1. Развитие Аральской проблемы, ее изучение, оценка и разработка мероприятий / Н.М. Новикова // Экосистемы: Экология и динамика, 2019. - Т.3. - №1. - С.5-66.

67. Поздняков, М.В. Оценка качества атмосферного воздуха в разных странах / М.В. Поздняков, С.И. Мазиллов, С.В. Райкова // Экология человека, 2023. - Т.30. - №5. - С.325-339. – <https://doi.org/10.17816/humeco456406>.

68. Портал открытых данных Агентства по статистике // URL: <http://data.stat.tj/?lang=ru>.

69. Kyle S. Van Houtan. The geographic disparity of historical greenhouse emissions and projected climate change / Kyle S. Van Houtan, Kisei R. Tanaka, Tyler O. Gagné, Sarah L. Becker. // Science Advances, 2021. - Vol.7. - I.29.

70. The World Bank. Newsletter. Europe and Central Asia Region. - June 2009. - Issue 5. - 5 p.

71. IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core W.T., Lee H. and Romero J. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp.

72. Яншин, А.Л. Опасен ли парниковый эффект? / А.Л. Яншин // Наука и жизнь, 1989. - №12. - С.22-25.

73. Лысцов, В. Угрожающее потепление / В. Лысцов. // Наука и жизнь, 2005. - №2. – URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/828/>.

74. EDGAR. CO2 emissions of all world countries // URL: [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report\\_2022?vis=tot#emissions\\_table](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2022?vis=tot#emissions_table).

75. BP. bp Statistical Review of World Energy 2022 | 71st edition // URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>.

76. The World Bank. CO2 emissions (kt) // URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT?end=2020&start=1990&view=chart>.

77. global Carbon Atlas // URL: <https://globalcarbonatlas.org/emissions/carbon-emissions/>.

78. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК // URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html>.

79. Первый двухгодичный доклад Республики Таджикистан по инвентаризации парниковых газов по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. - Душанбе, 2018. - 115 с.

80. Послание Президента Республики Таджикистан уважаемого Эмомали Рахмона «Об основных направлениях внутренней и внешней политики республики», 28.12.2023 // URL: <http://president.tj/node/32191> (на тадж. яз.)

81. Стратегии развития «зелёной» экономики в Республике Таджикистан на 2023-2037 годы. - Душанбе, 2022. - 65 с.

82. Сабуриён, М. Природные условия и особенности восточного Таджикистана (Памир) / М. Сабуриён // Вестник педагогического университета. Естественные науки, 2019. - №3-4. - С.79-84.

83. Абдуллаев, С.Ф. Комплексные исследования пылевых и газовых примесей в аридных зонах и их влияние на региональный климатический режим юго-восточной части Центральной Азии / С.Ф. Абдуллаев. – Дисс. на соиск. уч. степ. д.ф.-м.н. - Душанбе, 2014. - 315 с.

84. Курбонов, Н.Б. Экстремальные температуры воздуха в условиях юго-западной части Таджикистана в теплый период и связанные с ними опасные явления погоды / Н.Б. Курбонов, С.Ф. Абдуллаев, С.О. Мирзохонова, и др. // Климатические риски и космическая погода: Материалы Международной конференции. - Иркутск, 14-17 июня 2021 г. - С.130-140. - EDN ОРКНХJ.

85. Маслов, В.А. Динамика оптических и микрофизических параметров природного пылевого аэрозоля / В.А. Маслов. – Дисс. на соиск. уч. степ. к.ф.-м.н. - Душанбе, 2015. - 104 с.

86. Абдуллаев, С.Ф. Микрофизические и радиационные характеристики аэрозоля в атмосфере Душанбе по данным АЭРОНЕТ / С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов, Н.Б. Курбонов, Т.Х. и др. // Вестник Таджикского технического университета, 2012. - №3 (19). - С.20-25. - EDN PXZZXN.

87. Абдуллаев, С.Ф. Вариации аэрозольной оптической толщи атмосферы в Душанбе по данным АЭРОНЕТА / С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов, Н.Б. Курбонов и др. // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2013. - №1-1 (102). - С.115-119. - EDN VVVQHD

88. Абдуллаев, С.Ф. Мониторинг атмосферной радиации в Душанбе с помощью наземного измерительного комплекса / С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов, Н.Б. Курбонов и др. // Известия АН Республики Таджикистан. - 2013. - №3 (152). - С.45-51. - EDN RVMATZ.

89. Holben, B.N. AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization / B.N. Holben, T.F. Eck, I. Slutsker, et al. // Rem. Sens. Environ. - 1998. - V.66. - PP.1-16.

90. Smirnov, A. Cloud screening and quality control algorithms for the AERONET database / A. Smirnov, B.N. Holben, T.F. Eck, et.al. // Rem. Sens. Env. - 2000. -V.73. -PP.337-349.

91. Dubovik, O. Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from AERONET sun and sky-radiance measurements / O. Dubovik, A. Smirnov, B.N. Holben, et.al. // Geophys. Res. - 2000. - V.105. - PP.9791-9806.

92. Holben, B.N. An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET / B.N. Holben, D. Tanre, A. Smirnov, et.al. // Geophys. Res. - 2001. - V.106. - PP.12067-12097.

93. Агентство по гидрометеорологии Комитета по охране окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан // URL: [https:// www.meteo.tj/ru/ecological-review](https://www.meteo.tj/ru/ecological-review).

94. ООН. Устойчивое горное развитие, 2019. - 22 с. – URL: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N19/226/68/PDF/N1922668.pdf?OpenElement>.

95. Баденков, Ю.П. Жизнь в горах. Природное и культурное разнообразие – разнообразие моделей развития / Ю.П. Баденков. – М.: ГЕОС, 2017. - 479 с.

96. Макоев, Х.Х. Основные проблемы устойчивого развития горных регионов / Х.Х. Макоев // Юг России: экология, развитие. - 2009. - №2. - С.128-133.

97. UN General Assembly (2003). A/RES/58/216: Sustainable development in mountain regions. - 4 p.

98. UN General Assembly (2022). A/RES/77/172: Sustainable Mountain Development. - 10 p.

99. Liniger, H. Mountains of the World. Water Tower for the 21st Century. A contribution to Global Freshwater Management / H. Liniger, R. Weingartner, M. Grosjean. - Berne: Paul Haupt AG, 1998. - 32 p.

100. Bruno Messerli. Mountains of the World: Vulnerable Water Towers for the 21st Century / Bruno Messerli, Daniel Viviroli, Rolf Weingartner. // AMBIO A Journal of the Human Environment, 2004. No.13. - PP.29-34.

101. Баденков, Ю.П. Устойчивое развитие горных территорий / Ю.П. Баденков // Изв. АН СССР. Сер. геогр. - 1988. - №6. - С.7-21.

102. Голубчиков, Ю.Н. Горы в жизни народов / Ю.Н. Голубчиков // География в школе. - 1988. - №2. - С.28-33.

103. Курбонов, Н.Б. Сравнительная оценка использования водно-земельных ресурсов плато Хатлонской области (Таджикистан) и штата Небраски (США) / Н.Б. Курбонов, А.А. Абдуллозода // Молодой ученый. - 2023. - №18 (465). - С.176-185. - EDN IOHVDI.

104. United Nations University – Institute for Environment and Human Security. WorldRiskReport 2014. - P.68.

105. United Nations University – Institute for Environment and Human Security. WorldRiskReport 2016. - P.69.

106. РЭЦАА. Анализ деятельности в области адаптации к изменению климата в Центральной Азии: потребности, рекомендации, практики. - Алматы, 2011. - 156 с.
107. Notre Dame Global Adaptation Initiative. Country Rankings // URL: <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/rankings/>.
108. WMO – No.100. Guide to Climatological Practices. - Geneva, Switzerland, 2018. – 97 p.
109. Курбонов, Н.Б. Некоторые вопросы о взаимосвязи метеорологии и гидрологии / Н.Б. Курбонов, С.О. Мирзохонова, Ш.Б. Курбонов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2015. - №1-5-1 (188). - С.49-52. - EDN UOHDEB.
110. Курбонов, Н.Б. Мониторинг метеорологических условий и их влияние на состояние ледников бассейна реки Зеравшан / Н.Б. Курбонов, П.И. Норматов // Известия ВУЗов (Кыргызстан). - 2015. - №4. - С.82-86. - EDN ULPPAN.
111. Normatov, P.I. Assessment of the influence of climate change on snow-ice resources and hydrology of Mountain Pamir rivers / P.I. Normatov, R. Armstrong, I.Sh. Normatov // Sustainable Development in Mountain Areas, 2019. - №11. - No.3(41). -PP.295-304.
112. The World Bank. Потенциал адаптации к изменению климата в Республике Таджикистан: аналитическая и институциональная оценка. - Душанбе, 2012. - 110 с.
113. Исмонкулов, С. Педагогические аспекты повышения уровня экологического образования и воспитания студентов: на материалах технических вузов Республики Таджикистан / С. Исмонкулов. - Дисс. на соис. уч. степ. к.пед.н. - Душанбе, 2010 - 162 с.
114. Асоев, Х.М. Экологические ценности и их важнейшая роль в укреплении государственной независимости / Х.М. Асоев // Водные ресурсы, энергетика и экология. - 2021. - Т.1. - №3. - С.154-157 (на тадж. яз.).
115. Фазлиддини, Н. Современное состояние мониторинга водных объектов в Республике Таджикистан / Н. Фазлиддини, З.Д. Холназарова, А.М.

Хакдодов, О.Х. Амирзода // Водные ресурсы, энергетика и экология. - 2023. - Т.3. - №4. - С.142-151 (на тадж. яз.)

116. Сборник выступлений Президента Республики Таджикистан, Председателя Народно-демократической партии Таджикистана Эмомали Рахмона в области воды и климата в период независимости Республики Таджикистан. - Душанбе, 2023. - 444 с. (на тадж. яз.)

117. Climate Change in Central Asia. Decarbonization, Energy Transition and Climate Policy / Editors: Rahat Sabyrbekov, Indra Overland, Roman Vakulchuk // URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-29831-8>.

118. Задорин, М.Ю. Государственная политика зарубежных арктических стран в области адаптации к изменениям климата: на примере «национальных адаптационных планов» / М.Ю. Задорин, Е.Ф. Гладун // Правоприменение, 2024. - Т.8. - №4.

119. Государственная комплексная программа развития экологического воспитания и просвещения населения Республики Таджикистан на 2021-2025 годы // URL: [https://www.adlia.tj/show\\_doc.fwx?rgn=139277](https://www.adlia.tj/show_doc.fwx?rgn=139277).

120. Trend analysis of dam inflow data using the trend accuracy index and the potential-evapotranspiration correction factor // Url: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC13022278>

121. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата, 1992 // URL: [https://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/](https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/)

122. Conference of the Parties (COP) // URL: <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>.

123. Бобиев, Д.Ф. Влияние преобразования речных систем Таджикистана на прилегающие территории в условиях изменяющегося климата / Д.Ф. Бобиев. – Дисс. на соиск. уч. степ. к.г.н. - Душанбе, 2015. - 104 с.

124. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 1998 // URL: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.

125. United Nations. Conference of the Parties. Twenty-first session. Paris, 30 November to 11 December 2015 // URL: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf>.
126. NDC Registr // URL: <https://unfccc.int/NDCREG>.
127. Thurman, M. Natural Disaster Risks in Central Asia: A Synthesis / Michael Thurman. – UNDP/BCPR, Regional Disaster Risk Reduction. - 2011. - 40 p.
128. Didovets, I. Central Asian rivers under climate change: Impacts assessment in eight representative catchments / Iulii Didovets, Anastasia Lobanova, Valentina Krysanova, et al. // Journal of Hydrology: Regional Studies. - 2021. - V.34.
129. Representative Concentration Pathways Database // URL: [https:// previous.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/](https://previous.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/).
130. World Bank Group. Climate Change Knowledge Portal. Tajikistan Climate Risk Country Profile // URL: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>.
131. Норматов, И.Ш. Сравнительная оценка формирования стока рек в климатических зонах горного Памира / И.Ш. Норматов, Р. Армстронг Р., П.И. Норматов // Устойчиво развитие горных территорий. - 2020. - Т.12. - №3 (45). - С.366-372.
132. Норматов, П.И. Мониторинг метеорологических условий зоны формирования водных ресурсов трансграничной реки Пяндж (Таджикистан) / П.И. Норматов, Г.Т. Фруммин, И.Ш. Норматов, А.О. Муминов // Учений записки РГГМУ. - 2017. - №47. - С.9-15.
133. Норматов, П.И. Геоэкологическая оценка загрязненности поверхностных вод и снегов бассейна трансграничной реки Зеравшан / П.И. Норматов. - Дисс. на соиск. уч. степ. к.геогр. - Санкт-Петербург, 2016. - 143 с.
134. Мирзохонова, С.О. Изменение метеорологических характеристик в верховьях р. Пяндж в связи с глобальными потеплениями / С.О. Мирзохонова, И.Ш. Норматов, Н.А. Мирзохонова, и др. // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. - 2019. - №4. - С.91-96.
135. Мирзохонова, С.О. Пространственное распределение осадков по климатическим зонам верховья трансграничной реки Пяндж / С.О. Мирзохонова,

Б.А. Маркаев, П.И. Норматов, Р.У. Эшанкулова // Известия ИГУ, Серия Науки о Земле. - 2018. - Т.23. - С.74-82.

136. Normatov, I.Sh. Distribution of snow cover by climatic zones of the trans-boundary Pyanj river basin / I.Sh. Normatov, V.V. Goncharuk, P.I. Normatov, Q.N. Odinaev // Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. - 2020. - Vol.3. - No.385. - PP.77-85. – <https://doi.org/10.32014/2020518-1467.72>.

137. Мирзохонова, С.О. Изменение расхода воды в верховье трансграничной реки Пяндж / С.О. Мирзохонова, А.О. Муминов, О.В. Мирзохонов, Н.Б. Курбонов // Наука и инновация. Серия естественных наук. - 2017. - №4. - С.78-81.

138. Мирзохонова, С.О. Гидрограф трансграничной реки Пяндж и ее больших притоков / С.О. Мирзохонова, А.О. Муминов, Дж.Г. Шарипов, Н.Б. Курбонов // Наука и инновация. Серия естественных наук. - 2017. - №3. - С.84-89.

139. Мирзохонова, С.О. Изменение температуры воздуха и количества осадков и их влияние на состояние оледенения бассейна реки Мургаб / С.О. Мирзохонова, Н.М. Неккадамова, Дж.Г. Шарипов, Н.Б. Курбонов // Материалы Респ. науч.-преподав. состава и сотрудников ТНУ, посвящены «20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» (2020-2040)». - Душанбе, 2020. - С.76-77.

140. Норматов, П.И. Изменение гидрологических характеристик реки Гунт в зависимости от метеорологических условий / П.И. Норматов, К.Н. Одинаев, И.Ш. Норматов // Известия ИГУ, Сер. Наука о Земле. - 2020. - Т.32. - С.103-112. – <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.32.103>.

141. Абдурахимов, Б.Х. Формирование гидрологии реки Гунт в зависимости от пространственного распределения сезонных осадков / Б.Х. Абдурахимов, К.Н, Одинаев, А.О. Муминов // Вестник ТНУ, Серия естественных наук. - 2023. - №2. - С.120-128.

142. Неккадамова Н.М. Изменения климата бассейна реки Бартанг при глобальном потеплении / Н.М. Неккадамова, С.О. Мирзохонова, Н.Б. Курбонов // Гидрометеорологические исследования в условиях изменения климата:

актуальные проблемы и пути их решения: Материалы Международной научно-практической конференции. - Ташкент, 3-4 июня 2022 г. - С.141-145.

143. Мирзохонова, С.О. Влияние климатических изменений на сток реки Вандж по данным наземных наблюдений / С.О. Мирзохонова, Дж.Б. Ниязов, Н.Б. Курбонов // Водные ресурсы, энергетика и экология. - 2022. - Т.2. - №3. - С.24-33. - EDN OSTQSI.

144. Норматов, И.Ш. Метеорология бассейнов рек Ванч и Гунт, применение статистических методов для корреляционного анализа гидрологических характеристик / И.Ш. Норматов, А.О. Муминов, А.Ш. Хомидов, Б.Х. Абдурахимов // Кишоварз. - 2022. - №4 (97). - С.123-129.

145. Normatov, I.Sh. Hydrology of the Vanch river the tributary of the Transboundary Pyanj river under climate change / I.Sh. Normatov, V.V. Goncharuk, P.I. Normatov, Q.N. Odinaev // Bull. NAS Republic of Kazakhstan. - 2020. - V.3. - No.385. - P.86-93 – <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.73>.

146. Амирзода, О.Х. Влияние изменения климата на экологию и эффективность работы гидротехнических сооружений реки Вахш / О.Х. Амирзода, Ф.А. Кариева, С.С. Бобиев и др. // Водные ресурсы, энергетика и экология. - 2023. - Т.3. - №1. - С.44-51. - EDN HSUZEB.

147. Сосин, П.М. Разработка методологии оценки климатических ресурсов с применением ГИС технологии / П.М. Сосин, Г.А. Некушоева, С.О. Мирзохонова, Н.Б. Курбонов // Водные ресурсы, энергетика и экология. - 2023. - Т.3. - №4. - С.9-18. - EDN GHHWSE.

148. Курбонов, Н.Б. Влияние изменения климата на водный сток реки Зеравшан и ее притоков / Н.Б. Курбонов // Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность: Сб. трудов XI Международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов. - Москва, 13-15 декабря 2017 г. - С.54-58.

149. Абдурахимов, Б.Х. Влияние зональности климатических условий водосборов на образование стока рек на примере бассейна реки Зеравшан / Б.Х.

Абдурахимов // Вестник Педагогического университета (Естественные науки). - 2023. - №1 (7). - С.29-38.

150. Норматов, П.И. Метеорологические особенности и гидрохимия озера Искандеркуль и впадающих в него рек / П.И. Норматов, Н.Б. Курбонов, Г.Т. Фрумин, И.Ш. Норматов // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. - 2016. - №45. - EDN: XTDTZZ

151. Норматов, И.Ш. Динамика климатических характеристик в районе Кайраккумского водохранилища (Таджикистан) / И.Ш. Норматов, А.О. Муминов, С.О. Мирзохонова, и др. // Известия ИГУ. Серия Науки о Земле. - 2023. - Т.46. - С.128-139 – DOI: <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.46.128>.

152. Муминов, А.О. Изучение влияния Нурекского водохранилища на метеорологические условия сельскохозяйственных районов Республики Таджикистан / А.О. Муминов, Н.Б. Курбонов, П.И. Норматов // Наука и новые технологии. - 2013. - №7. - С.52-55. - EDN VDRKPN.

153. Гайко, Л.А. Температурный режим Приморья в 2020 г. по данным прибрежных станций в аспекте климатических норм Всемирной метеорологической организации / Л.А. Гайко // Физика геосфер: Сб. трудов XII Всероссийский Симпозиум. - Владивосток, 06-10 сентября 2021 г., - С.33-36.

154. ВМО – №1203. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм, издание 2017 г. - 32 с.

155. Самаев, С.В. Климатические нормы Всемирной метеорологической организации (ВМО): сравнительный анализ по данным м/с Михайловское в предгорной лесостепной зоне Центрального Кавказа / С.В. Самаев, М.С. Борадзева, А.Е. Айларов // Метеорология и гидрология, 2016. - С.6.

156. Курбонов, Н.Б. Климато-географический анализ влияния температурного режима на деградацию ледников бассейна реки Зерафшан / Н.Б. Курбонов // География и водные ресурсы. - 2022. - №3. - С.15-25. – <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2022-3-15-25.14>.

157. Шарофзода, Ф.А. Закономерности распределения гидрометеорологических характеристик в бассейне реки Зеравшан / Ф.А. Шарофзода. - Дис. на соиск. к.геогр.н. - Душанбе, 2011. - 139 с.
158. Wang, X. Attribution of Runoff Decline in the Amu Darya River in Central Asia during / X. Wang, Y. Luo, L. Sun, et al. // Journal Hydromet. - 2016. - V.17. - P.1543-1560.
159. Шульц, В.Л. Реки Средней Азии / В.Л. Шульц. - Л., 1969. - 692 с.
160. Кеммерих, А.О. Гидрография Памира и Памиро-Алая / А.О. Кеммерих. - Москва, 1978. - 263 с.
161. Шамарина, М.А. Влияние физико-географических факторов на гидролого-гидрохимические особенности реки Малка / М.А. Шамарина. - Дисс. на соис. уч. степ. к.геогр.н. - Нальчик, 2025. - 227 с.
162. Аброров, Х.А. Вопросы эффективного использования водно-земельных ресурсов Горного Зерафшана / Х.А. Аброров, З.В. Кобулиев. - Душанбе, 2018. - 147 с.
163. Аброров, Х. Формирования водных ресурсов Горного Зерафшана и их экономический потенциал / Х. Аброров. - Душанбе, 2013. - 132 с.
164. Bhattarai, B.Ch. Impact of Climate Change on Water Resources in View of Contribution of Runoff Components in Stream Flow: A Case Study from Langtang Basin / B.Ch. Bhattarai, R.D. Dhananjay. // Hydrol. & Meteorol. - 2011. - V.9. - No.1. - P.75-84.
165. Armstrong, R.L. Runoff from glacier ice and seasonal snow in High Asia: separating melt water sources in river flow / R.L. Armstrong, K. Rittger, M.J. Brodzik et al. // Reg Environ Change. - 2019. - P.1249-1261.
166. Brun, F. A spatially resolved estimate of High Mountain Asia glacier mass balances from 2000 to 2016 / F. Brun, E. Berthier, P. Wagnon, et al. // Nature Geosci 10, 668-673 (2017) – <https://doi.org/10.1038/ngeo2999>.
167. Bhattacharya, A. High Mountain Asian glacier response to climate revealed by multi-temporal satellite observations since the 1960s / A. Bhattacharya, T. Bolch,

К. Mukherjee, et al. // Nat Commun 12, 4133 (2021) – <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24180-y>.

168. Ледники – водные ресурсы Таджикистана в условиях изменения климата // Главное управление по гидрометеорологии и наблюдениям за природной средой. - Душанбе, 2010. - 34 с.

169. Аброров, Х. Географо-гидрологические особенности формирования, использования и охраны водных ресурсов горного Зеравшана, Таджикистана / Х. Аброров. - Дисс. на соис. уч. степ. к.геогр.н. - Душанбе, 2019. - 192 с.

170. Каюмов, А.К. Изменение климата и водные ресурсы Таджикистана / А.К. Каюмов, Т.О. Салимов. - Душанбе: Ирфон, 2013. - 82 с.

171. Мухаббатов, Х.М. Снежный покров Таджикистана / Х.М. Мухаббатов, А.А. Яблоков. - Душанбе, 2008. - 118 с.

172. Пильгуй, Ю.Н. Ледники Таджикистана в условиях изменения климата / Ю.Н. Пильгуй, М.С. Саидов, А.Ш. Хомидов, Г.Н. Шакиржанова. - Душанбе, 2008. - 116 с.

173. Ниязов Дж.Б. Методика прогноза водности высокогорных рек Центральной Азии на основе снимков MODIS / Дж.Б. Ниязов, О.Ю. Калашникова, А.А. Гафуров // Central Asian Journal of Water Research. - 2020. - Т.6. - №2-2. - С.26-37.

174. Курбонов, Н.Б. Процесс деградации ледников верховья бассейна реки Зарафшан в условиях современного изменения климата / Н.Б. Курбонов, Ф.К. Восидов, С.О. Мирзохонова, А.М. Халимов // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. - 2019. - №2. - С.58-67.

175. Финаев, А.Ф. Климат и оледенение / А.Ф. Финаев. // Водные ресурсы Центральной Азии. - 2004. - Т.І. - №1. - С.55-65.

176. Финаев, А.Ф. Об исследованиях оледенения в Центральной Азии / А.Ф. Финаев // Водные ресурсы Центральной Азии. - 2005. - Т.ІІ. - №2. - С.70-80.

177. Муртазаев, У.И. Водохранилища Таджикистана и их влияние на прилегающие ландшафты / У.И. Муртазаев. - Душанбе: Ирфон, 2005. - 304 с.

178. Амирзода, О.Х. Водохозяйственная инфраструктура в общей системе управления водными ресурсами. Монография / О.Х. Амирзода, С.К. Давлатшоев, Ф.А. Кариева и др. - Душанбе: ИВП,ГЭиЭ НАН Таджикистана, 2021. - 172 с.

179. Фазылов, А.Р. Влияние водохранилищ на режим твердого стока рек горно-предгорной зоны Таджикистана / А.Р. Фазылов, Д.М. Маматканов // Вестник КРСУ. - 2015. - Т.15. - №3. - С.189-193.

180. Фазылов, А.Р. Безопасность гидротехнических сооружений русловых водохранилищ / А.Р. Фазылов // Водные ресурсы, энергетика и экология. - 2024. - Т.4. - №3. - С.49-55.

181. Kurbanov, N.B. Modern Adaptation Approach of Agriculture to Climate Change and Reservoirs Impact / N.B. Kurbanov, Sh.B. Kurbanov // Research in Agricultural Electric Engineering. - 2014. - №4. - P.144-147. - EDN TILBWD.

182. Курбонов, Н.Б. Роль водохранилищ в формировании гидроэкологической ситуации центрально-азиатского региона / Н.Б. Курбонов // География и водные ресурсы. - 2023. - №3. - С.23-31. – <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2023-3-23-31.15>.

183. Бутысин, А.В. Влияние гидроэлектростанций на окружающую среду / А.В. Бутысин // URL: <https://files.scienceforum.ru/pdf/2011/article587.pdf>.

184. Хакимджонзода, М.Х. Мониторинг влияния равнинных и горных водохранилищ на формирование метеорологических условий прибрежных районов / М.Х. Хакимджонзода. - Дисс. на соис. уч. степ. к.т.н. - Душанбе, 2025.

185. Вендров, С.Л. Роль водохранилищ в изменении природных условий / С.Л. Вендров, А.Б. Авакян, К.Н. Дьяконов, А.Ю. Ретеюм. - М.: Знание, 1968. - 48 с.

186. Большие плотины - нарушенный климат / Перевод с алг. А. Арбачаков, 29.09.2012 // URL: [https://ecodelo.org/ekonomika/strategii\\_razvitiya/17203-bolshie-plotiny-narushennyi-klimat](https://ecodelo.org/ekonomika/strategii_razvitiya/17203-bolshie-plotiny-narushennyi-klimat).

187. Рахмонов, Х.Э. Влияние вариаций солнечной и геомагнитной активности на частоту развития острого инфаркта миокарда и его осложнений в

- природно-климатических условиях Республики Таджикистан / Х.Э. Рахмонов. - Дисс. на соис. уч. степ. к.м.н. - Душанбе, 2012. - 120 с.
188. Аброров, Х. Таджикистан - край уникальных озер / Х. Аброров. - Душанбе, 2003. - 197 с. (на тадж. яз.).
189. Зеринг, Дж. От ледников до Аральского моря – вода объединяет / Дж. Зеринг, А. Дибольд. - Алматы, 2012. - 263 с.
190. Обзоры результативности экологической деятельности. Таджикистан. Второй обзор. Вып.33. // Европейская экономическая комиссия ООН, Нью-Йорк и Женева, 2013. - 310 с.
191. Ресурсы поверхностных вод СССР. Каталог обследованных озер Казахстана и Средней Азии с оценкой их селеопасности. Т.14. Таджикистан. Вып.3. / Г.А. Керносов, С. Явкин // Управление Гидрометеорологической службы Таджикской ССР. - Душанбе, 1976.
192. Улучшение гидрометеорологического обеспечения в Республике Таджикистан. Всемирный банк, 2009. - 113 с.
193. Курбонов, Н.Б. Сравнение физико-химического свойства и изотопного состава воды некоторых озер и рек Таджикистана / Н.Б. Курбонов, З.В. Кобули, Ф.И. Шаймурадов, и др. // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: Материалы XXXII молодежной научной школы-конференции. - Петрозаводск, 12-15 октября 2021 г. - С.91-94. - EDN CGKZDS.
194. Муминов, А.О. Геоэкологическая оценка загрязненности поверхностных вод бассейна реки Вахш и влияние водохранилищ на климатические условия прибрежных районов / А.О. Муминов. - Дисс. на соис. уч. степ. к.геогр.н. - Санкт-Петербург, 2020. - 123 с.
195. Нормамедова, З.О. Качество воды озера Искандеркуль и его притоков / З.О. Нормамедова, А.В. Митусов, Н.Б. Курбонов // Центрально-азиатский журнал исследований водных ресурсов. - 2020. - Т.6. - №2-2. - С. 38-47. – <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2020-R1.v6-2/79-88.eng>.
196. Курбонов, Н.Б. Динамика изменения химического состава воды озера Искандеркуль и его притоков / Н.Б. Курбонов, А.В. Митусов, З.В. Кобулиев,

Г.Т. Фруммин // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: Материалы XXXI молодежной научной школы-конференции. - Санкт-Петербург, 5-9 октября 2020 г. - С.141-148.

197. Kurbonov, N.B. Analyses and Monitoring of Water Resources (Quantity and Quality) of the Mountain Zarafshan River Basin / N.B. Kurbonov, I.Sh. Normatov // Materials of the Republican scientific and theoretical conference of the teaching staff and employees of TNU. - Dushanbe, April 20-25, 2015 - P.71-72.

198. Норматов И.Ш. Об актуальности экологического состояния воды реки Зерафшан и стихийных бедствий, в бассейне / И.Ш. Норматов, Н.Б. Курбон, Б.Р. Холматов, А.У. Нуров // Водные ресурсы, энергетика и экология. - 2025. - Т.5. - №1. - С.116-123. - EDN QDUTXF.

199. Kurbonov, N. Status Qua and Future Conflicts in Transboundary River Catchments Water Resources in the Zeravshan River Basin (Tajikistan-Uzbekistan) / N. Kurbonov, M. Groll, I. Normatov, at el. // 8th International Siberian Early Career GeoScientists: Conference Proceedings. - Novosibirsk, 13-24 June 2016. - P.348.

200. Курбонов, Н.Б. Гидрохимия и исследования изотопного состава реки Зеравшан и ее притоков / Н.Б. Курбонов, И.Ш. Норматов // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: Материалы XXIX молодежной научной школы-конференции. - Петрозаводск, 01-05 октября 2018 года. - С.271-274. - EDN YXQVAT.

201. Kurbonov, N.B. Hydrochemical Researches of Seasonal Snow and Water Quality of Rivers in the Zeravshan Valley / N.B. Kurbonov, Z.O. Normakhmedova, A.V. Mitusov, I.Sh. Normatov // X International Siberian Early Career Geoscientists: Conference Proceedings. - Novosibirsk, 13-17 June 2022. - P.171-172. - EDN GUPJIN.

202. Курбонов, Н.Б. Комплексные гидрохимические исследования сезонных снегов и качество вод реки Зарафшан, и его изменение сточными водами промышленных и сельскохозяйственных объектов / Н.Б. Курбонов, Ч.Б. Курбонов // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: Тезисы Всероссийская науч. конф. - Москва, 20-22 марта 2017 г. - С.121.

203. Курбонов, Н.Б. Гидрохимические исследования сезонных снегов на ледниках верховья Зеравшанская долина и качество вод реки Зеравшан / Н.Б. Курбонов, П.И. Норматов // Материалы респуб. научно-теорет. конф. профессорско-преподавательского состава и сотрудников ТНУ. - Душанбе, 18-23 апреля 2016 г. - С.71-72.
204. Норматов, П.И. Исследование изотопного состава воды ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) трансграничных рек Зеравшана, Вахша и их притоков / П.И. Норматов, Г.Т. Фрумин, А.О. Муминов, И.Ш. Норматов // Географический вестник. - 2017. - №4(43). - С.97-104.
205. Курбонов, Н.Б. Гидрохимия изотопов водорода ( $\delta^2\text{H}$ ) и кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) поверхностных вод зоны формирования реки Вахш / Н.Б. Курбонов, Г.Т. Фрумин, И.Ш. Норматов и др. // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: Материалы XXXI молодежной научной школы-конференции. - Санкт-Петербург, 5-9 октября 2020 г. - С.135-140.
206. ГОСТ 2874-82 Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством // URL: [https://znaytovar.ru/gost/2/GOST\\_287482\\_Voda\\_pitevaya\\_Gigi.html](https://znaytovar.ru/gost/2/GOST_287482_Voda_pitevaya_Gigi.html).
207. Требования к качеству питьевой воды (СанПин 2.1.4.1074-01) // URL: [http://water2you.ru/n-docs/pdk\\_sanpin/](http://water2you.ru/n-docs/pdk_sanpin/).
208. Унифицированные методы анализа вод / Под. общ. ред. Ю.Ю. Лурье. - М.: Химия, 1971. - 375 с.
209. Рахимов, И.М. Изотопные исследование озёр Сарез и Шадау / И.М. Рахимов, А.Ш. Ахмадов, К.Ф. Эмомов, и др. // Водные ресурсы, энергетика и экология. - 2021. - Т.1. - №2. - С.105-107.
210. Борзенкова, И.И. О влияние вулканических извержений на изменение климата в позднеледниковом голоцене / И.И. Борзенкова, С.А. Брук // Труды ГГИ, 1989. - Вып.347. - С.40-56.
211. Traufetter, F. Spatio-temporal variability in volcanic sulphate deposition over the past 2 kyr in snow pits and firn cores from Amundsenisen, Antarctica / F. Traufetter, H. Oerter, H. Fischer, et al. // Glacial, 2004. - V.50. - No.168. - PP.137-146.

212. Hammer, C. Greenland ice sheet evidence of post-glacial volcanism and its climate impact / C. Hammer, H. Clausen, W. Dansgaard // Nature. - 1980. - No.288. - PP.230-235.
213. Керимов, А. Распределение тяжёлых металлов в поверхностных слоях снежно-фирновой толщи на южном склоне Эльбруса / А. Керимов, О.В. Рототаева, И.Ф. Хмелевской // Лёд и снег. - 2016. - №2. - Т.114. - С.24-35.
214. Buelow, M.C. The effect of mineral-ion interactions on soil hydraulic conductivity / M.C. Buelow, K. Steenwerth, S.J. Parikh. // Journal Agriculture Water Management. - 2015. - V.152. - PP.277-285.
215. U.S. Salinity Laboratory Staff. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Handbook No. 60. Washington. DC: USDA, 1954. - 345 p.
216. Комитет по охране окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан. Методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей среды. - Душанбе, 2020. - 64 с. (на тадж. яз.).
217. Normatov, I. Monitoring and Analyses of Impact of the Industrial Complexes on Water Quality of the Central Asian Transboundary Rivers / I. Normatov, O. Olsson, M. Groll, N. Kurbonov // Sustainable development of Asian countries, water resources and biodiversity under climate change: Regional Workshop. - Barnaul, 19-23 August 2013. - P.166-173.
218. Стратегия развития малой гидроэнергетики Республики Таджикистан. - Душанбе, 2007. - 117 с.
219. Целевая комплексная программа по широкому использованию возобновляемых источников энергии, таких, как энергия малых рек, солнца, ветра, биомассы, энергии подземных источников на 2007-2015 годы // Утверждена постановлением Правительства Республики Таджикистан от 2 февраля 2007 года, №41.
220. Программа по эффективному использованию гидроэнергетических ресурсов и энергосбережению на 2012-2016 годы // Утверждена постановлением Правительства Республики Таджикистан от 2 ноября 2011 года, №551.

221. Гинзбург, А.С. Климатические ресурсы - основа устойчивого развития возобновляемой энергетики / А.С. Гинзбург, Г.Н. Кекелидзе, Н.В. Шнипко // Грозненский естественнонаучный бюллетень, 2018. - Т.3. №2 (10). - С.7-15.
222. IRENA (2023). World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway // URL: <https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023>.
223. COP26: More than 40 countries pledge to quit coal // URL: <https://www.bbc.com/news/science-environment-59159018>.
224. Хонходжаев, Ф.Т. Формирование организационно-экономического механизма устойчивого развития Согдийского топливно-энергетического комплекса / Ф.Т. Хонходжаев. - Дис. на соис. уч. степ. к.э.н. - Москва, 2012.
225. Climate change: causes, risks, consequences, problems of adaptation and regulation / Ed. academician of the RAS I.I. Mokhov, corresponding member of the RAS A.A. Makosko, PhD A.A. Chernokulsky. - M.: Russian Academy of Sciences, 2024. - 360 p.
226. Баротов, Ю.Г. Роль городской застройки в формировании биоклиматического режима территорий в условиях Республики Таджикистан / Ю.Г. Баротов. – Дисс. на уч. степ. к.т.н. – Душанбе, 2021
227. Лалджебаев, М. Возобновляемые источники энергии в Центральной Азии: потенциал, использование, перспективы и барьеры / М. Лалджебаев, Р. Исаев, А. Саухимов. // Доклад Университета Центральной Азии. - 2022. - №71. - 33 с.
228. Петров, Г.Н. Общая оценка ситуации энергетике в мире и Таджикистане / Г.Н. Петров, Х.М. Ахмедов, К. Кабутов, Х.С. Каримов // Известия АН Республики Таджикистан, 2009. - Т.135. - №2. - С.101-111.
229. Кабутов, К. Перспективы использования источников энергии в Таджикистане / К. Кабутов. - Душанбе: Дониш, 2009. - 15 с.
230. Ганиев, З.С. Оптимизация режимов работы энергокомплекса на базе возобновляемых источников энергии в условиях высокогорья / З.С. Ганиев. // Дис. на уч. ст. к.тех.н. - Душанбе, 2024. - 172 с.

231. Курбонов, Н.Б. Эколого-экономическая оценка альтернативных источников энергии Таджикистана при изменении климата / Н.Б. Курбонов, Ш.М. Набиев, Г.Б. Курбонов // Глобальные энергетические и экономические тренды / Под ред. С.В. Жукова. - М.: ИМЭМО РАН, 2019. - 194 с. - С161-169.

232. Курбонов, Н.Б. Оценка потенциала альтернативных источников энергии на территории Таджикистана / Н.Б. Курбонов, М. Маджиди, Т.Х. Расулзода // Вестник Педагогического университета. Естественные науки. - 2019. - №3-4 (3-4). - С.28-32. - EDN ONFTVP.

233. Курбонов, Н.Б. Использование возобновляемых источников энергии как фактор смягчения последствий изменения климата в горных условиях Таджикистана / Н.Б. Курбонов, Г.Б. Курбонов // Инновации в сельском хозяйстве. - 2016. - №1 (16). - С.191-195. - EDN WYLZRZ.

234. Galaktion V. Shvedov. Analysis and Evaluation of Potential of Renewable Energy Resources of Republic of Tajikistan / Galaktion V. Shvedov, Sirojiddin R. Chorshanbiev, Alexey G. Vaskov // IEEE Conference, 2018. -P.26-33.

235. Бахриев, С.Х. Способ установки солнечных панелей в гористой местности / С.Х. Бахриев, А.С. Кодиров, Ш.З. Наждмудинов // Малый патент РТ № ТЈ 1566. МПК Н 02 S 20/30. №2301813, заявл. 03.04.2023; опубл. 2024; Бюл. 214, 2024. - 3 с.

236. Киргизов, А.К. Развитие и оптимизация режимов электроэнергетической системы с распределенными возобновляемыми источниками энергии методами искусственного интеллекта (на примере Республики Таджикистан) / А.К. Киргизов. Дис. на уч. ст. к.тех.н. - Новосибирск, 2017. - 189 с.

237. Махсумов, И.Б. Разработка энергокомплекса на базе возобновляемых источников энергии для электроснабжения труднодоступных районов Республики Таджикистан с использованием термозащиты солнечных модулей / И.Б. Махсумов. Дис. на уч. ст. к.тех.н. - Челябинск, 2019. - 209 с.

238. Абдулов, Д.Н. Топливо-энергетический комплекс Республики Таджикистан как фактор развития экономики / Д.Н. Абдулов, М.Б. Сафарова, Б.Н. Махмудов // Молодой ученый. - 2016. - №18. - С.211-216.

239. Эргашев, С.М. Обзор и оценка потенциала возобновляемых источников энергии Республики Таджикистан / С.М. Эргашев, И.Б. Тухтамуродов, А.Б. Эшмирзоев, З.Ш. Юлдашев // Студенческий научный форум-2016: VIII Межд. студ. науч. конф. – URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016021097>.
240. Кудусов, М.А. Оценка потенциала солнечной и ветровой энергии в Таджикистане с использованием мультикритериального метода / М.А. Кудусов, У. Мадвалиев, Р. Бахромзод, А.Р. Мукумов // Вестник МЭИ. - 2024. - №6. - С.55-67. DOI: 10.24160/1993-6982-2024-6-55-67.
241. Akasha, J. Multicriteria Approach to Identifying and Developing Renewable Energy Zones in Tajikistan / J. Akasha, M. Kudusov, J. Akankshaa, et al. // Applied Solar Energy, 2023. - Vol.59. - No.2. - PP.176-188.
242. МЭИВР РТ. Энергетические ресурсы // URL: [https://www.mewr.tj/?page\\_id=549&lang=tj](https://www.mewr.tj/?page_id=549&lang=tj).
243. Справочник по климату СССР. Таджикская ССР. - Вып.31. - Часть I. - Л.: Гидрометиздат, 1966. - 68 с.
244. Агрометеорологические ресурсы Таджикской ССР. Ч.1. - Л.: Гидрометиздат, 1977. - 216 с.
245. Global Solar Atlas // <https://globalsolaratlas.info/map?c>.
246. Амирзода, О.Х. Концептуальная модель оптимального управления по обеспечению водно-энергетической безопасности в условиях изменения климата / О.Х. Амирзода, С.К. Давлатшоев, Н.Б. Курбонов, Ф.Х. Насруллоев // Инженерный вестник Дона. - 2020. - №12 (72). - С.324-334. - EDN QZJYVP.
247. Амирзода, О.Х. Концептуальная модель регионального обеспечения водно-энергетической безопасности в условиях изменения климата / О.Х. Амирзода, С.К. Давлатшоев, Н.Б. Курбонов, Ф.Х. Насруллоев // Известия АН Республики Таджикистан. - 2020. - №4 (181). - С.157-164. - EDN XUQNYV
248. Стратегия развития малой гидроэнергетики Республики Таджикистан. - Душанбе, 2007. - 117 с.
249. Современное состояние и перспективы развития малой гидроэнергетики в странах СНГ. - Алматы, 2011. - С.36.

250. Национальная стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 года. - Душанбе, 2016. - 104 с.
251. Амирзода, О.Х. Малый патент РТ № TJ 1395, МПК E 02 B 3/00, E 02 B 3/02. Способ межбассейного регулирования речного стока / О.Х. Амирзода, С.К. Давлатшоев, Н.К. Носиров, и др. // №2301779, завл. 11.01.2023; опубл. 09.06.2023; Бюл. №196, 2023. - 3 с.
252. Давлатшоев, С.К. Малый патент РТ № TJ 1256, МПК E 02 B 3/00, E 02 B 7/00. Устройство для предотвращения прорыва завальной плотины / С.К. Давлатшоев, М.Х. Амирзода, А.А. Гулахмадов, и др. // №2201629, завл. 24.01.2022; опубл. 28.04.2022; Бюл. №183, 2022. - 3 с.
253. WMO. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017, 2018. - No.1212. - 40 p.
254. Institute for Economics & Peace. Ecological Threat Register 2020: Understanding Ecological Threats, Resilience and Peace, Sydney, September 2020 // Available from: <http://visionofhumanity.org/reports>.
255. Natural Hazards. UnNatural Disasters: The Economics of Effective Prevention. - M., 2012. - 312 p.
256. WMO (2023). State of the Climate in Asia 2022 // URL: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate/Asia-2022>.
257. Курбон, Н.Б. О взаимной корреляции между изменениями метеорологических условий и возникновением стихийных бедствий / Н.Б. Курбон, М.Т. Сафаров // Водные ресурсы, энергетика и экология. - 2026. - Т.6. - №1. - С.56-66. - EDN GRNMFS.
258. Фрумин, Г.Т. Техногенные системы и экологический риск / Г.Т. Фрумин. - Санкт-Петербург: СпецЛит, 2016. - 136 с.
259. Франсуа, М. Ключевая роль управления водными ресурсами и данных в укреплении мира / М. Франсуа, К. Наташа, П. Каролина, В. Жан // Бюллетень ВМО, 2020. - Т.69 (1). - С.8-13.

260. WMO (2004): Weather, climate, water in the information age. - Geneva, Switzerland, 2004. - No.970. - 36 p.

261. WMO (2004): Weather, Climate, Water, and Sustainable Development. - Geneva, Switzerland, 2004. - No.974. - 28 p.

262. Доклад Международного комитета Geochange // URL: <https://studfile.net/preview/7011506/>.

263. UN Office for Disaster Risk Reduction. What is the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction? // URL: <https://www.undrr.org/implementing-sendai-framework/what-sendai-framework>.

264. NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI) U.S. Billion-Dollar Weather and Climate Disasters (2023) // URL: <https://www.ncei.noaa.gov/access/billions/>.

265. МГЭИК. Глобальное потепление на 1,5°C, 2018 // URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM\\_ru.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_ru.pdf).

266. WMO (2023). World Meteorological Organization declares onset of El Niño conditions // URL: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/world-meteorological-organization-declares-onset-of-el-ni%C3%B1o-conditions>

267. Курбонов, Н.Б. Анализ чрезвычайных ситуаций и их влияния на социально-экономическое положение Республики Таджикистан / Н.Б. Курбонов // Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук. - 2019. - №7. - С.10-15. - EDN FNVSSSE

268. Выступление Президента Республики Таджикистан, Председателя государственной комиссии по чрезвычайным ситуациям Эмомали Рахмона по природным чрезвычайным ситуациям за последние пять лет // URL: <http://www.president.tj/node/14512> (на тадж. яз.).

269. ВМО (2020): Состояние климата в Азии в 2020 году. - Женева, Швейцария, 2021. - №1273. - 36 с.

270. КЧСиГО РТ. Обзор о чрезвычайных ситуациях в Республике Таджикистан за 2019 год. - 95 с. (на тадж. яз.).

271. КЧСиГО РТ. Обзор о чрезвычайных ситуациях в Республике Таджикистан за 2020 год. - 129 с.
272. КЧСиГО РТ. Обзор о чрезвычайных ситуациях в Республике Таджикистан за 2021 год. - 123 с.
273. КЧСиГО РТ. Обзор о чрезвычайных ситуациях в Республике Таджикистан за 2022 год. - 123 с. (на тадж. яз.).
274. КЧСиГО РТ. Обзор о чрезвычайных ситуациях в Республике Таджикистан за 2023 год. - 123 с. (на тадж. яз.).
275. Курбон, Н. Проблемы изменения климата: взгляды на причины, последствия и подходы к адаптации / Номвар Курбон. - Душанбе: Дониш, 2025. - 260 с. (на тадж. яз.)
276. Pörtner, H.O. IPBES-IPCC Co-Sponsored Workshop Report on Biodiversity and Climate Change H.O. Pörtner, R.J. Scholes, J. Agard, and others // URL: [https://ipbes.net/sites/default/files/2021-06/20210609\\_workshop\\_report\\_embargo\\_3pm\\_CEST\\_10\\_june\\_0.pdf](https://ipbes.net/sites/default/files/2021-06/20210609_workshop_report_embargo_3pm_CEST_10_june_0.pdf).
277. Guterres, A. Secretary-General's Statement on the IPCC Working Group 1 Report on the Physical Science Basis of the Sixth Assessment / A. Guterres. // URL: <https://www.un.org/sg/en/content/secretary-generals-statement-theipcc-working-group-1-report-the-physical-science-basisof-the-sixth-assessment>.
278. Lenton, T.M. Quantifying the human cost of global warming / T.M. Lenton, C. Xu, J.F. Abrams, et al. // Nat Sustain, 2023. – <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01132-6>.
279. Сафаров, М.Т. Влияние неблагоприятных, опасных и стихийных гидрометеорологических явлений на отрасли экономики в условиях изменения климата / М.Т. Сафаров, А.К. Каюмов. - Душанбе, 2013. - 51 с.
280. Фазылов, А.Р. Селевая безопасность в Таджикистане / А.Р. Фазылов, Н.П. Лавров, Д.Б. Ниязов // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: Сб. науч. трудов. - Рязань, 2017. - С.77-80.

281. Сафаров, М.С. Дистанционное зондирование и мониторинг селеопасных районов горных территорий Таджикистана / М.С. Сафаров, А.Р. Фазылов. - Душанбе: Промэкспо, 2023. - 192 с.
282. Рец, Е.П. Сток рек бассейна Терека / Е.П. Рец. – Дисс. соис. уч. степ. к.г.н. - Москва, 2013. - 277 с.
283. Сели в горных районах СССР. - М., Изд-во МГУ, 1979. - 113 с.
284. Усмонов, И.М. Чрезвычайные ситуации природного характера, возможные на территории Республики Таджикистан, и их последствия, Издание первое. / И.М. Усмонов, Х.А. Латыпов, М.М. Кенджаев, М.Т. Халимов. - Душанбе, 2007. - 44 с.
285. Наимов, Х. Стихийные явления в Центральном Таджикистане и их последствия / Х. Наимов, У.И. Муртазаев // Вестник Тадж. нац. ун-та. - 2017. - 2/3. - С.114-117.
286. Сафаров, М.С. Риски стихийных бедствий, связанные с водой и дистанционные методы их мониторинга / М.С. Сафаров, А.Р. Фазылов // Известия АН Республики Таджикистан. - 2018. - №4 (173). - С.160-166.
287. Сафаров, М.С. Опасные гидрологические явления в условиях изменения климата в Таджикистане / М.С. Сафаров, А.Р. Фазылов // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. - 2019. - №3. - С.86-93.
288. Курбонов, Н.Б. Мониторинг чрезвычайных ситуаций и их зависимость от метеорологических условий в бассейне реки Зеравшан / Н.Б. Курбонов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2014. - №1-1 (126). - С.273-279. – EDN VBXDUV.
289. Норматов, П.И., Риски, связанные с водными факторами в бассейнах трансграничных рек / П.И. Норматов, Н.Б. Курбонов // Сб. VIII международная научная конференция молодых ученых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность». - Москва, 25-27 июня 2014 г. - С.7-10.
290. Курбонов, Н.Б. Перспективы развития и уязвимость бассейна реки Зеравшан к чрезвычайным ситуациям, связанным с метеорологическими

условиями / Н.Б. Курбонов, П.И. Норматов // Наука и новые технологии. - 2013. - №7. - С.43-46. - EDN VDRKOT.

291. Национальная стратегия Республики Таджикистан по управлению риском бедствий на 2010-2015 гг. // Утверждена постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 марта 2010 года, №164.

292. Национальная стратегия Республики Таджикистан по снижению риска стихийных бедствий на 2019-2030 гг. // Утверждена постановлением Правительства Республики Таджикистан от 29 декабря 2018 года, №602.

293. Устойчивость горных озер Центральной Азии. Риски воздействия и принятие мер / Науч. ред. С.Х. Негматуллаев. - Душанбе, 2008. - 51 с.

294. Richardson, S.D. An overview of glacial hazards in the Himalayas / S.D. Richardson, J.M. Reynolds. // Quaternary International, 2000. -V.65-66. -PP.31-47.

295. Huggel, C. An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps / C. Huggel, W. Haeblerli, A. Käab, et al. // Canadian Geotechnical Journal, 2004. - V.41. - PP.1068-1083.

296. Богаченко, Е.М. Исследование гляциальных озер Приэльбрусия на предмет их потенциальной селевой опасности / Е.М. Богаченко, А.В. Зимницкий, Ю.Г. Ильичев // Труды Всероссийской конференции по селям, 26-28 октября 2005 г. - М.: ЛКИ, 2008. - С.175-181.

297. Ерохин, С.А. Типизация горных озер Кыргызстана по степени их прорывоопасности / С.А. Ерохин, В.В. Загинаев // ГеоРиск. - 2020. - Т.XIV. - №3. - С.78-86.

298. Коновалов, В. Г. Дистанционный мониторинг прорывоопасных озер на Памире / В. Г. Коновалов // Криосфера Земли. - 2009. - Т.13. - №4. - С.80-89.

299. Сафаров, М.С. Применение современных технологий дистанционного зондирования для мониторинга селеопасных районов горных территорий / М.С. Сафаров, А.Р. Фазылов // ГеоРиск. - 2020. - №2. - С. 32-41.

300. Наврузшоев, Х.Д. Влияние современного оледенения и высокогорных озёр на формирование стока бассейна реки Гунт (Юго-западный Памир, Таджикистан) / Х.Д. Наврузшоев. - Дисс. на уч. соис. к.т.н. - Душанбе, 2023.

301. Курбонов, Н.Б. Изучение состояния и негативные последствия ледниковых озер в высокогорных районах Таджикистана / Н.Б. Курбонов, Б.М. Боев, Ф.К. Восидов, и др. // Климатические риски и космическая погода: Тезисы Международной конференции и Школы молодых ученых. - Иркутск, 14-17 июня 2021 года. - С.41. - EDN НАКНДТ.

302. Опасные природные явления в Таджикистане. - Душанбе, 2018. – URL: <https://www.osce.org/files/f/documents/f/c/408011.pdf>.

303. Агентство по гидрометеорологии Комитета по охране окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан. Атлас ледниковых озер Таджикистана. - Душанбе, 2025. - 64 с. (на тадж. яз.)

304. Давлатшоев, С.К. Малый патент РТ № ТЈ 1257, МПК Е 02 В 3/00, Е 02 В 7/00. Способ стабилизации и понижения уровня воды горного завального озера / С.К. Давлатшоев, М.Х. Амирзода, А.А. Гулахмадов и др. // №2201629, завл. 24.01.2022; опубл. 28.04.2022; Бюл. №183, 2022. - 3 с.

305. Deutsche Welle (2021). На 1,5 градуса выше. Как глобальное потепление меняет жизнь // URL: <https://www.dw.com/ru/na-15-gradusa-vyshe-kak-globalnoe-poteplenie-menjaet-nashu-zhizn/a-59573908>

306. Каюмов, А.К. Связь обычных и гляциальных селей с изменением метеорологических параметров / А.К. Каюмов, А.М. Шомахмадов, М.Т. Сафаров // Водные ресурсы, энергетика и экология. - 2024. - №4 (4). - С.75-85

307. Каюмов, А.К. Анализ погодных условий и их связь с возникновением стихийных бедствий в Таджикистане в 2021 году / А.К. Каюмов, А.М. Шомахмадов, М.Т. Сафаров // Криосфера - 2021. - №1. - С.123-139.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

### I. Научные статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, утвержденных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и ВАК Российской Федерации:

[1-А]. Kurbon, N.B. The influence of relief on the formation of local microclimate (using the example of the southern slope of the Gissar ridge) / N.B. Kurbon, O.Sh. Majidov, F.D. Sharifov, S.O. Mirzokhonova // Sustainable Development of Mountain Territories. 2024, vol. 16, no. 4, pp. 1849-1861. – DOI: <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-4-1849-1861>

[2-А]. Курбон, Н.Б. Об актуальности экологического состояния воды реки Зерафшан и стихийных бедствий, в бассейне / И.Ш. Норматов, Н.Б. Курбон, Б.Р. Холматов, А.У. Нуров // Водные ресурсы, энергетика и экология. - Душанбе, 2025. - Т.5. - №1. - С.116-123.

[3-А]. Курбонов, Н.Б. Оценка качества воды верхнего течения бассейна реки Зерафшан / Б.Р. Холматов, И.Ш. Норматов, З.О. Нормамедова, Н.Б. Курбон // Вестник Бохтарского государственного университета им. Носира Хусрава. Серия естественных наук. - Бохтар, 2025. - №2/4 (141). - С.181-191.

[4-А]. Курбонов, Н.Б. Разработка методологии оценки климатических ресурсов с применением ГИС технологии / П.М. Сосин, Г.А. Некушоева, С.О. Мирзо-хонова, Н.Б. Курбонов // Водные ресурсы, энергетика и экология. - Душанбе, 2023. - Т.3. - №4. - С.9-18.

[5-А]. Курбонов, Н.Б. Роль водохранилищ в формировании гидроэкологической ситуации центрально-азиатского региона / Н.Б. Курбонов // География и водные ресурсы. - Алматы, 2023. - №3. - С.23-31. – <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2023-3-23-31.15>.

[6-А]. Курбонов, Н.Б. Климато-географический анализ влияния температурного режима на деградацию ледников бассейна реки Зерафшан / Н.Б. Курбонов // География и водные ресурсы. - Алматы, 2022. - №3. - С.15-25. – <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2022-3-15-25.14>.

[7-А]. 16. Курбонов, Н.Б. К вопросу изменения климата Таджикистана в условиях глобального потепления / Н.Б. Курбонов // Вестник Педагогического университета (Естественные науки). - Душанбе, 2022. – №3 (15). – С.22-31.

[8-А]. Курбонов, Н.Б. Концептуальная модель оптимального управления по обеспечению водно-энергетической безопасности в условиях изменения климата / О.Х. Амирзода, С.К. Давлатшоев, Н.Б. Курбонов, Ф.Х. Насруллоев // Инженерный вестник Дона, 2020. - №12 (72). - С.324-334.

[9-А]. Курбонов, Н.Б. Концептуальная модель регионального обеспечения водно-энергетической безопасности в условиях изменения климата / О.Х. Амирзода, С.К. Давлатшоев, Н.Б. Курбонов, Ф.Х. Насруллоев // Известия АН Республики Таджикистан. Отделение физ.-мат., хим., геолог. и тех. наук. - Душанбе, 2020. - №4 (181). - С.157-164.

[10-А]. Курбонов, Н.Б. Качество воды озера Искандеркуль и его притоков / З.О. Нормамедова, А.В. Митусов, Н.Б. Курбонов // Центрально-азиатский журнал исследований водных ресурсов. - Алматы, 2020. - Т.6. - №2-2. - С.38-47.

[11-А]. Курбонов, Н.Б. Анализ чрезвычайных ситуаций и их влияния на социально-экономическое положение Республики Таджикистан / Н.Б. Курбонов // Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук. - Душанбе, 2019. - №7. - С.10-15.

[12-А]. Курбонов, Н.Б. Изменение метеорологических характеристик в верховьях р. Пяндж в связи с глобальными потеплениями / С.О. Мирзохонова, И.Ш. Норматов, Н.А. Мирзохонова, Дж.Г. Шарипов, Н.Б. Курбонов // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. - Душанбе, 2019. - №4. - С.91-96.

[13-А]. Курбон, Н.Б. О взаимной корреляции между изменениями метеорологических условий и возникновением стихийных бедствий / Н.Б. Курбон, М.Т. Сафаров // Водные ресурсы, энергетика и экология. - Душанбе, 2026. - Т.6. - №1. - С.56-66.

[14-А]. Курбонов, Н.Б. Процесс деградации ледников верховья бассейна реки Зарафшан в условиях современного изменения климата / Н.Б. Курбонов, Ф.К. Восидов, С.О. Мирзохонова, А.М. Халимов // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. - Душанбе, 2019. - №2. - С.58-67.

[15-А]. Курбонов, Н.Б. Оценка потенциала альтернативных источников энергии на территории Таджикистана / Н.Б. Курбонов, М. Маджиди, Т.Х. Расулзода // Вестник Педагогического университета. Естественные науки. - Душанбе, 2019. - №3-4 (3-4). - С.28-32.

[16-А]. Курбонов, Н.Б. Изменение расхода воды в верховье трансграничной реки Пяндж / С.О. Мирзохонова, А.О. Муминов, О.В. Мирзохонов, Н.Б. Курбонов // Наука и инновация. Серия естественных наук. - Душанбе, 2017. - №4. - С.78-81.

[17-А]. Курбонов, Н.Б. Гидрограф трансграничной реки Пяндж и ее больших притоков / С.О. Мирзохонова, А.О. Муминов, Дж.Г. Шарипов, Н.Б. Курбонов // Наука и инновация. Серия естественных наук. - Душанбе, 2017. - №3. - С.84-89.

[18-А]. Курбонов, Н.Б. Метеорологические особенности и гидрохимия озера Искандеркуль и впадающих в него рек / П.И. Норматов, Н.Б. Курбонов, Г.Т. Фрумин, И.Ш. Норматов // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. - Санкт-Петербург, 2016. - №45. - С.13-19.

[19-А]. Курбонов, Н.Б. Использование возобновляемых источников энергии как фактор смягчения последствий изменения климата в горных условиях Таджикистана / Н.Б. Курбонов, Г.Б. Курбонов // Инновации в сельском хозяйстве. - Москва, 2016. - №1 (16). - С.191-195.

[20-А]. Kurbanov, N.B. Modern Adaptation Approach of Agriculture to Climate Change and Reservoirs Impact / N.B. Kurbanov, Sh.B. Kurbanov // Research in Agricultural Electric Engineering. - Moscow, 2014. - №4. - P.144-147.

[21-А]. Курбонов, Н.Б. Мониторинг чрезвычайных ситуаций и их зависимость от метеорологических условий в бассейне реки Зеравшан / Н.Б.

Курбонов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - Душанбе, 2014. - №1-1 (126). - С.273-279.

[22-А]. Курбонов, Н.Б. Мониторинг изменения атмосферной температуры и осадков в Таджикистане за период 1961-2011 гг. / Н.Б. Курбонов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - Душанбе, 2014. - №1-3 (134). - С.76-80.

[23-А]. Курбонов, Н.Б. Изменение климата за период 1961-2011 гг. в Таджикистане / Н.Б. Курбонов, Ш.Б. Курбонов // Земледелец («Кишоварз»). - Душанбе, 2014. - Т.63. - №3. - С.83-85.

[24-А]. Курбонов, Н.Б. Некоторые вопросы о взаимосвязи метеорологии и гидрологии / Н.Б. Курбонов, С.О. Мирзохонова, Ш.Б. Курбонов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - Душанбе, 2015. - №1-5-1 (188). - С.49-52.

[25-А]. Курбонов, Н.Б. Мониторинг метеорологических условий и их влияние на состояние ледников бассейна реки Зеравшан / Н.Б. Курбонов, П.И. Норматов // Известия ВУЗов (Кыргызстан). - Бишкек, 2015. - №4. - С.82-86.

[26-А]. Курбонов, Н.Б. Изменение климата и циркуляция атмосферы в Таджикистане по моделям HadCM2 и UK-TR / Н.Б. Курбонов // Вестник Педагогического университета. - Душанбе, 2013. - №5-2 (54). - С.119-125.

[27-А]. Курбонов, Н.Б. Мониторинг атмосферной радиации в Душанбе с помощью наземного измерительного комплекса / С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов, Н.Б. Курбонов, Н.А. Абдурасулова, Б.И. Назаров, У. Мадвалиев // Известия АН Республики Таджикистан. Отделение физ.-мат., хим., геолог. и тех. наук. - Душанбе, 2013. - №3 (152). - С.45-51.

[28-А]. Курбонов, Н.Б. Вариации аэрозольной оптической толщи атмосферы в Душанбе по данным AERONETA / С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов, Н.Б. Курбонов, Б.И. Назаров, Т.Х. Салихов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - Душанбе, 2013. - №1-1 (102). - С.115-119.

[29-А]. Курбонов, Н.Б. Моделирование изменения атмосферной температуры по моделям CCC-EQ и GFDL-TR / Н.Б. Курбонов. // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - Душанбе, 2013. - №1-2 (106). - С.122-129.

[30-А]. Курбонов, Н.Б. Перспективы развития и уязвимость бассейна реки Зеравшан к чрезвычайным ситуациям, связанным с метеорологическими условиями / Н.Б. Курбонов, П.И. Норматов // Наука и новые технологии. - Бишкек, 2013. - №7. - С.43-46.

[31-А]. Курбонов, Н.Б. Изучение влияния Нурекского водохранилища на метеорологические условия сельскохозяйственных районов Республики Таджикистан / А.О. Муминов, Н.Б. Курбонов, П.И. Норматов // Наука и новые технологии. - Бишкек, 2013. - №7. - С.52-55.

[32-А]. Курбонов, Н.Б. Микрофизические и радиационные характеристики аэрозоля в атмосфере Душанбе по данным АЭРОНЕТ / С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов, Н.Б. Курбонов, Т.Х. Салихов, У. Мадвалиев, Б.И. Назаров // Вестник Таджикского технического университета. - Душанбе, 2012. - №3(19). - С.20-25.

### **Монографии**

[33-А]. Курбонов, Н.Б. Формирование состава водных ресурсов бассейна р. Зерафшан. Влияние изменения климата на условия формирования и химического состава водных ресурсов БРЗ. Монография / Н.Б. Курбонов, Г.Т. Фрумин. – LAP Lambert Academic Publishing, 2021. – 145 с.

[34-А]. Курбонов, Н.Б. Повышение безопасности гидротехнических сооружений. Ч.2. На примере водохранилища Нурекской ГЭС на реке Вахш. Монография / С.А. Гарелина, Д.С. Давлатшоев, К.П. Латышенко, Н.Б. Курбонов. - Химки: АГЗ МЧС России, 2021. - 192 с.

[35-А]. Курбонов, Н.Б. Водохозяйственная инфраструктура в общей системе управления водными ресурсами. Монография / О.Х. Амирзода, С.К. Давлатшоев, Ф.А. Кариева, Н.Б. Курбонов, Я.Э. Пулатов, А.Р. Фазылов. - Душанбе: ИВП,ГЭиЭ НАН Таджикистана, 2021. - 172 с.

[36-А]. Курбон, Н. Проблемы изменения климата: взгляды на причины, последствия и подходы к адаптации / Номвар Курбон. – Душанбе: Дониш, 2025. – 260 с. (на тадж. яз.)

### **Патенты**

[37-А]. Курбонов, Н.Б. Патент № ТЈ 1174 Республика Таджикистан. Система управления водно-энергетической отрасли / С.К. Давлатшоев, О.Х. Амирзода, Ф.Х. Насруллоев, Н.Б. Курбонов, С.Ш. Курбонализода // МПК Е 02 В 9/00; G 05 В 13/00, №2001469, завл. 01.10.2020; опубл. 24.06.2021; Бюл. №173, 2021. - 3 с.

[38-А]. Курбонов, Н.Б. Малый патент РТ № ТЈ 1256. Устройство для предотвращения прорыва завальной плотины / С.К. Давлатшоев, М.Х. Амирзода, А.А. Гулахмадов, Н.Б. Курбонов, Ш.К. Обиджони, Ф.Ш. Бобохонов, С.А. Холмухамадзода // МПК Е 02 В 3/00, Е 02 В 7/00, №2201629, завл. 24.01.2022; опубл. 28.04.2022; Бюл. №183, 2022. - 3 с.

[39-А]. Курбонов, Н.Б. Малый патент РТ № ТЈ 1257. Способ стабилизации и понижения уровня воды горного завального озера / С.К. Давлатшоев, М.Х. Амирзода, А.А. Гулахмадов, Н.Б. Курбонов, Ш.К. Обиджони, Ф.Ш. Бобохонов, С.А. Холмухамадзода // МПК Е 02 В 3/00, Е 02 В 7/00, №2201629, завл. 24.01.2022; опубл. 28.04.2022; Бюл. №183, 2022. - 3 с.

[40-А]. Курбонов, Н.Б. Малый патент РТ № ТЈ 1395. Способ межбассейного регулирования речного стока / О.Х. Амирзода, С.К. Давлатшоев, Н.К. Носиров, А.А. Гулахмадов, Н.Б. Курбонов, Ю.М. Курбонов // МПК Е 02 В 3/00, Е 02 В 3/02, №2301779, завл. 11.01.2023; опубл. 09.06.2023; Бюл. №196, 2023. - 3 с.

### **Научные статьи, опубликованные на международных и республиканских конференциях:**

[41-А]. Kurbonov, N.B. Hydrochemical Researches of Seasonal Snow and Water Quality of Rivers in the Zeravshan Valley / N.B. Kurbonov, Z.O. Normakhmedova, A.V. Mitusov, I.Sh. Normatov // X International Siberian Early Career Geoscientists: Conference Proceedings. - Novosibirsk, 13-17 June 2022. - P.171-172.

[42-А]. Курбонов, Н.Б. Изменения климата бассейна реки Бартанг при глобальном потеплении / Н.М. Неккадамова, С.О. Мирзохонова, Н.Б. Курбонов // Гидрометеорологические исследования в условиях изменения климата: актуальные проблемы и пути их решения: Материалы Международной научно-практической конференции. - Ташкент, 3-4 июня 2022 г. - С.141-145.

[43-А]. Курбонов, Н.Б. Сравнение физико-химического свойства и изотопного состава воды некоторых озер и рек Таджикистана / Н.Б. Курбонов, З.В. Кобули, Ф.И. Шаймурадов, Г.Т. Фрумин, И.М. Рахимов // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: Материалы XXXII молодежной научной школы-конференции. - Петрозаводск, 12-15 октября 2021 г. - С. 91-94.

[44-А]. Курбонов Н.Б. Экстремальные температуры воздуха в условиях юго-западной части Таджикистана в теплый период и связанные с ними опасные явления погоды / Н.Б. Курбонов, С.Ф. Абдуллаев, С.О. Мирзохонова, Дж.А. Байдуллоева, Т.Х. Расулзода // Климатические риски и космическая погода: Материалы Международной конференции. - Иркутск, 14-17 июня 2021 г. - С.130-140.

[45-А]. Курбонов Н.Б. Дистанционный мониторинг подвижка ледника Русского географического общества в условиях изменения климата / Ф.К. Восидов, Н.Б. Курбонов, А.В. Митусов, А.М. Халимов // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: Материалы VIII Международной научной конференции. - Красноярск, 14-17 сентября 2021 г. - С.155-161.

[46-А]. Курбонов Н.Б. Исследование процесса деградации ледника Гидрографическая партия с учетом климатического колебания / А.М. Халимов, Н.Б. Курбонов, А.В. Митусов, Ф.К. Восидов // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: Материалы VIII Международной научной конференции. - Красноярск, 14-17 сентября 2021 г. - С.287-294.

[47-А]. Курбонов, Н.Б. Гидрохимия изотопов водорода ( $\delta^2\text{H}$ ) и кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) поверхностных вод зоны формирования реки Вахш / Н.Б. Курбонов, Г.Т. Фрумин, И.Ш. Норматов, З.В. Кобулиев, А.О. Муминов, К.Н. Одинаев // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: Материалы XXXI

молодежной научной школы-конференции. - Санкт-Петербург, 5-9 октября 2020 г. - С.135-140.

[48-А]. Курбонов, Н.Б. Динамика изменения химического состава воды озера Искандеркуль и его притоков / Н.Б. Курбонов, А.В. Митусов, З.В. Кобулиев, Г.Т. Фрумин // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: Материалы XXXI молодежной научной школы-конференции. - Санкт-Петербург, 5-9 октября 2020 г. - С.141-148.

[49-А]. Курбонов, Н.Б. Гидрохимия и исследования изотопного состава реки Зеравшан и ее притоков / Н.Б. Курбонов, И.Ш. Норматов // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: Материалы XXIX молодежной научной школы-конференции. - Петрозаводск, 01-05 октября 2018 года. - С.271-274.

[50-А]. Курбонов, Н.Б. Влияние изменения климата на водный сток реки Зеравшан и ее притоков / Н.Б. Курбонов // Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность: Сб. трудов XI Международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов. - Москва, 13-15 декабря 2017 г. - С.54-58.

[51-А]. Курбонов, Н.Б. Гидрохимические исследования сезонных снегов на ледниках верховья Зеравшанская долина и качество вод реки Зеравшан / Н.Б. Курбонов, П.И. Норматов // Материалы респуб. научно-теорет. конф. профессорско-преподавательского состава и сотрудников ТНУ. - Душанбе, 18-23 апреля 2016 г. - С.71-72.

[52-А]. Курбонов, Н.Б. Межгосударственные отношения между странами Центральной Азии по совместному использованию гидроэнергетических ресурсов / Н.Б. Курбонов, Ш.Б. Курбонов // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование: Материалы международной научно-практической конференции, посвященная подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни». - Алматы, 22-24 сентября 2016 г. - С.325-329.

[53-А]. Kurbonov, N. Status Qua and Future Conflicts in Transboundary River Catchments Water Resources in the Zeravshan River Basin (Tajikistan-Uzbekistan)

/ N. Kurbonov, M. Groll, I. Normatov, Ch. Opp, G. Stulina // 8<sup>th</sup> International Siberian Early Career GeoScientists: Conference Proceedings - Novosibirsk, 13-24 June 2016. - P.348.

[54-A]. Курбонов, Н.Б. Вариации сезонной аэрозольной оптической толщи атмосферы в Душанбе по данным AERONET / Н.Б. Курбонов, С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов // Взаимодействие полей и излучения с веществом: Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и XIV Конференции молодых ученых. - Иркутск, 14-18 сентября 2015 г. - С.326-329.

[55-A]. Kurbonov, N.B. Analyses and Monitoring of Water Resources (Quantity and Quality) of the Mountain Zarafshan River Basin / N.B. Kurbonov, I.Sh. Normatov // Materials of the Republican scientific and theoretical conference of the teaching staff and employees of TNU. - Dushanbe, April 20-25, 2015 - P.71-72.

[56-A]. Kurbonov, N.B. Transnational information exchange in elimination of conflict of interests between water users in Central Asia / N.B. Kurbonov // Hydro-meteorological and Environmental security of marine activity: Proceedings of the International Applied Science Conference. - Astrakhan, 16-17 October 2015. - P.58-62.

[57-A]. Курбонов, Н.Б. Риски, связанные с водными факторами в бассейнах трансграничных рек / П.И. Норматов, Н.Б. Курбонов // Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность: Сб. трудов VIII международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов. - Москва, 25-27 июня 2014 г. - С.7-10.

[58-A]. Kurbonov, N. Monitoring and Analyses of Impact of the Industrial Complexes on Water Quality of the Central Asian Transboundary Rivers / I. Normatov, O. Olsson, M. Groll, N. Kurbonov // Sustainable development of Asian countries, water resources and biodiversity under climate change: Regional Workshop. - Barnaul, 19-23 August 2013. - P.166-173.

[59-A]. Kurbonov, N. Ecological and risk assessment aspect of the Zeravshan Transboundary River basin water resources management / I. Normatov, N.

Kurbonov, N. Narzullov // Mountain hazards-2013: Materials of International Conference. - Bishkek, 16-18 September 2013. - P.46-47.

**Научные статьи, опубликованные в иных научных изданиях:**

[60-А]. Курбонов, Н.Б. Эколого-экономическая оценка альтернативных источников энергии Таджикистана при изменении климата / Н.Б. Курбонов, Ш.М. Набиев, Г.Б. Курбонов. // Глобальные энергетические и экономические тренды. - М.: ИМЭМО РАН, 2019. - 194 с. - С161-169.

[61-А]. Курбонов, Н.Б. Эффективное использование возобновляемых источников энергии в физико-географических условиях Таджикистана / Н.Б. Курбонов // Водные ресурсы, энергетика и экология, 2021. - Т.1. - №2. - С.53-57.

[62-А]. Курбон, Н. Адаптация к процессу повышения температуры в горных регионах / Номвар Курбон // Маорифи Тоҷикистон, 2022. - №6. - С.23-28. (на тадж. яз.).

[63-А]. Курбонов, Н.Б. Влияние изменения климата на гидрологический режим водных артерий бассейна реки Пяндж / А.К. Каюмов, Т.Х. Расулзода, Н.Б. Курбонов, Ф.К. Восидов // Криосфера, 2022. - №1 (5). - С.91-104.

[64-А]. Курбонов, Н.Б. Особенности влияния водохранилища ГЭС на изменение климата района окрестности / Н.Б. Курбонов, И.Ш. Норматов, Б.М. Боев // Endless light in science, апрель 2023. - С.561-570.

[65-А]. Курбонов Н.Б. Влияние изменения климата на экологию и эффективность работы гидротехнических сооружений реки Вахш / О.Х. Амирзода, Ф.А. Кариева, С.С. Бобиев, Н.Б. Курбонов, Ю.М. Курбонов // Водные ресурсы, энергетика и экология, 2023. - Т.3. - №1. - С.44-51.

[66-А]. Курбонов, Н.Б. Репрезентативный анализ состояния ледников бассейна реки Вахш на период 1956-2021 гг. / Н.Б. Курбонов, М. Маджиди, А.У. Пиров, Х.М. Хакбердиев, Б.М. Боев // Водные ресурсы, энергетика и экология, 2023. - Т.3. - №1. - С.56-63.

[67-А]. Курбонов, Н.Б. Влияние климатических изменений на сток реки Вандж по данным наземных наблюдений / С.О. Мирзохонова, Дж.Б. Ниязов,

Н.Б. Курбонов // Водные ресурсы, энергетика и экология, 2022. - Т.2. - №3. - С.24-33.

[68-А]. Курбон, Н. Обсуждение образовательной темы, связанной с изменением климата / Номвар Курбон // Маорифи Тоҷикистон, 2023. - №8. - С.38-40. (на тадж. яз.).

[69-А]. Курбонов, Н.Б. Влияние природных феноменов Эль-Ниньо и Ла-Нинья на изменение климата Таджикистана (Часть первая) / Н.Б. Курбонов, Ф.А. Кариева, А.А. Гулахмадов, Ф.Д. Шарифов, Б.Р. Холматов // Евразийский Союз Ученых. Серия: междисциплинарный, 2024. - №1 (110). - С.4-10.

[70-А]. Курбон, Н. Отражение глобальной климатической проблемы в Послании Лидера нации / Номвар Курбон // Маърифати омузгор, 2024. - №2. - С.1-7. (на тадж. яз.).

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

## ШАҲОДАТНОМА

Шаҳрванд Курбонов Н.Б.

муаллифи ихтирои Системаи идоракунии соҳаи обу энергетика

Ба ихтироъ  
нахустпатенти № ТҶ 1174 дода шудааст.

Дорандаи  
нахустпатент Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи  
АМИТ

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Хаммуаллиф(он) Амирзода О.Х., Давлатшоев С.К., Насруллоев Ф.Х.,  
Курбонализода С.Ш.

Аввалияти ихтироъ 01.10.2020

Таърихи рузи пешниҳоди ариза 01.10.2020

Аризаи № 2001469

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

24 юни с. 2021 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
эътибор дорад аз 1 октябри с. 2020 то 1 октябри с. 2030

Ин шаҳодатнома хангоми амали гардонидани ҳукуку  
имтиёзхое, ки барои муаллифони ихтироот бо қонунгузории  
ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

М. Исмоилзода



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

## ШАҲОДАТНОМА

Шахрванд Курбонов Н.Б.

муаллифи ихтирои *Дастгоҳ барои пешгирии рахнашавии сарбанди ярҷӣ*

Ба ихтироъ  
нахустпатенти № ТҶ 1256 дода шудааст.

Дорандаи  
нахустпатент Давлатшоев С.К., Амирзода М.Х.

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон  
Ҳаммуаллиф(он) Давлатшоев С.К., Амирзода М.Х., Гулаҳмадов А.А.,  
Обидҷони Ш.К., Бобохонов Ф.Ш., Холмухаммадзода С.А.

Аввалияти ихтироъ 24.01.2022

Таърихи рузи пешниҳоди ариза 24.01.2022

Аризаи № 2201628

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

28 апрели с. 2022 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
эътибор дорад аз 24 январи с. 2022 то 24 январи с. 2032

Ин шаҳодатнома ҳангоми амалӣ гардонидани ҳукуку  
имтиёзхое, ки барои муаллифони ихтироот бо қонунгузори  
ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

## ШАҲОДАТНОМА

Шаҳрванд Курбонов Н.Б.

муаллифи ихтирои *Тарзи муътадилсозӣ ва паст кардани сатҳи оби кул бо сарбанди кӯҳии ярчӣ*

Ба ихтироъ нахустпатенти № ТҶ 1257 дода шудааст.

Дорандаи нахустпатент Давлатшоев С.К., Амирзода М.Х.

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Давлатшоев С.К., Амирзода М.Х., Гулаҳмадов А.А., Обидҷони Ш.К., Бобохонов Ф.Ш., Холмухаммадзода С.А.

Аввалияти ихтироъ 24.01.2022

Таърихи рузи пешниҳоди ариза 24.01.2022

Аризаи № 2201629

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

28 апрели с. 2022 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент эътибор дорад аз 24 январи с. 2022 то 24 январи с. 2032

Ин шаҳодатнома хангоми амалӣ гардонидани ҳукуку имтиёзҳои, ки барои муаллифони ихтироот бо қонунгузории ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

## ШАҲОДАТНОМА

Шахрванд Курбонов Н.Б.

муаллифи ихтирои *ТАРЗИ ТАҶЗИМИ БАЙНИҲАВЗАВИИ ҶАРАӢНИ  
ДАРЕ*

Ба ихтироъ  
нахустпатенти № ТҶ 1395 дода шудааст.

Дорандаи  
нахустпатент Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи  
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Амирзода О.Х., Давлатшоев С.К., Носиров Н.К.,  
Ниязов Дж.Б., Гулаҳмадов А.А., Курбонов Ю.М.

Аввалияти ихтироъ 11.01.2023

Таърихи рузи пешниҳоди ариза 11.01.2023

Аризаи № 2301779

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

9 июни с. 2023 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
этибор дорад аз 11 январи с. 2023 то 11 январи с. 2033

Ин шаҳодатнома хангоми амали гардонидани ҳукуку  
имтиёзхое, ки барои муаллифони ихтироот бо қонунгузори  
ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

«УТВЕРЖДАЮ»

проректор по науке и инновациям  
Таджикского национального университета,  
д.х.н., профессор Савармамадзода С.М.



2025 г.

### СПРАВКА

о внедрении в учебный процесс результатов диссертационного исследования **Курбона Номвара Бойназара** на тему: «**Современное состояние водных ресурсов и эколого-экономическая ситуация в условиях изменения климата (горно-предгорная зона, Таджикистан)**» представленная на соискание учёной степени доктора технических наук по специальностям 25.00.27 - Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия; 25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология.

Результаты диссертационной работы **Курбона Номвара Бойназара** на тему: «Современное состояние водных ресурсов и эколого-экономическая ситуация в условиях изменения климата (горно-предгорная зона, Таджикистан)» внедрены в учебный процесс по подготовке бакалавров, магистров и докторов (PhD) на базе физического, геологического и биологического факультетов Таджикского национального университета и используются студентами вышеназванных факультетов в процессе изучения теоретических (лекционных) и лабораторно-практических дисциплин:

Дисциплины «Климатология», «Климат земного шара», «Изучение изменений климата», «Физика атмосферы, океана и суши», «Статистические методы в гидрометеорологии», «Гидрология», «Гидрохимия» и «Гляциология» для специальности метеорологии и климатологии на кафедре метеорологии и климатологии физического факультета:

Дисциплины «Основы гидрометеорологии и охрана окружающей среды», «Климатология», «Гляциология», «Гидрология озёр и водохранилищ» («Лимнология»), «Селевидение» для специальности гляциология на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии геологического факультета.

Дисциплины «Экологическая климатология», «Экологическая оценка и устойчивое развитие», «Гидрология и гидрэкология» и «Теория зеленой энергетики» для специальности экология на кафедре экологии биологического факультета.

#### **В частности, внедрены в учебный процесс:**

1. При подготовке специалистов в бакалавриате, магистратуре и докторантуре (доктора философии (PhD), доктора по специальностям 6D061000 - «Гидрология», 6D061200 - «Метеорология», 6D074400 - «География» и 6D060800 - «Экология»), по специальностям 3102010901 -

«Метеорология и климатология», 51010110 - «Гидрология и гляциология» и 33010101 - «Экология».

**2. Внедрены в учебно-методические комплексы и рабочие программы следующих дисциплин:**

- **«Климат земного шара»**. В разделе «Региональные особенности изменения климата в период глобального потепления» автор показывает, что климатические условия и тенденции Центрально-Азиатского региона тесно связаны с глобальными климатическими явлениями, такими как ENSO и NAO, причем сильные проявления ENSO сопровождаются повышенной вероятностью засух на юге региона и в окрестности Каспийского моря, тогда как выраженная отрицательная фаза NAO приводит к увеличению осадков в южных районах Европы, Средиземноморском бассейне и в Центральной Азии.

- **«Изучение изменений климата»**. Рассчитанные данные о линейном тренде повышения температуры за июлями 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг. показывает, что во втором тридцатилетнем периоде величина повышения температуры выше, чем в первое тридцатилетие. Потому что, если среднемноголетнее значение температуры в период 1961-1990 гг. равно 15,78°C, этот показатель за 1991-2020 гг. составляет 16,23°C, а величина тренда июльской температуры для обеих тридцатилетних периодов равна  $R^2 = 0,337$  и  $R^2 = 0,690$  соответственно. Естественно, такая тенденция повышения температуры наблюдается не только в континентальных районах Земли, но и на поверхности Мирового океана, т.е. верхняя поверхность морей и океанов нагревается, данный процесс способствует усилению глобального потепления и нарушает обмен между теплом и влагой.

- **«Физика атмосферы, океана и суши»**. Автор продолжил теорию о характеристике изменения атмосферной циркуляции, которая играет важную роль в формировании климатической изменчивости и индексах, которые подбираются, исходя из синоптико-климатологических представлений для характеристики поведения центров действия (геопотенциала) атмосферы, или определяются статистически, на основе разложения поля давления на естественные ортогональные составляющие. Также, в разделе «Особенности влияния водохранилищ горно-предгорной зоны на изменение климата и окружающую среду» анализируется противоположная ситуация, т.е. воздействие водных объектов горных и предгорных районов на изменение метеоусловий в прилегающих районах.

- **«Статистические методы в гидрометеорологии»**. В разделе «Изучение и оценка стандартного отклонения изменения метеорологических условий в горных и предгорных районах» широко применялись статистические методы в гидрометеорологии, а для оценки изменений метеоусловий на примере бассейна р. Зерафшан использовались стандартные средние отклонения за тридцатилетние периоды (два тридцатилетних периода – 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.), рекомендованная Всемирной метеорологической организацией. Потому что период 1961-1990 гг. был сохранен как стандартный опорный период для долгосрочной оценки

изменения климата, а также, принял новый «нормальный» 30-летний ряд на период 1981-2010 гг. и до конца 2020 года был наиболее актуальным и широко используемым стандартным базисным периодом. В связи с происходящими климатическими изменениями ВМО приняла новый техрегламент об обновлении климатических норм, по которому была рекомендована оперативная норма 1991-2020 гг.

- «Гидрология». С целью оценки влияния климатических изменений на гидрологический режим водных артерий речных бассейнов горно-предгорных районов, анализируются изменения метеорологических условий и гидрологической динамики реки Зерафшан и взаимосвязь между ними за период 1940-2020 гг. Для сравнения динамики стока р. Зерафшан в процессе изменения климата, его среднемесячного многолетнего расхода разделили за четыре тридцатилетних периода – 1941-1970 гг., 1971-2000 гг., 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг. По данным гидропост Дупули, среднемноголетняя величина стока реки за период 1941-1970 гг. составляла 158 м<sup>3</sup>/с., за 1971-2000 гг. – 157 м<sup>3</sup>/с, за 1961-1990 гг. – 153,4 м<sup>3</sup>/с и 1991-2020 гг. равен 176,2 м<sup>3</sup>/с.

- «Гидрохимия». Приведены данные о динамике изменения химического состава воды оз. Искандеркуль и впадающих в него рек, сравнение результатов качества воды водных объектов бассейна Искандеркуля и некоторые среднее притоки р. Зерафшан, а также показатели изотопного анализа некоторых высокогорных озер и рек. В частности, полученные результаты показывают, что содержание азота, алюминия, железа, калия, кальция, кремния, марганца, меди, нитратов, нитриты, свинца, селена, сульфатов, фтора, хлоридов, хрома, цинка и других неорганических веществ в воде устье р. Саратаг и оз. Искандеркуля гораздо ниже установленной для них ПДК для питьевой воды, а также требованиями Всемирной организации здравоохранения и Европейской Союза.

- «Гляциологии». Приведены данные регрессии скорости, отступления ледников бассейна реки Зерафшан от температуры и осадков использованы данные метеостанций Дехавз и Искандеркуль, которые находятся ближе всего к ледникам. Для определения зависимости скорости отступления ледников от изменчивости среднегодовой температуры и годового количества осадков выбрали среднее значение скорости отступления ледников Зерафшан, Рама, Россиндж, Туро, Дихаланг и ГГП. Среднегодовая скорость отступления языков ледников за весь период наблюдения составляет: Зерафшан – 24,4 м/год, Рама – 41,1 м/год, Россиндж – 22,7 м/год, Туро – 10,4 м/год, Дихаланг – 7,1 м/год и ГГП – 4,1 м/год.

- «Основы гидрометеорологии и охраны окружающей среды». Полученные результаты показывают, что снижение глобального потепления с +2,7°C до +1,5°C, установленное в рамках Парижского климатического соглашения, может сократить численность населения, находящегося под климатическими рисками, до 500 млн человек. Если сегодняшнее потепление климата менее чем на +1,2°C привело к увеличению интенсивности и продолжительности волн жары, засух, опустынивания и лесных пожаров, по сценарию потепления климата, в будущем ожидаются новые и более

стихийные бедствия. Поэтому для локализации ОЯ и СГЯ, особенно в горных и предгорных районах, наносящие значительные материальные ущербы и человеческие потери, необходимо, улучшить гидрометеорологическое обслуживание.

- «Селевидение». Результаты свидетельствуют о том, что горные и предгорные зоны более уязвимы к СГЯ, особенно бедствия связанных с водой и основными источниками таких рисков являются повышение уровня воды в реке, прорыв гляциальных озёр, прорыв снежно-ледникового покрова долины и прорыв плотин или экранов в устье притока главной реки. Потому что, в силу географических и климатических условий Таджикистана возможны различные ОЯ и СГЯ, но среди них занимают особое место лавины и сели, и около 85% территории страны находится в зонах риска селепроявления и 32% ее территории расположены по угрозе высокого селевого потока.

- «Экологическая оценка и устойчивое развитие». В диссертации наряду с гидрохимической оценкой воды озера Искандеркуль и его бассейна, изучение изотопного состава воды горных озёр Памира, также проведена оценка эколого-экономической эффективности гидроэнергетических сооружений с крупными водохранилищами. В качестве показателя эколого-экономической эффективности ГЭС используется соотношение мощности и выработки электроэнергии на единицу площади территории. С использованием полученных данных проведена оценка эффективности работы Нурекской и Рогунской ГЭС с водохранилищами в сравнении с другими ГЭС, результаты которых показывают, что их эколого-экономическая эффективность выше.

- «Экологическая климатология». Результаты показывают, что из-за засухи и резкого увеличения количества дней максимальной температуры воздуха в 2001, 2008, 2009, 2010 и 2011 гг. самые сильные пыльные бури были зафиксированы в юго-западных районах Таджикистана. По мнению автора, число дней с пыльными бурями и пыльными мглами на юго-западной части республики зависит в основном от расширения орошаемых земель и неуклонного уменьшения, и повторяемости воздействия холодных воздушных масс с северо-западной и юго-западной стороны. Появление таких дней не только приводит к повышению наземной температуры воздуха, но и негативно влияет на социально-экономические сферы, включая сельское хозяйство и здоровье населения.

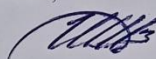
- «Гидрология и гидроэкология». Приведены данные об изотопах  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  в воды озёра Сарез и Шадау, грунтовые воды (Булункуль, Яшилкуль), минеральные воды (реки Аличур) и водных артерий верховья реки Вахш, бассейнов рек Сурхоб и Обихингоб. Результаты показывают, что самые тяжелые изотопы  $\delta^{18}\text{O}$  зафиксированы в минеральной воде реки Аличур, а самые легкие – в грунтовых водах оз. Яшилкуль. Самые тяжелые изотопы  $\delta^2\text{H}$  обнаружены в воде оз. Сарез, а самые легкие в грунтовых водах оз. Яшилкуль. Также, согласно гидрохимии изотопов  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  в водах зоны формирования бассейна реки Вахш, основных ее составляющих – Сурхоб и

Обихингоу характеризуются талым ледниковым питанием. Стабильные изотопы  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  в воде реки намного тяжелее, чем в воде озёр.

- «Теория зеленой энергетики». Проведены данные о существующих видах возобновляемых источников энергии в Таджикистане – биоэнергетика, прямая солнечная радиация, геотермальная энергия, гидроэнергетика и энергия ветра, а также их интеграция в существующие и будущие энергетические системы республики, которые рассматривают экологические и социальные последствия, связанные с внедрением таких технологий, и предлагают стратегии преодоления технических и нетехнических барьеров на пути их принятия.

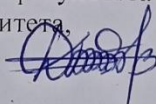
Таким образом, результаты диссертационной работы Курбона Номвара Бойназара на тему: «Современное состояние водных ресурсов и эколого-экономическая ситуация в условиях изменения климата (горно-предгорная зона, Таджикистан)», которая является комплексной научно-исследовательской работой о состоянии атмосферы, водных ресурсов, возобновляемых источниках энергии и социально-экономической ситуации горных и предгорных районов в условиях изменения климата которые могут широко использоваться в учебном процессе при подготовки специалистов не только по метеорологии, гляциологии, экологии, но и по географии и другим направлениям, связанным с науками о Земле.

Доцент кафедры метеорологии и  
климатологии физического факультета  
Таджикского национального университета,  
к.ф.-м.н., доцент



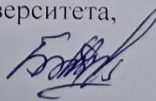
Шарифи Дж.Г.

Заведующий кафедрой гидрогеологии и  
инженерной геологии геологического факультета  
Таджикского национального университета,  
к.г.-м.н., доцент



Давлатзода Ф.С.

Заведующий кафедрой экологии  
биологического факультета  
Таджикского национального университета,  
к.б.н., доцент



Буттаев М.К.

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3



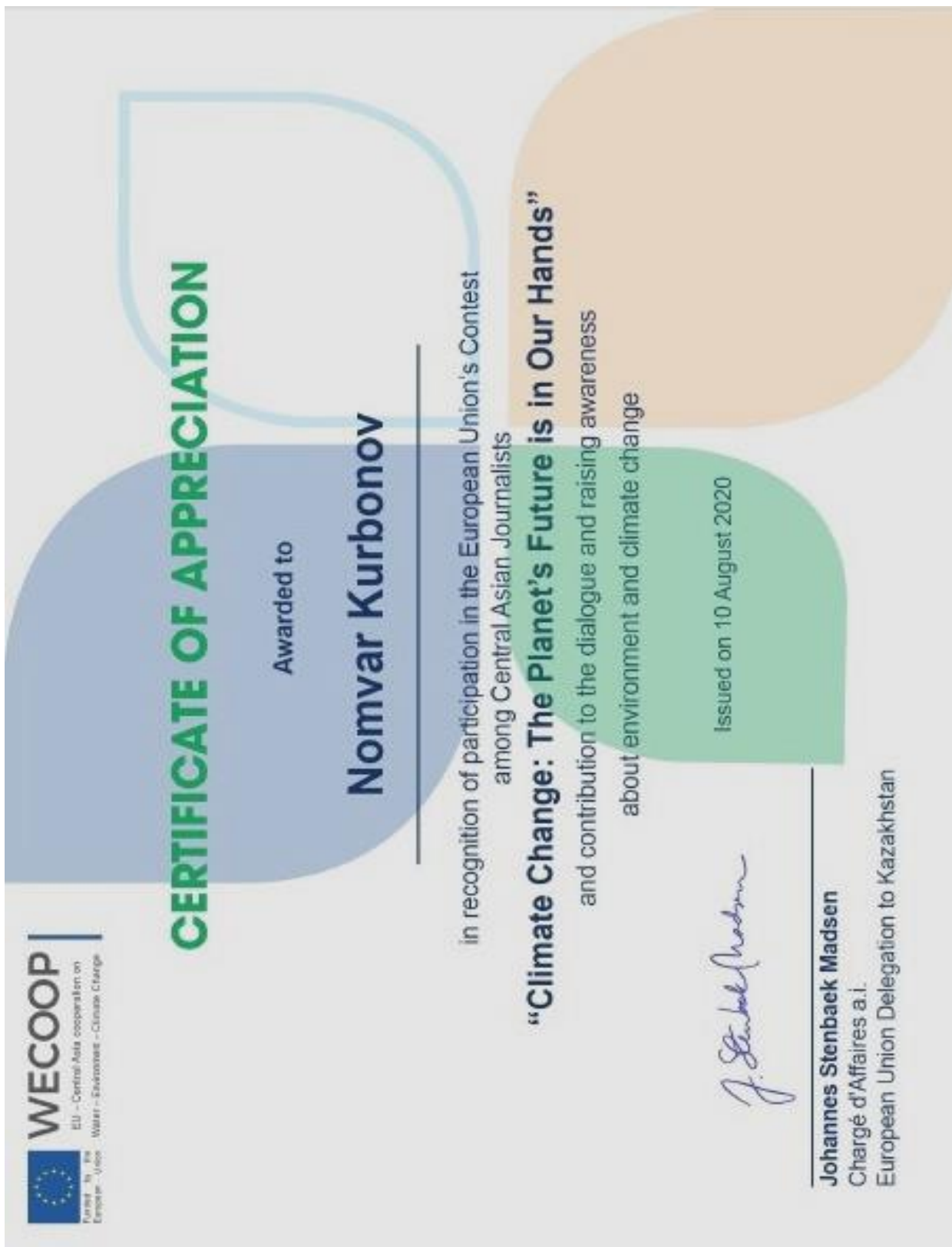
Диплом II степени за цикл статей по экологическим и климатическим вопросам на Республиканском конкурсе Маджлиси намояндагон Маджлиси Оли Республики Таджикистан на тему «Адаптация к изменению климата», Душанбе, 2022

Грамота Маджлиси намояндагон Маджлиси Оли Республики Таджикистан за «Лучшую работу по теме экологии», Душанбе, 2021





Диплом I-ой степени Европейского банка реконструкции и развития на конкурсе «Лучшая журналистика на тему экологии в Таджикистане», Душанбе, 2017



Сертификат WESCOOP за активное участие на конкурс среди журналистов Центральной Азии на тему «Изменение климата: будущее планеты в наших руках», Нур-Султан, 2020



Сертификат за активное участие в Летней школе по академическому научному письму на исследовательский конкурс по устойчивому управлению природными ресурсами, Алматы, 2019



Сертификат об образовательном курсе на тему «Моделирование паводков от прорыва ледниковых озер с помощью программы RAMMS», Алматы, 2022



Сертификат за активное участие и докладе на Международной конференции «Климатические риски и космическая погода», Иркутск, 2021



Сертификат за активное участие и докладе на X Международная сибирская конференция молодых геологов, Новосибирск, 2022