

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА**  
**Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии**  
**Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников»**

УДК 551.324 + 551.324.4+551.324.63+556.51+504.4(575.3)

*На правах рукописи*

**НАВРУЗШОЕВ Хофиз Довутшоевич**

**ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ И ВЫСОКОГОРНЫХ  
ОЗЁР НА ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА БАССЕЙНА РЕКИ ГУНТ  
(Юго-Западный Памир, Таджикистан)**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 25.00.27 - Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, доцент  
Фазылов Али Рахматджанович

**Научный консультант:**

доктор медицинских наук, профессор  
Каюмов Абдулхамид Каюмович

Душанбе – 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....</b>	<b>4</b>
<b>Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН.....</b>	<b>18</b>
1.1. Особенности формирования стока рек Таджикистана.....	21
1.2. Орoграфия и природно - климатические условия высокогорных зон речных бассейнов Таджикистана.....	26
1.3. Ледники Таджикистана.....	31
1.4. Горные озёра Таджикистана.....	41
Выводы по первой главе.....	43
<b>Глава 2. ОЛЕДЕНЕНИЕ БАССЕЙНА РЕКИ ГУНТ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РЕГИОНАЛЬНЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ.....</b>	<b>45</b>
2.1. Анализ и оценка основных факторов оледенения.....	48
бассейна реки Гунт.....	48
2.2. Исследования водосборной территории бассейна реки Гунт.....	49
2.3. Современное оледенение бассейна реки Гунт.....	56
2.4. Особенности метеоклиматических характеристик бассейна реки Гунт.....	59
2.5. Гидрологические условия формирования стока реки Гунт.....	65
Выводы по второй главе.....	78
<b>Глава 3. МЕТОДОЛОГИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>	<b>79</b>
3.1. Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии мониторинга ледников бассейна реки Гунт.....	79
3.1.1. Крупные ледники бассейна реки Гунт.....	82
3.2. Современные технологии гляциологических исследований Обоснование и выбор объекта исследования.....	85
3.3. Методология, технология и технические средства расчета баланс массы ледника №457 бассейна реки Гунт.....	91
3.3.1. Гляциологические исследования в зоне абляции.....	93
3.3.2. Гляциологические исследования в зоне аккумуляции.....	96
3.3.3. Расчеты годового баланса массы ледника.....	97
3.4. Анализ и оценка результатов экспедиционно-полевых исследований (съемок) ледников бассейна реки Гунт.....	103
3.4.1. Анализ и оценка результатов исследований современного состояния водосбора озеро Яшилькуль и ледника Бакчигир.....	104

3.4.2. Исследования и оценка современного состояния ледников южного склона Рушанского хребта.....	109
3.4.3. Исследования и оценка современного состояния ледников притока Друмдара.....	113
3.4.4. Исследования и оценка динамики оледенения бассейна реки Токузбулак (1970 по 2020 гг.).....	115
Выводы по третьей главе.....	126
<b>Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОРЫВООПАСНЫХ ГОРНЫХ ОЗЁР БАССЕЙНА РЕКИ ГУНТ.....</b>	<b>127</b>
4.1. Анализ и оценка состояния прорывоопасных озёр бассейна реки Гунт.....	127
4.2. Методология и современная технология исследования состояния прорывоопасных горных озёр бассейна реки Гунт.....	129
4.2.1. Дистанционный мониторинг прорывоопасных ледниковых озёр бассейна реки Гунт.....	130
4.2.2. Исследования динамики зеркальной площади озёр бассейна реки Гунт.....	134
4.3. Моделирование прорыва озеро Варшезкуль Нижнее.....	141
4.4. Идентификация и каталогизация горных озер бассейна реки Гунт с применением современных методов дистанционного зондирования.....	144
Выводы по четвертой главе.....	153
<b>Глава 5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>154</b>
5.1. Рекомендации по организации и проведению полевых (мониторинговых) исследований водных объектов высокогорья.....	154
5.1.1. Выбор объекта исследования.....	155
5.1.2. Дистанционное зондирование.....	155
5.1.3. Предварительная подготовка.....	156
5.1.4. Полевые работы.....	157
5.2. Методика идентификации и каталогизации горных озер.....	157
5.3. Экономическая эффективность применения результатов исследований.....	159
Выводы по пятой главе.....	161
<b>ВЫВОДЫ.....</b>	<b>162</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>165</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>189</b>

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

БРГ	Бассейн реки Гунт
БПЛА	Беспилотный летательный аппарат
ВАК	Высшая аттестационная комиссия
ГИС	Геоинформационные системы
ГЭС	Гидроэлектростанции
ГБАО	Горно-Бадахшанская автономная область
ГНУ	Государственное научное учреждение
ДЗЗ	Дистанционное зондирование Земли
ИВПГЭиЭ	Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии
ИУВР	Интегрированное управление водными ресурсами
ИСЗ	Искусственный спутник Земли
КЧСиГО	Комитет по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне
НИР	Научно-исследовательская работа
НПК	Научно-практическая конференция
НАНТ	Национальная академия наук Таджикистана
РТ	Республика Таджикистан
САНИГМИ	Среднеазиатский научно-исследовательский гидрометеорологический институт
УГМС	Управление гидрометеорологических станций
ЦИЛ	Центр изучения ледников
ЦА	Центральная Азия
ЦМР	Цифровая модель рельефа
FAGS	Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Services
GLIMS	Global Land Ice Measurements from Space
GTN-G	Global Terrestrial Network for Glaciers
IACS	International Association of Cryospheric Sciences
IHP	International Hydrological Programme
IUGG	International Union of Geodesy and Geophysics
NSIDC	National Snow and Ice Data Center
NDGI	Normalized Difference Glacier Index
NDSI	Normalized Difference Snow Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
WGMS	World Glacier Monitoring Service
мм. в.э.	мм в водном эквиваленте
м над ур. м.	Метр над уровнем моря

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы диссертации.** Устойчивое развитие экономики Республики Таджикистан (РТ) достигается за счет понимания необходимости эффективного использования водных ресурсов, с учетом экологически обоснованного воздействия на речные бассейны, деградации ледников, а также безусловности комплексного управления водными ресурсами (мониторинг, формирование, охрана, потребление и пользование) и обеспечения безопасности водохозяйственной и социальной инфраструктуры. Вода наиважнейший природный ресурс, необходимый для устойчивого развития различных секторов экономики не только Таджикистана, но также востребован для удовлетворения потребностей стран низовья [1].

Таджикистан, с учетом существующих реалий, а также в качестве субъекта международных отношений выступил с инициативами, в области водных ресурсов: «Международный год пресной воды, 2003»; «Международное десятилетие действий «Вода для жизни»2005–2015гг»; «Международный год водного сотрудничества» (2013 год); «Международное десятилетие действий «Вода для устойчивого развития», 2018-2028 годы».

«...В центре внимания нашей страны находится вопрос глобального изменения климата и необходимость совместных усилий для устранения его последствий как серьезные проблемы современного мира. За последние несколько десятилетий исчезла почти треть общего объема ледников нашей страны, из которых формируются более 60 процентов водных ресурсов Центрально-Азиатского региона. Принимая во внимание это, наша страна совместно со своими международными партнерами прилагает усилия с целью объявления 2025 года Международным годом защиты ледников, назначения Всемирного дня защиты ледников и образования Международного фонда защиты ледников...». Основатель мира и национального единства - Лидер нации, Президент Республики Таджикистан уважаемый Эмомали Рахмон [2, 3].

Генеральная Ассамблея ООН 14 декабря 2022 года, в ходе 77-й сессии единогласно приняла резолюцию «2025 год - Международный год сохранения

ледников», представленную Таджикистаном, утвердившая следующие мероприятия мирового значения: «Объявление 21 марта Международным Днём защиты ледников»; «Объявление 2025 года Международным Годом сохранения ледников»; «Создание международного трастового фонда при ООН для содействия защите ледников»; «Проведение в 2025 году Международной конференции по защите ледников в городе Душанбе» [4].

Ледники занимающие около 6% территории Таджикистана, существенно влияют на формирование стока одной из крупнейшей рек Центральной Азии - реки Амударья. В условиях изменения климата непосредственно влияющее на объем ледников - источников питания и водности рек, до 10-20% подпитывающие сток крупных рек, а в сухие и жаркие годы вклад ледников в водные ресурсы отдельных рек в летнее время может достигать до 70%, ведут к ежегодному их таянию. Следует отметить, что за последние несколько десятилетий исчезла почти треть общего объема ледников Таджикистана, из которых формируются более 60 процентов водных ресурсов Центрально-Азиатского региона. Следовательно, изучение состояния ледников и их воздействие на водность рек в условиях изменения климата актуально и является фактором не только национального, но также и регионального масштаба [1].

Мониторинг ледников и высокогорных озёр является неотъемлемой частью плана по снижению риска возможных чрезвычайных ситуаций и бедствий связанные с обвалами и пульсациями ледников, а также прорывами высокогорных озёр, приводящее к большим селевым паводкам, должны быть более своевременными, точными и понятными для целевых пользователей. В то же время, анализ поступающих данных должен быть увязан с оценками риска и должен основываться на достаточном количестве источников (метеорологические станции, данные мониторинга ледников и т.д.), для оповещения районов, подвергшиеся подобному воздействию. Первостепенное значение имеет также повышение осведомленности общественности, позволяющая населению действовать адекватно получаемым сигналам о возможном возникновении чрезвычайных ситуаций [5].

Современные геоинформационные технологии создают благоприятные условия для мониторинга и выявления опасных объектов в высокогорных труднодоступных местах, создать модели и расчеты существующих опасностей, а также составить план по предотвращению и превентивному снижению рисков стихийного бедствия.

Одним из наиболее опасных природных явлений, для территорий низовья бассейна реки Гунт и приводящий к неисчислимым ущербам социального и экономического характера, считается возникновение паводка, причиной которого может служить прорыв ледниковых озер. Для предотвращения и снижения уровня риска прорыва высокогорных озер и повышение защиты населения в ЧС необходимо разработать и внедрить системы раннего оповещения в высокогорных труднодоступных зонах.

Процесс глобального изменения климата помимо образования неконтролируемых ледниковых озер стал причиной повышения границы вечной мерзлоты, стимулирующая возникновения огромного количества рыхлообломочного материала, сцементированного ранее льдом, часто ведущего не только к активизации селевых потоков и оползней, но также к тому, что большие глыбы льда поступающие непосредственно в озеро провоцируют образование опасного паводка разрушительной силы.

Таким образом, поиск путей научно-обоснованных исследований по оценке влияния современного оледенения и высокогорных озёр на формирование стока рек, в частности бассейна реки Гунт, с применением современных технологий и методов мониторинга и разработки рекомендаций по управлению (снижению уровня) рисками стихийных бедствий связанные с ледниками и ледниковыми озерами, является актуальной задачей.

**Степень изученности данной тематики.** Исследованиям особенностей формирования водных ресурсов и оледенения в Таджикистане посвящены труды В.Ф. Ошанина и Г.Е. Родионова (1878 г.), Н.В. Крыленко, Е.М. Абалакова, Г.Е. и М.Е. Гурмм-Гржимайло (1884г.), Н.Л. Корженевского (1904г.), Н.И. Косиненко (1909 г.), Я.И. Беяева, П.И. Беседина (1916 г), И.Г. Дорофеева, В.М. Котлякова,

О.Н. Виноградова, Г.Б. Осиповой, О.В. Рототаевой, Л.Д. Долгушина, И.В. Мушкетова, А.С. Щетинникова, Р.Д. Забирова, и др., а также вклад современных специалистов Martin Hoelzle, Francesca Pellicciotti, Christoph Mayer, Martina Barandun, Tomas Saks, Joel Fiddes, Evan Miles, Eric Pohl, А.Р. Медеу, В.П. Благовещенского, Э.В. Запорожченко, В.Д. Панова, В.А. Волосухина, А.А. Яблокова, М.Р. Якутилова, В.Г. Коновалова, С.С. Черноморца, К.С. Висхаджаевой, Д.А. Петракова, В.М. Кидяевой, И.В. Крыленко и др. в области гляциологии и изучения горных озёр в том числе и Таджикистана очень значителен.

Исследования в области гляциологии и изучения горных озер и их влияние на формирование водных ресурсов в Таджикистане, возобновились только в последние годы. В частности данная проблематика освещена в трудах Х.А. Абророва, О.Х. Амирзода, Р.А. Бобова, А.К. Каюмова, З.В. Кобули, Ф.О. Мародасейнова, У.И. Муртазаева, З. Мусоева, Х.М. Мухаббатова, И.Ш. Норматова, У.Р. Пирмамадова, А.У. Пирова, Я.Э. Пулатова, Ю.Х. Раимбекова, А.Р. Фазылова, М.С. Саидова, И.И. Саидова, Ф.Х. Хакимова, А.Ш. Хомидова, Г.В. Шафиева и др.

Изучение формирования водных ресурсов и состояния современного оледенения в бассейне реки Гунт, осуществляется в научно-исследовательских и академических институтах Таджикистана, в том числе в ГНУ «Центр изучения ледников» Национальной академии наук Таджикистана, Институте водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана (ИВП,ГЭиЭ НАНТ), Агентстве по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан и в высших учебных заведениях страны.

Связь темы диссертационной работы с научными программами.

Диссертационное исследование выполнялась в рамках программ республиканского и международного уровня: «Разработка Каталога (атласа) ледников Республики Таджикистан на основе инновационных геоинформационных технологий» (2022 - 2026); «Использование ГИС-



технологии и дистанционное зондирование в изучение ледников Республики Таджикистана» выполняемая в отделе «Мониторинг ледников, криосфера, гляциология и ГИС-технология» ГНУ «Центр изучения ледников» Национальной академии наук Таджикистана, «Национальная стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 года»; «Программа реформы водного сектора Таджикистана на период 2016-2025 годы»; Госбюджетная НИР, ГР 0120TJ01029 «Проблемы формирования и регулирования твёрдого стока на водных объектах Таджикистана и пути их разрешения», (2020-2024гг) выполняемая в лаборатории «Гидротехнические сооружения» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, а также в рамках Международного проекта «Наблюдение за криосферой и моделирование для улучшения адаптации в Центральной Азии (CROMO-ADAPT)».

### **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

Работа посвящена оценкам влияния современного состояния оледенения и высокогорных озёр на формирование стока бассейна реки Гунт, с использованием данных дистанционного зондирования с привлечением космических снимков со спутников Landsat 1-9, Sentinel 2A, Corona KH-4B, с реализацией комплексных научно-полевых исследований. Освещены полученные (впервые) результаты о балансе массы ледника №457 за период 2020-2022гг., для бассейна реки Гунт, включенные в мировую базу данных; приведены результаты изучения влияния метеоклиматических параметров на состояние оледенения и динамики зеркальной площади горных озёр бассейна реки Гунт. Представлены (впервые) результаты исследований, осуществленного моделирования процесса вероятного (потенциального) прорыва опасных высокогорных озер бассейна реки Гунт, а также полученные данные о расходе воды и основных параметров селевого потока, с применением программного комплекса RAMMS.

**Цель исследований** - изучение и оценка влияния современного оледенения и высокогорных озёр на формирование стока бассейна реки Гунт.

Для достижения поставленной цели требовалось решить следующие задачи:

1. Изучить гидрологический режим рек бассейна реки Гунт с использованием современных технологий и средств мониторинга.

2. Оценить состояние современного оледенения и его влияния на формирование стока бассейна реки Гунт, с использованием современных технологий и средств мониторинга.

3. Выявить основные факторы влияющие на процесс деградации ледников бассейна реки Гунт.

4. Разработать новые карты оледенения и географического положения бассейна реки Гунт.

5. Изучить температурный режим бассейна реки Гунт, с учетом полученных данных метеорологических переменных.

6. Развить методику и технологию расчета баланса массы (впервые) для условий ледников в бассейне реки Гунт.

7. Совершенствовать мониторинг и оценку состояния высокогорных озер бассейна реки Гунт.

8. Смоделировать процесс вероятного (потенциального) прорыва опасных горных озер.

9. Разработать рекомендации по управлению (снижению риска) возможных стихийных бедствий связанные с ледниками и озерами бассейна реки Гунт.

**Объект исследования** - ледники, озера и водные объекты бассейна реки Гунт.

**Предмет исследования** - совершенствование методов и технологий мониторинга состояния ледников и высокогорных (прорывоопасных) озер и их влияния на формирование стока бассейна реки Гунт.

**Теоретической основой исследований** является выявление влияния изменения климата на оледенение и динамики горных озер бассейна реки Гунт.

**Методы исследования.** В исследованиях использованы дистанционные методы для анализа динамики оледенения и горных озер бассейна реки Гунт с

привлечением космических снимков Landsat 1-9, Sentinel 2A, CORONA KH-4B, цифровые модели рельефа SRTM и Alos Palsar, которые обрабатывались в программных обеспечениях ArcGIS, QGIS и SAGA, а также моделирование прорывных паводков с использованием программы RAMMS. Полевые исследования проведены на основе существующих методов организации и проведения изысканий. Разработка карты рек, оледенения и озёр Таджикистана осуществлена с применением цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) и подложки OpenStreetMap. При построении подробной карты бассейна реки Гунт использован ЦМР SRTM и программные комплексы. Для измерения баланса массы ледников бассейна реки Гунт, имеющий важное значение при оценке её водного ресурса, был использован прямой гляциологический метод, на основе данных полученные в полевых изысканиях и в процессе камеральных работ.

#### **Основная информационная и экспериментальная 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, посвящённые гляциологическим исследованиям в том числе динамики оледенения, и эволюции горных озёр.

При выполнении диссертационной работы были использованы данные Государственного научного учреждения «Центр изучения ледников» НАНТ.

**Научная новизна диссертации:** внесён вклад в изучение влияния современного оледенения и высокогорных озёр на формирование стока рек бассейна реки Гунт.

В частности:

- изучены распределение температуры воздуха и количество атмосферных осадков и их влияние на формирования стока в бассейне реки Гунт;
- изучены состояние оледенения и высокогорных озёр и их влияние на формирование стока бассейна реки Гунт;
- разработаны карты современного оледенения бассейна реки Гунт;

- впервые получены данные баланса массы ледников бассейна реки Гунт (на примере ледника №457);

- осуществлены мониторинг и оценка состояние высокогорных (прорывоопасных) озер бассейна реки Гунт;

- осуществлено моделирование процесса вероятного (потенциального) прорыва опасных высокогорных озер бассейна реки Гунт;

- разработаны рекомендации по управлению (снижению уровня) рисками стихийных бедствий связанные с ледниками и ледниковыми озерами бассейна реки Гунт.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Результаты комплексного анализа и оценки состояния современного оледенения и высокогорных (прорывоопасных) озёр и их влияние на формирование стока бассейна реки Гунт.

2. Результаты расчета баланса массы ледников бассейна реки Гунт.

3. Результаты мониторинга деградации ледников и динамики высокогорных (прорывоопасных) озер бассейна реки Гунт.

4. Рекомендации по управлению (снижению уровня) рисками стихийных бедствий связанные с ледниками и высокогорными (прорывоопасными) озерами бассейна реки Гунт.

**Теоретическая значимость** диссертационной работы заключается в решение задач связанные с: мониторингом ледников и озер, их влияние на гидрологический режим водотоков, с применением современных технологий и технических средств мониторинга; динамикой зеркальной площади высокогорных (прорывоопасных) озер; моделированием процесса вероятного (потенциального) прорыва опасных высокогорных озер; методологией расчета баланса массы ледников бассейна реки Гунт.

#### **Практическая значимость заключается в:**

- оценке состояния современного оледенения и результатов мониторинга высокогорных (прорывоопасных) озер и их влияние на формирование стока бассейна реки Гунт;

- изучении гидрологического режима рек бассейна реки Гунт с использованием современных технологий и средств мониторинга;
- результатах проведенных полевых исследований и возможности их использования для мониторинга ледников Юго-Западного Памира;
- методике и технологии исследований для определения баланса массы ледников;
- результатах обработки космических снимков по определению деградации ледников с использованием автоматических, полуавтоматических и ручных методов;
- результатах оценки современного состояния оледенения и высокогорных (прорывоопасных) озер бассейна реки Гунт;
- совершенствовании методики моделирования вероятного (потенциального) прорыва высокогорных озер;
- разработке мер по управлению (снижению уровня) рисками стихийных бедствий связанные с ледниками и ледниковыми озерами бассейна реки Гунт.

Результаты исследований применяются в научно-исследовательской работе Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии, Государственного научного учреждения «Центр изучения ледников НАНТ», ГНУ «Центр изучения ледников», Научно-исследовательского центра экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе) и рекомендуются для соответствующих служб Комитета по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при Правительстве РТ, Комитета по охране окружающей среды при Правительстве РТ, и могут быть применены в учебном процессе в высших учебных заведениях и институтах, готовящие бакалавров и магистров, аспирантов, докторантов соответствующего профиля, при чтении лекций и на практических занятиях, а также при проведении лабораторных и полевых работ для студентов по специальным курсам: «Гляциология», «Гидрология», «Метеорология и климатология», «Рациональное использование и охрана водных ресурсов», «Интегрированное управление водными ресурсами» и другие. Результаты исследований могут быть применены при разработке

учебных планов, рабочих программ и силлабусов по соответствующим дисциплинам.

Результаты диссертационных исследований внедрены в научно-практическую и проектно-изыскательскую сферу деятельности: ГУП «Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт» Министерства транспорта РТ; ОАО "Памирская Энергетическая Компания" (ОАО «Памир Энерджи»), а также Управления по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне по Горно-Бадахшанской Автономной Области КЧСиГО при Правительстве Республики Таджикистан.

### **Соответствие содержания диссертации паспорту специальности.**

Содержание диссертационной работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия:

*1. Теоретические и методологические основы гидрологии, гидрографии речного стока, лимнологии, русловых и устьевых процессов, гидрохимии, гидроэкологии.*

*3. Проблемы региональной гидрологии подобия и различия водосборных территорий по условиям формирования речного стока, генезиса составляющих стока, физической и схоластической природы колебаний водности рек, пространственно-временной изменчивости региональных и местных водных ресурсов.*

*4. Особенности гидрологических, гидрохимических и гидробиологических процессов в озерах и водохранилищах, динамические явления в озерах, водохранилищах и прудах, генезис и трансформация состояния водных масс, проблемы лимнологического моделирования внутриводоемных явлений, гидроэкологической оптимизации режима водоемов суши.*

*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.*

**Достоверность результатов работы** основаны на применении существующих методов и средств исследований, подтвердившиеся многолетними результатами полученные отечественными и зарубежными учеными; в результатах полученных в процессе научных полевых исследований в бассейне реки Гунт; подтверждении результатов натурных исследований в сравнении с результатами полученными с применением современных методов и технологий ДЗЗ, а также результатов других исследователей; реализации камеральных работ с использованием существующих методологий; применением методов статического анализа и критериев статистической оценки результатов, подтвердившие необходимой повторяемостью полученных результатов и сопоставлением с данными других авторов; одобрением, в процессе обсуждения, на научных семинарах и конференциях различного уровня.

**Личный вклад соискателя.** Диссертация является результатом исследований автора в Институте водных проблем гидроэнергетики и экологии НАНТ, ГНУ «Центр изучения ледников» НАНТ и других профильных научных институтах и центрах НАНТ и состоит в выборе задач исследований и путей их решения, проведения полевых и экспедиционных работ, анализе и обработке полученных результатов и в разработке рекомендаций, а также в их внедрении в научно-исследовательские и мониторинговые работы.

Выбор цели, задач и направлений исследований осуществлены под руководством научного руководителя, доктора технических наук, доцента, заведующего лабораторией «Гидротехнические сооружения» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ Фазылова А.Р.

Организация и проведение экспедиционных работ осуществлены под руководством научного консультанта, доктора медицинских наук, профессора Каюмова А.К.

**Апробация результатов.** Основные результаты диссертации были доложены и обсуждены на международных и республиканских научно-практических конференциях (НПК): «Летняя школа по академическому письму в рамках Конкурса студенческих исследований по устойчивому управлению природными ресурсами в Центральной Азии и Афганистана» (г. Алматы, 2019), Российско-таджикская научно-практическая конференция молодых ученых «Исследования в области биоразнообразия и экологии» (онлайн) (г. Душанбе, 2020) Международная научно-практическая конференция «Современное состояние ледников, оледенение и криосфера в процессе глобального потепления», (г. Душанбе, 2021), «Ледники Республики Таджикистан: состояние, положение и перспективы изучения» (г. Душанбе, 2022), ГИС в Центральной Азии- GISCA 2017 «Геоинформационные науки для устойчивого развития» (онлайн) (г. Душанбе, 2022) «Водохозяйственный комплекс: проблемы и пути их решения» Посвященный Международному десятилетию действий «Вода для устойчивого развития» 2018-2028годы (г. Душанбе, 2022), «Раннее предупреждение и ранние действия для всех» в рамках мероприятий, посвященных Международному дню снижения риска бедствий (г. Душанбе, 2022), Международная научная конференция «Вопросы изучения, сохранения ледников и рациональное использование водных ресурсов Центральной Азии» (г. Душанбе, 2022).

**Публикации.** Основные результаты исследований по теме диссертации изложены в 16 научных трудах, в том числе 4 научных статей в ведущих рецензируемых научных журналах ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертационная работа изложена на 194 стр. компьютерного текста, из них 164 стр. основного текста, и состоит из введения, 5 глав, заключения и приложений. В работе содержится 89 рисунков и 13 таблиц. Список использованной литературы включает 178 наименований, в том числе 40 на иностранных языках.



Автор глубоко благодарен и признателен своему научному руководителю, доктору технических наук, доценту, заведующему лабораторией «Гидротехнические сооружения» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ Фазылову Али Рахматджановичу, за руководство, постоянные советы, ценные замечания и поддержку в процессе проведения исследований и подготовки диссертации к защите.

Автор выражает свою благодарность своему научному консультанту, директору ГНУ «Центр изучения ледников» НАНТ д.м.н., профессору Каюмову А.К. и сотрудникам Центра за создания условий, поддержку и постоянную помощь по реализации научных исследований.

Автор выражает свою признательность директору Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ д.т.н., доценту Амирзода О.Х. и сотрудникам ИВПГЭиЭ НАНТ за поддержку и помощь в процессе работы над диссертацией.

## **Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

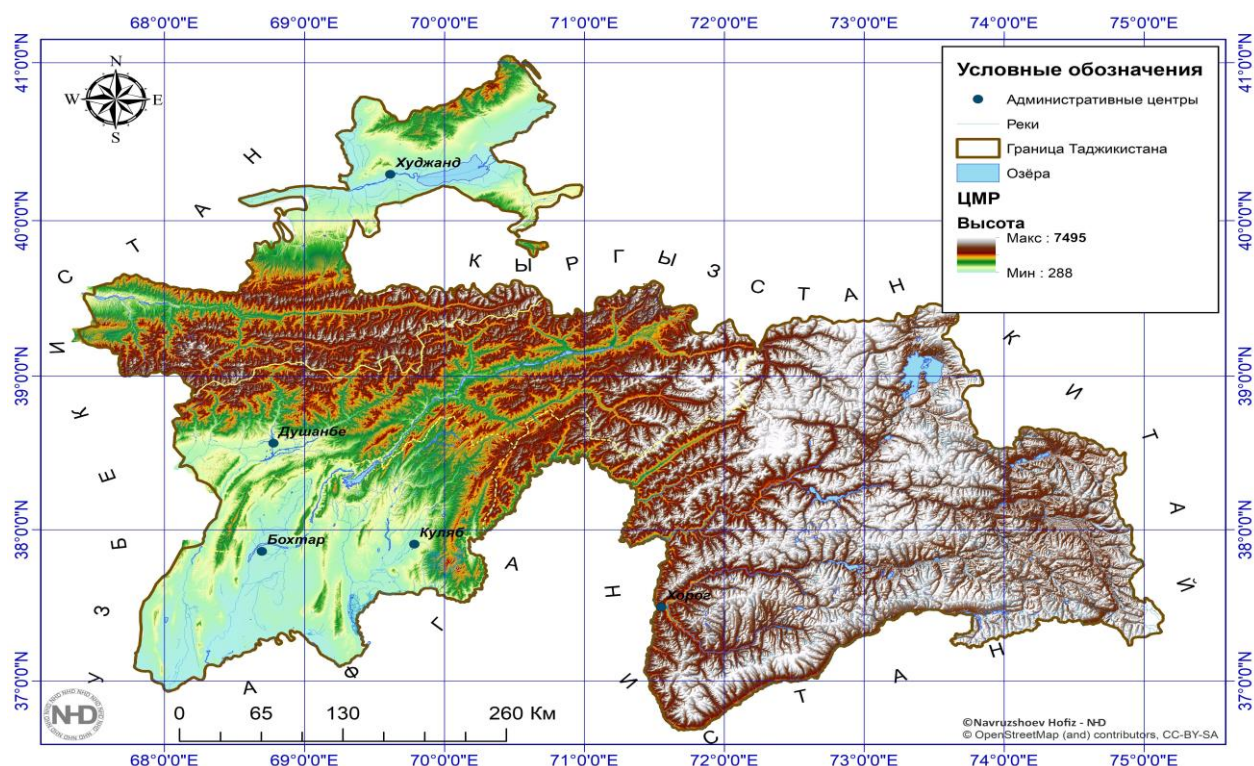
Республика Таджикистан (РТ), горная страна (93%), с географическими координатами 36°40' - 41°05' северной широты и 67°31' - 75°14' восточной долготы, расположенная в центре Евразийского континента, в юго-восточной части Центральной Азии, с площадью 142,6 тыс. км<sup>2</sup>, с отметками абсолютных высот, от 300 до 7495 м. Расположенные здесь горные системы Тянь - Шаня, Гиссаро-Алая и Памира, разделены межгорными котловинами и долинами. На пониженной юго-западной части находятся Гиссарская, Вахшские и др. долины; Ферганская долина занимает север территории РТ; Алайский, Зерафшанский, Туркестанский хребты расположены в центральной части, а также занимают территории на севере-западе; Памир расположен на юго-востоке страны.

«Территория РТ включает в себя 5 природно-географических областей: Восточный Памир, Западный Памир, Юго-Западный Таджикистан, Центральный Таджикистан и Северный Таджикистан, с различными климатическими условиями, рельефом, геологическим строением, растительностью, животным миром, антропогенной нагрузкой и др. Таджикистан граничит на западе и севере с республиками Узбекистан (910 км), Кыргызстан (630 км), на юге с Афганистаном (1030 км) и на востоке с Китаем (430 км)» [6].

Памир расположен в восточной части Таджикистана, в области сближения высочайших на континенте хребтов - Куньлуня, Тянь-Шаня и Гиндукуша. Координаты территории Памира: 36°41' и 39°4' с. ш., 70°59' и 75°10' в. д. [7].

Природными границами Памира являются гребни хребтов: на севере Заалайского, на юге - Гиндукуша, на востоке - Кашгарского (Западный Куньлунь), на западе - хребта Кохи-Ляль (Северо-Восточный Афганистан). Северо-западная граница Памира определяется по гребню Ванчского хребта и хребту Академии наук [7, 8].

На основе анализа и изучения имеющихся фондовых материалов автором с использованием цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM разработана (подготовлена) физическая карта Таджикистана (рисунок 1.1).



**Рисунок 1.1. - Физическая карта Таджикистана на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM (подготовлена Наврузшоевым Х.Д.)**

Основным источником формирования водных ресурсов, на территории Таджикистана, являются атмосферные осадки, среднегодовое количество которых составляет 691 мм, варьируясь при этом от менее 100 мм на юго-востоке, до 2400 мм на леднике Федченко в центральной части страны. Площадь ледников и снежников составляют 8,5 тыс. км<sup>2</sup> (5,6% площади страны), где сосредоточены около 460 км<sup>3</sup> запасов водных ресурсов. Наряду с этим, в Таджикистане насчитывается 1300 природных малых и больших озер с общим запасом пресных вод около 50 км<sup>3</sup> [9].

«Ожидается, что последствия изменения климата для водных ресурсов будут иметь кумулятивный эффект с точки зрения воздействия на здоровье человека и многие сектора экономики: сельское хозяйство (увеличение потребностей в орошении или лесоводстве); энергетика (сокращение гидроэнергетического потенциала и ограничение имеющихся возможностей для водяного охлаждения); рекреационные объекты (риски для водного туризма), рыбное хозяйство и навигация. Назревают также серьезные последствия для биоразнообразия» [10].

Водные ресурсы используются: в орошаемом земледелии, дающая около 80% сельскохозяйственной продукции; для целей питьевого водоснабжения и санитарии; в промышленности и рыбном хозяйстве, играющие значительную роль в обеспечении продовольственной безопасности и доступа населения к качественному питанию.

Следует отметить, что вода, в настоящее время, является основным источником энергии в стране - более 95% электроэнергии в стране вырабатывается на гидроэлектростанциях [11].

Современное управление использованием и охраной водных ресурсов исходит из понимания необходимости увязки экономических, социальных и экологических критериев общества. Нахождение разумного баланса между этими тремя стратегиями управления водой является целью и общим подходом всего мирового сообщества [12].

Вместе с тем, как отмечалось выше, немаловажное значение имеет эффективное управление водными ресурсами - интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР), являющейся средством обеспечения продовольственной и экологической безопасности, а также, что особо ценно, устойчивого роста отраслей экономики.

Основным назначением интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР) и Нексус подходом в более широком контексте устойчивого развития - прежде всего стимуляция оптимального природопользования в поддержку устойчивого социально-экономического развития. Понимание необходимости рационального использования природных ресурсов является предпосылкой к подходу Нексус, который может предоставить оптимальные решения для преодоления вызовов в сфере развития, существующий на данный момент.

«В этой связи, учитывая увеличивающуюся потребность в более эффективной и устойчивой формы управления водными ресурсами и решения проблем в водном секторе страны, а также с целью внедрения передовых всемирно признанных институционально-правовых механизмов управления

водными ресурсами, Правительство Республики Таджикистан приняло решение реформировать водный сектор Республики Таджикистан. Для осуществления целей и принципов реформы водного сектора Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 декабря 2015 года, №791 была принята Программа реформы водного сектора Таджикистана на период 2016-2025 годы. В Программе: представлена информация о существующих проблемах в водном секторе; определены цели и задачи реформы и механизмы их реализации; прогнозированы необходимые финансовые ресурсы для реализации реформы» [13, 14].

В обеспечении устойчивого развития Таджикистана, водные ресурсы (в первую очередь это огромные ресурсы пресной воды) имеют исключительно важное значение.

### **1.1. Особенности формирования стока рек Таджикистана**

Гидрографическая сеть Средней Азии характерна крайне неравномерным распределением водных объектов по ее поверхности, в том числе речной сети. На обширных равнинах, занимающих около 70% общей территории Средней Азии (включая плато Устюрт), водотоков очень мало, буквально единицы, причем реки на всем своем пути от выхода их из гор до устья не принимают ни одного притока [15].

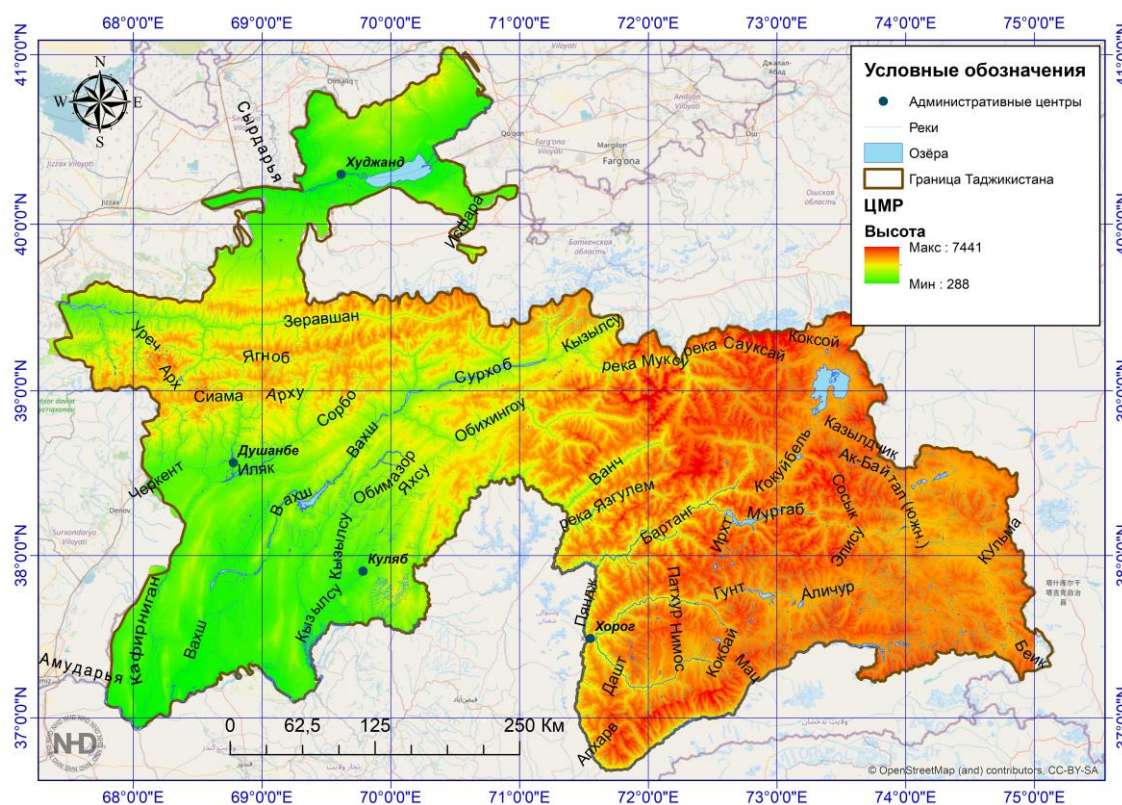
Территория Таджикистана занимает 11% территории Центральной Азии, где формируется более 65% водных ресурсов региона [16].

«Всего, в Таджикистане насчитывается 947 рек, общая протяженность которых составляет около 28500 км. Среднегодовой сток в центральной горной части страны достигает 30-45 л/сек, а среднегодовой расход рек в Таджикистане составляет около 53 км<sup>3</sup>» [17, 18].

Бассейны рек Сырдарья, Зерафшан, Каратаг-Ширкент, Кафирниган, Вахш, Пяндж и Кызылсу-Яхсу составляют часть бассейнов двух крупных рек региона - Сырдарьи и Амударьи. Основными источниками водных ресурсов в Таджикистане являются ледники и толщи горных пород. Относительно подземных вод, преимущественно находящиеся в межгорных впадинах и на

территории речных долин - Сырдарья, Кафирнигана, Вахша, Кызылсу, Яхсу, то следует отметить, что потенциальные запасы подземных вод составляют более 17 км<sup>3</sup>/год, а эксплуатационные примерно 2-3 км<sup>3</sup>/год.

На основе анализа и изучения имеющихся фондовых материалов автором на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM и подложки OpenStreetMap разработана (подготовлена) карта рек Таджикистана (рисунок 1.2).



**Рисунок 1.2. - Карта рек Таджикистана на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM и подложки OpenStreetMap (подготовлена Наврузшоевым Х.Д.)**

«Последнее десятилетие оказалось самым теплым, в глобальном масштабе и за прошедшие 150 лет температура поверхности нашей планеты увеличилась почти на 1°C. Согласно оценкам Межправительственной Группы Экспертов по Изменению климата (МГЭИК), это связано во многом из-за деятельности человека. В частности, только за период 1970-2004 гг. глобальные выбросы парниковых газов возросли на 70%, а концентрация одного из основных парниковых газов CO<sub>2</sub> увеличилась до уровня 380 ppm (в 19 веке она была на уровне 280 ppm). Продолжающееся увеличение выбросов парниковых газов способствует глобальному потеплению» [18].

Ниже представлен обзор и анализ состояния крупных бассейнов рек Центральной Азии, которые являются основными источниками питания Аральского моря.

Следует отметить, что высокие температуры и уменьшение выпадения снега приведут к медленному, но неуклонному таянию ледников на территории Таджикистана и Кыргызстана, что, в свою очередь, отразится на питании Амударьи, Сырдарьи и их притоков. Снижение общего объема поверхностного стока может варьироваться от двух до пяти процентов в бассейне Сырдарьи и от 10 до 15 процентов в бассейне Амударьи. Это значительно изменит водный режим в Центральной Азии, оказывая серьезное влияние на сток и сезонный цикл поверхностных источников водоснабжения [19-20].

**Бассейн реки Сырдарья.** Река Сырдарья является самой длинной водной артерией Центрально-Азиатского региона, сток которой формируется в горной части бассейна и протекает через территории Таджикистана, Узбекистана и Казахстана. Площадь его бассейна составляет 219 000 км<sup>2</sup>, а протяженность, «от слияния Кара-Дарьи и Нарына до устья» составляет более 2 800 км. В наши дни ученые определяют длину Сырдарьи в 2212 км и ок. 2900 км от истока Нарына. Питание преимущественно снеговое, в меньшей мере ледниковое и дождевое. Половодье весенне-летнее, с марта - апреля по август - сентябрь. В равнинной части бассейна режим реки нарушается, водность уменьшается, главным образом в связи с использованием воды для орошения [21-23].

«Бассейн реки Сырдарьи состоит из двух различных по рельефу частей: горной области, где формируется основная часть речного стока, и равнинных пространств. Низовье Сырдарьи представляет собой равнинную область, которая характеризуется разнообразным рельефом песчаных и песчано-глинистых пустынь. Последние поверхностного стока и русло Сырдарьи почти не дают, особенно в нижнем ее течении, где прилегающая к реке местность имеет уклон от русла реки в стороны. Большая протяженность бассейна реки Сырдарьи, значительные колебания высот, разнообразие форм рельефа и ландшафтов (от высоких горных хребтов, покрытых «вечным» снегом и

ледниками, до знойных безводных пустынь) обуславливают разнообразие его климатических условий. Климатические условия равнинной территории бассейна характеризуется высокими летними температурами воздуха, длительным теплым периодом» [24].

Ввиду того, что объекты наших исследований расположены в бассейне реки Амударья, то особенностям и источникам формирования водных ресурсов в этой зоне (в основном верховья) уделено более детальное внимание.

**Бассейн реки Амударья.** Бассейн р. Амударьи расположен между  $34^{\circ} 30'$ —  $43^{\circ} 45'$  с. ш. и  $58^{\circ} 15'$ —  $75^{\circ} 07'$  в. д. С севера на юг он вытянут на 1230 км и с запада на востока 1470 км, а расстояние от устья реки до наиболее удаленной точки ее речной системы (по руслу) составляет 2620 км [24].

«Возобновляемый среднегодовой сток реки Амударья составляет около  $74,22 \text{ км}^3$  (без учета реки Зеравшан). Крупными притоками Амударьи являются реки Вахш, Пяндж и Кафирниган, доля которых в общем объеме водных ресурсов этого бассейна составляет 82,5%. На северо-западе страны расположен другой приток, река Зеравшан, среднемноголетний сток которая составляет  $5,14 \text{ км}^3$ . В пределах Таджикистана используется только около 3% ее стока, остальной сток перетекает на территорию Узбекистана и полностью разбирается на орошение и другие нужды экономики соседних стран. Уже многие десятилетия Зеравшан не доходит до Амударьи. Формируясь слиянием рек Вахш и Пяндж, река Амударья продолжает границу между Таджикистаном и Афганистаном вниз по течению, далее разделяет Узбекистан от Афганистана, затем протекает через Узбекистан и попадает на территорию Туркменистана и вновь протекая по территории Узбекистана - впадает в Аральское море. Около 8% речного стока бассейна Амударьи формируется на территории Афганистана и около 3,5 % - на территории Ирана и Туркменистана. На территории Узбекистана формируется около 6% речного стока бассейна Амударьи. Доля формируемого поверхностного стока рек в странах Центральной Азии приведено в таблице 1» [25].



Таблица 1. 1. Поверхностный сток рек формирующиеся в странах Центральной Азии [16].

Республика	Бассейн Амударьи	Бассейн Сырдарьи	Всего в бассейне Аральского моря	
	км <sup>3</sup> /год	км <sup>3</sup> /год	км <sup>3</sup> /год	%
Казахстан	-	4,5	4,5	3,9
Кыргызстан	1,9	27,4	29,3	25,3
Таджикистан	62,9	1,1	64	55,4
Туркменистан (вместе с Ираном)	2,78	-	2,78	2,4
Узбекистан	4,7	4,14	8,84	7,6
Афганистан	6,18	-	6,18	5,4
Всего	78,46	37,14	115,6	100

Рассматривая гидроэнергopotенциал региона, следует отметить, что гидроэнергopotенциал Таджикистана в три раза выше, чем текущее потребление электроэнергии по всей Центральной Азии. Таджикистан, обладает огромными запасами гидроэнергетических ресурсов, оцениваемые в 527 млрд. кВт.ч. в год. В техническом плане гидроэнергетические ресурсы Таджикистана имеют хорошие перспективы для развития - 317 млрд. кВт.ч в год, из которых до настоящего времени использованы только 4-5% [26, 27].

При эффективном использовании этих ресурсов, регион может быть обеспечен недорогой и экологически чистой энергией. При этом основной гидроэнергетический потенциал сосредоточен в бассейнах рек Пяндж, Вахш, Кафирниган и Зеравшан [28, 29].

Предварительная оценка гидроэнергopotенциала РТ [30], рассчитанные по схеме отношения технического гидроэнергopotенциала к общему гидроэнергopotенциальному Республики Таджикистан, приведена на рисунке 1.3.

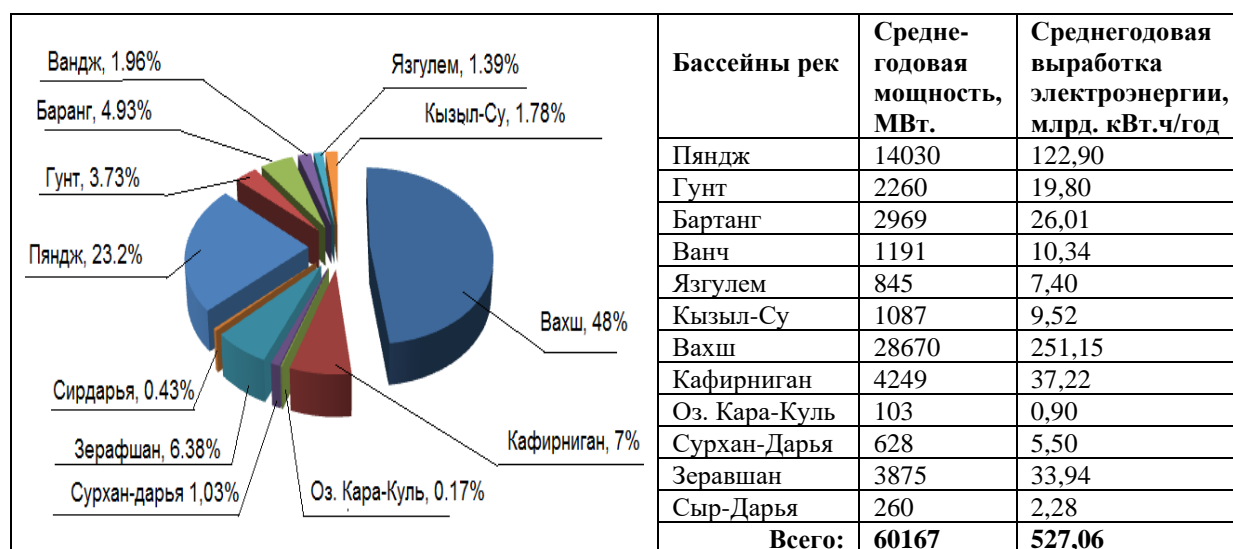


Рисунок 1.3. - Потенциальные запасы гидроэнергоресурсов по бассейнам рек [30]

«Территория Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО) является зоной аккумуляции водных ресурсов и формирования речного стока - ключевого регионального ресурса стран Центральной Азии. В средний по водности год, на территории области формируется 409063 млн. м<sup>3</sup> (409 км<sup>3</sup>) водных ресурсов, в том числе: 16032 млн. м<sup>3</sup> - речной сток (из них 30,7 млн. м<sup>3</sup> родниковый сток); 50000 млн. м<sup>3</sup> - ресурсы озер; 36 млн. м<sup>3</sup> - утвержденные эксплуатационные запасы пресных подземных вод и 343000 млн. м<sup>3</sup> - объем воды ледников Памира» [28].

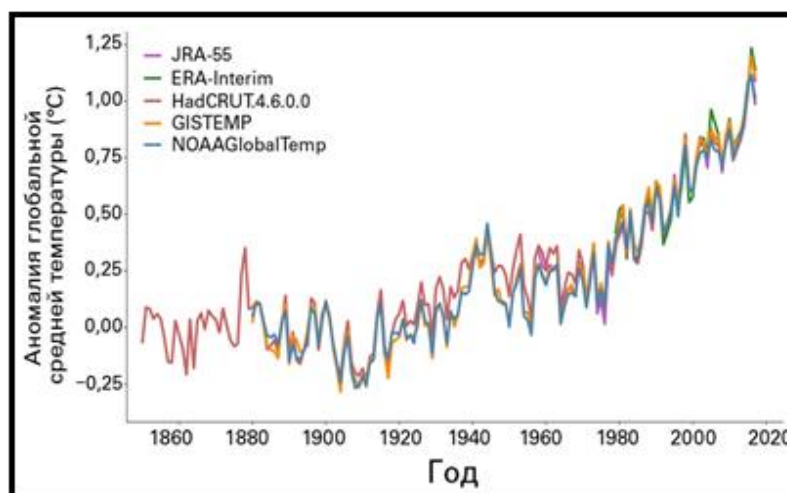
Анализ и оценка водных ресурсов для целей водопользования и водопотребления позволят выявить масштабы их рационального использования, а также определить их нынешний и будущий вклад в устойчивое развитие всех секторов экономики РТ.

## **1.2. Орография и природно - климатические условия высокогорных зон речных бассейнов Таджикистана**

“Большинство главных горных хребтов Центральной Азии отходят радиально от Памирского горного массива на границах Китая, Таджикистана и Афганистана. К югу и к востоку от Памира в пределах Северного Пакистана простирается горная система Каракорум, ведущая к Большому Гималайскому хребту, который выступает как непрерывный барьер между Китаем и Индией от Кашмира на западе до Ассама на востоке. К северу от Каракорума большой дугой поперек северного Хизанг (Тибет) протягивается Куньлунь. К северу от Памира простирается Тянь-Шань, формируя вначале границы между Китаем и Таджикистаном, Кыргызстаном и Казахстаном и затем переходя на востоке в Синьцзян” [31].

Одним из трех самых теплых лет за всю историю наблюдений в мире был 2017 год. Сочетание пяти комплектов данных, в трех из которых используются данные обычных приземных наблюдений, а в двух - данные реанализа, показывает, что глобальные средние температуры были на  $0,46 \pm 0,1$  °C выше среднего значения за 1981-2010 годы и приблизительно на  $1,1 \pm 0,1$  °C выше значений доиндустриальных уровней. Девять самых теплых лет в мире все были зарегистрированы с 2005 года, а пять самых теплых - с 2010 года, при этом даже

самый прохладный год XXI века, 2008 год, превысил на 0,09 °C средний показатель за 1981—2010 годы, что означает, что он стал бы вторым из самых теплых за XX век (рисунок 1.4) [32].



**Рисунок 1.4. - Аномалии глобальной средней температуры по сравнению с базовым периодом 1850—1990 гг. в рамках пяти глобальных наборов данных [32]**

“Климат Центральной Азии характеризуется чрезвычайным разнообразием. Юго-восточная часть региона находится во власти муссона. Скучные зимние осадки контрастируют с обильными дождями (снежными буранами на больших высотах) летом. Глубокие речные долины юго-восточного Ксизанга (Xizang) способствуют вторжению морского воздуха летом в Hengduan и Ньяньгентангла-Шань (Nyainqentanglha Shan). Ледники снабжают талыми водами в течение лета, когда температуры относительно высоки, но значение талых ледниковых вод в юго-восточной области полностью затенено (затушевано) муссонными осадками. Температурные режимы в пределах региона также контрастны. Южные фланги Гималаев почти всегда - объект влияния тропиков - редко испытывают чрезвычайный холод. Пустынные бассейны Такла-Макан и Гоби простирающиеся к северо-западу, характеризуются намного меньшими высотами (частично ниже уровня моря) и испытывают выраженный континентальный климат - очень жаркое лето и очень холодная зима” [31].

“Вопросы исследования природы и природных ресурсов горных регионов Таджикистана имеют многовековую историю. Исследователи, изучавшие природы этого горного региона, указывают в своих работах на самобытность и

уникальность природных ресурсов. Этим вопросам посвящено множество монографических работ, научных статей, защищены десятки диссертационных работ, разработаны многочисленные рекомендации. Однако, существенно уменьшить негативные воздействия на окружающую природную среду пока еще не удастся» [33]. «Климат Таджикистана резко континентальный и характеризуется значительными сезонными и суточными колебаниями температуры, влажности и других метеорологических элементов. Максимум температуры наблюдается в июле, минимум в январе. Восточный Памир отличается суровым климатом, где абсолютный минимум достигает  $-63^{\circ}\text{C}$ . На юге страны абсолютный максимум температур воздуха достигает  $+47^{\circ}\text{C}$ , т.е. диапазон температур составляет более  $100^{\circ}\text{C}$ . Общая продолжительность солнечного сияния колеблется от 2100 до 3170 часов в год» [6].

Январь ( $+2,0^{\circ}\text{C}$ ) - это самый холодный месяц характерный для Юго-Запада Таджикистана, а июль ( $+28-32^{\circ}\text{C}$ ) - самый жаркий месяц в долинах Севера РТ, в январе  $-2,0^{\circ}\text{C}$ , а в июле в среднем  $+30^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовая температура предгорных районов в январе колеблется до  $-8^{\circ}\text{C}$ , а в июле  $18-26^{\circ}\text{C}$ . В высокогорье годовая температура отрицательная и составляет в среднем  $-20^{\circ}\text{C}$ . Для долин и плато с высотами до 1000м характерно жаркое продолжительное лето со средней температурой в июле в пределах  $30^{\circ}\text{C}$ , с абсолютным максимум до  $43 - 48^{\circ}\text{C}$ . Установлено, что перепад температур на территории Таджикистана составляет  $6,9^{\circ}\text{C}$ , на леднике Федченко до  $17,2^{\circ}\text{C}$  на Айвадже.

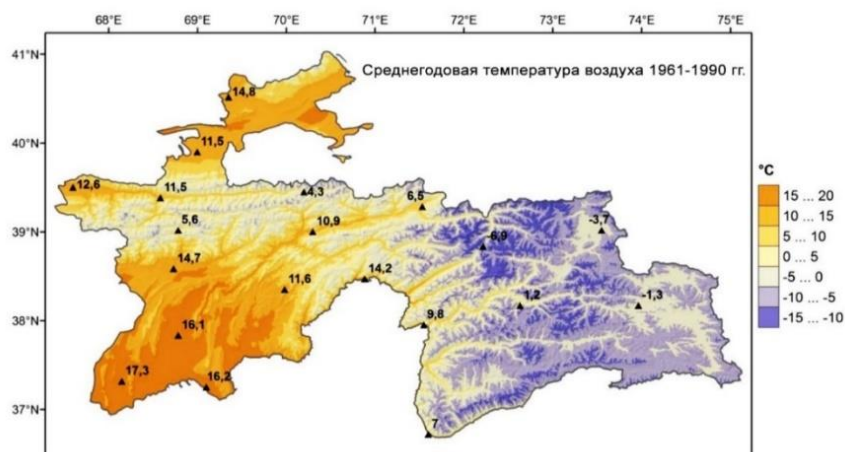


Рисунок 1.5. - Сумма среднегодовой температуры в Таджикистане на основе данных за период 1961-1990 гг. [17]

На территории РТ выделяются шесть природно-климатических поясов: низинно-равнинный, предгорно-адырный, низкогорный, среднегорный, высокогорный, горно-тундровый [27]. Самые низкие значения можно найти в восточных горах и самые высокие в западных низменных частях страны, что также показано на рисунке 1.5 [17].

Глобальные климатические показатели описывают изменение климата, давая широкую картину изменения климата на глобальном уровне, не ограничиваясь температурой. Они предоставляют важную информацию по областям, наиболее актуальным с точки зрения изменения климата, включая состав атмосферы, изменения энергии, возникающие в результате накопления парниковых газов и других факторов, а также реакцию суши, океанов и льда [35].

Повышение температуры уже ускорило ход гидрологического цикла. Более теплая атмосфера удерживает большее количество влаги, становится менее устойчивой, и в результате, увеличивается количество осадков, чаще всего в виде сильных ливней, а также ускоряет процесс испарения. Конечным результатом этих изменений в обороте воды станет снижение количества и качества запасов пресной воды во всех основных регионах [36]. Связанные с климатом явления и бедствия, очень негативно сказываются на благосостоянии людей, различных секторах и отраслях и приводят к большим ущербам социального и экономического характера.

### **Осадки**

“По данным В. Л. Шульца (1949), 40% территории Средней Азии получают менее 100 мм осадков. За год на пустыни и полупустыни приходится от 79 мм в Нукусе до 231 мм осадков в Ашхабаде. В горах, по подсчетам В. Л. Шульца, водный баланс определяется из расчета 648 мм осадков. Однако конкретные величины осадков подвержены весьма значительным колебаниям в зависимости от орографии, экспозиции высоты и удаленности от окраинных гор. Так, на леднике Федченко, на высоте 4200 м, за год выпадает свыше 800 мм, а на Зеравшанском свыше 1000 мм, тогда как в центральных частях Памира, на

Каракуле и в Мургабе количество осадков меньше, чем в наиболее пустынных частях равнин Средней Азии” [37].

“Следует отметить, что за период 1940-2012 гг. в целом произошло некоторое увеличение годового количества осадков на 5-10%, но многообразие географических и климатических зон Таджикистана создает довольно пеструю неоднозначную картину изменений. За исследуемый период наиболее сухим оказались 1940-1950 гг. Затем чередовались засушливые и влажные периоды. Некоторое увеличение осадков в основном связано с ростом их интенсивности при уменьшении количества дней с осадками. Годовое количество осадков в последнее десятилетие (2000-2010 гг.) также оказалось выше многолетней нормы, за исключением отдельных годов, что отразилось на повышенной водности рек. В современный период, 1976-2012 гг., существенное относительное увеличение осадков произошло летом. Однако это не имело особого эффекта для увеличения накопления влаги и поверхностного стока, так как летние осадки в количественном выражении небольшие, а высокие температуры летом способствуют их быстрой испаряемости с поверхности. В горной и высокогорной зонах в холодный период года осадки имели тенденцию роста и в последние годы были выше многолетней нормы. В обособленных горных районах (горные перевалы, закрытые каньоны), где влияние микроклимата существенно, выявлено как уменьшение, так и увеличение количества осадков (рисунок 1.6)” [6].

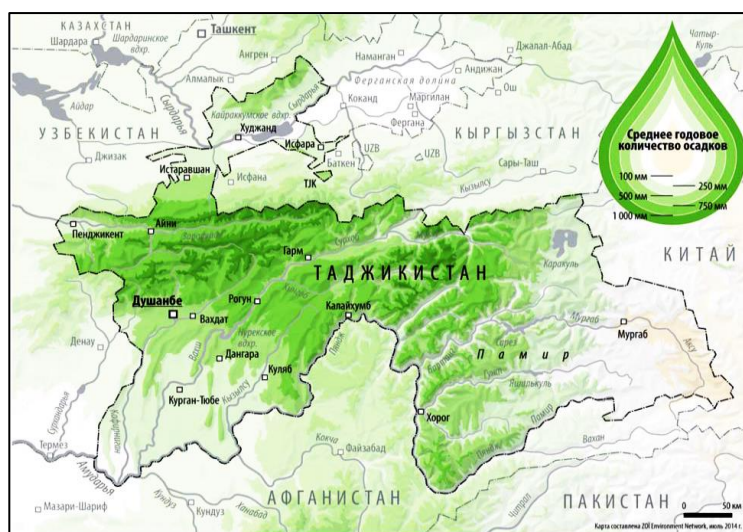


Рисунок 1.6. - Карта среднее годовое количество осадков [6]

### 1.3. Ледники Таджикистана

“Систематические наблюдения за колебаниями ледников были начаты в Швейцарии в 70-е годы XIX в. и затем постепенно распространялись на другие горно-ледниковые районы. В 1894 г на Шестом Международном геологическом конгрессе была создана ледниковая комиссия, которая должна была изучать колебания ледников. В 1960 г была сформирована новая программа наблюдений за колебаниями ледников, а в 1967 г. создана Постоянная служба для обобщения результатов этих наблюдений в глобальном масштабе, впоследствии преобразованная во Всемирную службу мониторинга ледников. В России наблюдения за колебанием ледников Кавказа, Алтая, гор Средней Азии проводились еще в XIX столетии и состояли в основном из регистрации изменений положения края ледника относительно закрепленных на местности реперных маркеров. В 1963 г в СССР были введены постоянные наблюдения за колебаниями почти 200 ледников, а в 1973 г. была принята новая программа, определившая три класса наблюдений: детальные круглогодичные наблюдения на нескольких ледниках, позволяющие исследовать поля распределения по леднику основных его характеристик (первый класс), периодические измерения основных параметров нескольких ледников (второй класс) и более массовые периодические наблюдения на контрольных ледниках с фиксацией положения их концевой части. Из четырех видов колебаний ледников, различаемых в современной гляциологии основными являются два: 1) вынужденные колебания, обусловленные изменением внешней нагрузки, т.е. скорости аккумуляции-абляции льда и 2) релаксационные автоколебания, выражением которых являются резкие подвижки-пульсации, когда конец ледника резко продвигается вперед либо происходит перераспределение массы в пределах контура ледника (внутренняя подвижка). Механизм вынужденных колебаний изучается путем наблюдений за процессами внешнего (между ледником и атмосферой) и внутреннего массоэнергообмена ледников. В Европе первые определения баланса массы отдельных ледников побережья Северной Атлантики было предприняты еще в 1930х Х.Альманом. В 1940х ежегодные измерения баланса

массы были начаты на нескольких избранных ледниках и стали массовыми с началом работ по программе Международного гидрологического Десятилетия (1965-1974) и последующей Международной гидрологической программы» [38].

Следует отметить, что суммарная площадь ледников Азии оценивается в 120560 км<sup>2</sup> [39]. Из них 3500 км<sup>2</sup> расположено в Северной Азии и Сибири и 116180 км<sup>2</sup> – в высоких горах Азии. Наибольшие площади оледенения сосредоточены в Гималаях (33050 км<sup>2</sup>), горах Тянь-Шаня(15 417 км<sup>2</sup>), Каракорума(16600 км<sup>2</sup>), Памира(12260 км<sup>2</sup>) и Куньлуня (12260 км<sup>2</sup>) [40].

«Для ледников гор Азии и Северного Кавказа существуют лишь 18 ледников с продолжительным рядом ежегодных измерений баланса массы превышающий 20 лет. К сожалению, на 12 из них наблюдения по разным причинам прекращены в начале 1980-х -1990-х годов и в настоящее время в высоких горах Азии проводятся на трёх ледниках на Алтае и два на Тянь-Шане. Наибольшей продолжительностью наблюдений - 50 лет с учетом данных за 2005/2006 балансный год - выделяется ледник Центральный Туяксуйский (Заилийский Алатау). С учетом же восстановленных величин баланса массы продолжительность ряда данных составляет здесь 125 лет. К сожалению, прекращены наблюдения на леднике Абрамова - единственном на Памиро-Алае, где в течение 31 года проводился комплекс гляциогидроклиматических наблюдений с ежегодным измерением баланса массы ледника» [40].

Также в настоящее время ежегодно проводятся полевые работы на ледниках Центральной Азии для расчета их баланса массы (рисунок 1.7). Данные ледников Таджикистана также добавлены в этой модели. На Восточной части Таджикистана добавлены данные ледника Зульмарт бассейна озеро Каракуль, а в скором времени будут добавлены данные баланса массы для бассейна реки Гунт, бассейн реки Кафирниган а также бассейн реки Зеравшан которые повысят уровень достоверности полученных результатов.

«Сценарии изменения климата в Центральной Азии прогнозируют повышение температуры на 1–3 °С к 2030–2050 годам. К концу этого века температура может повыситься на 6 °С, если не будут сокращены выбросы по



всему миру и продолжится накопление парниковых газов. Изменение климата будет иметь огромное влияние на безопасность водоснабжения. Будущее усиление как изменчивости осадков, так и экстремальных погодных явлений приведет к снижению предсказуемости наличия воды, а повышение температуры приведет к росту спроса на воду. Изменение климата привело и к смене характера атмосферных осадков. В результате больше осадков выпадает в северной части Центральной Азии и меньше – на юге, где расположено большинство сельскохозяйственных районов. Но самым тревожным последствием глобального потепления в Центральной Азии является таяние ледников. Начиная примерно с 1950-х годов таяние ледников Тянь-Шаня и Памира составило 14–30%. Сегодняшние темпы потери ледников в Центральной Азии составляют 0,2–1% в год. Некоторые небольшие ледники (менее 0,5 км<sup>2</sup>) уже полностью растаяли» [41].

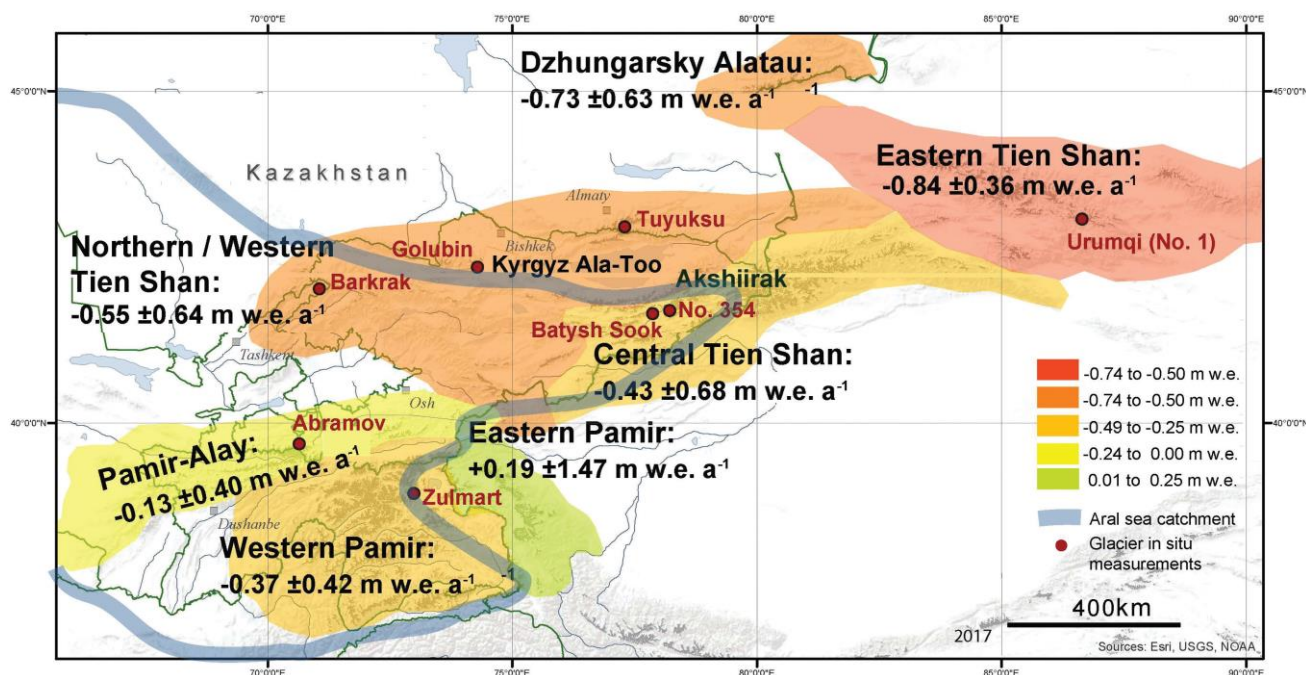


Рисунок 1.7. - Баланс массы ледников Центральной Азии [42]

По его подсчету Н. Л. Корженевского площадь оледенения Средней Азии без Памира, Таласского Алатау и части Алайского хребта составляла 8987 кв. км. Позже, С. В. Калесник, дополнив данные Н. Л. Корженевского результатами работ 2-го Международного полярного года (1932—1933), общую площадь оледенения Средней Азии оценивал в 11 000 кв. км<sup>3</sup> [37].

Полученные данные баланса массы ледников Центральной Азии показывают, что за период с 1960-х годов ледники в этом регионе сократились почти на 30% (рисунок 1.8) [43, 44].



**Рисунок 1.8. - Баланс массы ледников Центральной Азии [44]**

Ледники в данном регионе отступают с разной скоростью в зависимости от высоты расположения. Многие малые ледники уменьшились в площади и некоторые уже полностью исчезли. В будущем скорость таяния ледников в Центральной Азии будет зависеть от высоты, однако ожидается, что к концу века ледники потеряют более 50% современной массы и площади. При столь существенном сокращении ледникового покрова и запасов льда, а также изменениях в режиме атмосферных осадков в виде дождя и снега, расход рек может стать менее постоянным, а сезонный сток воды может измениться [43].

«По состоянию на 1960-1970-е годы в Таджикистане насчитывалось 8492 ледника общей площадью 8476 км<sup>2</sup> и объемом - 567 км<sup>3</sup>, формирующие ежегодно почти четверть всего стока рек Таджикистана - более 13 км<sup>3</sup> воды. При это они служат не только аккумуляторами, но также и регуляторами влаги смягчающие колебание расхода рек, понижающие коэффициент вариации стока, что является благоприятным фактором для устойчивого функционирования всех секторов экономики республики» [6, 45].

«Ледники Памира имеют большое экономическое значение для развития народного хозяйства не только Таджикистана, но и всей Центральной Азии. Они

представляют неопределимые фонды «твердой» влаги. Памир является крупнейшей областью современного оледенения площадь которого равна почти 7900 кв.км., что в 3,5 раза превышает оледенение Кавказа. По последним данным число ледников Памира составляет свыше 5,5 тыс. или 60% общего числа ледников республики, а суммарная их площадь превышает 6400 км<sup>2</sup>» [46].

«Исследования на Центральном Памире с использованием космической съемки 1972- 1984 гг. показали, что из примерно тысячи обследованных ледников за последние 20-30 лет 70% не испытали заметных изменений, а из остального числа 2/3 ледников сокращались, а треть наступала. Для 50 ледников отмечены наступания на сотни метров, для 17 ледников - 1 км и более. Среди сократившихся ледников большинство отступили на десятки метров, а шесть более чем на 1 км. В целом для ледников Средней Азии характерна неоднозначность колебаний, что объясняется, во-первых, чрезвычайным разнообразием в ее пределах климатических и орографических условий их существования и, во-вторых, значительным числом пульсирующих ледников, часть которых оказалась включенной и в число объектов постоянной службы наблюдений» [47].

Оледенение горных районов - это наиболее важная часть водных ресурсов являющаяся наименее изученной областью географической среды, связанная с труднодоступностью и высокогорными факторами. До 1990 года разными ведомствами и институтами периодически выполнялись обширные исследовательские программы и экспедиционные работы. В 2002 году была проведена экспедиция в низовьях ледника Грум-Гржымайло под руководством д-ра Л. Брауна, а летом 2006 года – были осуществлены две двухнедельные экспедиции по Гиссарскому хребту и на ледник Федченко сотрудниками Национальной гидрометеорологической службы и Фондом спасения Арала. Естественно, что в ходе таких кратковременных экспедиций можно было собрать гляциологическую информацию для оценки изменения оледенения [48].

«Самый большой узел оледенения Таджикистана находится на северо-западе Памира, в зоне схода хребтов Академии Наук, Дарвазский, Петра

Первого, Ванчский и Язгулемский, где расположены два из трех семитысячников нашей страны - пик И. Сомони (7495 м) и пик Е. Корженевской (7105 м). В этой же зоне расположен крупнейший не только в Средней Азии, но также и в мире горный ледник - Федченко, состоящий из более чем ста ледников, а также ледник Грумм - Гржимайло площадью 142,9 км<sup>2</sup> и ледник Гармо площадью 114,6 км<sup>2</sup>. Формирующиеся в этом узле реки Ванч, Язгулем, Бартанг относятся к бассейну Пянджа, а река Муксу - к бассейну Вахша. Второй крупный узел оледенения с тремя крупными ледниками: Октябрьский (88,2 км<sup>2</sup>) впаджающий в озеро Каракуль, Большой Саукдара (53,0 км<sup>2</sup>) относящийся к бассейну Муксу и Уйсу (49,9 км<sup>2</sup>) - бассейн Маркансу, расположен на стыке хребтов Заалайского и Зулумарт в районе пика имени Абу али ибн Сины (Ленина) (7134 м). Суммарно площадь этих двух узлов оледенения составляет около 5 тысяч км<sup>2</sup>. Третьим узлом оледенения, хотя и значительно уступающим двум первым, можно считать верховья реки Зеравшан. Здесь на стыке хребтов Туркестанского и Зеравшанского, расположен большой сложно-долинный ледник Зеравшанский – длиной 27,8 км, площадью 132,6 км<sup>2</sup>, объемом 15,85 км<sup>3</sup>. Его притоки так же имеют значительные размеры. Так, длина ледника Рама составляет 8,9 км, площадь 22,8 км<sup>2</sup>, а объем 1,58 км<sup>3</sup>» [45].

“На основе изучения космоснимков Таджикским филиалом Государственного центра СССР «Природа» в 1983 г. был издан Атлас «Природные ресурсы Таджикской ССР», включая карту современного оледенения страны масштабом 1:500 000, с числом ледников 9000 и площадью оледенения 7979 км<sup>2</sup>. С этим же периодом оценки совпадает инвентаризация ледников Памира и Гиссаро-Алая, выполненная Среднеазиатским научно-исследовательским гидрометеорологическим институтом, по состоянию на 1980 год. После этого масштабной и единой инвентаризации ледников для всей территории Таджикистана не проводилось” [6]. По подсчетам Р.Д.Забирова, площадь оледенения Памира охватывает 8041 км<sup>2</sup> [37].

В таблице 1.2 приевдены сведения о распределении оледенения Памира по отдельным хребтам и горным массивам.

Таблица 1.2. Распределение оледенения Памира по отдельным хребтам и горным массивам [37]

Наименование хребта или массива	Площадь оледенения, км <sup>2</sup>
Заалайский	1469
Зулумарт	462
Северный Танымас	422
Академии Наук	1500
Петра Первого	484
Дарвазский	520
Ванчский	164
Язгулемский	670
Музкол	376
Рушанско-Базардаринский	984
Шугнанский	158
Бакчигир	104
Ишкашимский	175
Шахдаринский	261
Южно-Аличурский	80
Ваханский	62
Сарыкольский	150
<b>Всего:</b>	<b>8041</b>

В соответствии с Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 2018 г. № 162, от 27 марта 2018 года, в Национальной академии наук Таджикистана было создано Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана» (ЦИЛ НАНТ), что позволило создать современный центр по гляциологии и криосфере, для реализации фундаментальных и научно-прикладных исследований ледников Таджикистана на уровне мировых стандартов по криосфере.

Подтверждением значимости ЦИЛ является, то что в 2019 году его включили в группу по разработке Стратегии развития ВМО по изучению ледников, снежного покрова в горных регионах на 2020- 2030 годы.

До организации ЦИЛ гляциологическая наука прошла несколько этапов, в своем развитии: *До 1920 года* - гляциологические работы носили описательный характер; *1920 - 1980- е годы* проводилось детальное изучение и составлен каталог ледников; *80-90 е годы* ледники рассматривались, в качестве источников воды для орошаемого земледелия, с реализацией научно-исследовательских

работ (НИР) по интенсификации таяния ледников для увеличения стока рек; *90-е годы* НИР по изучению ледников фактически были прекращены; *2018 год и далее* - были возобновлены исследования и фундаментальные работы по изучению состояния ледников.

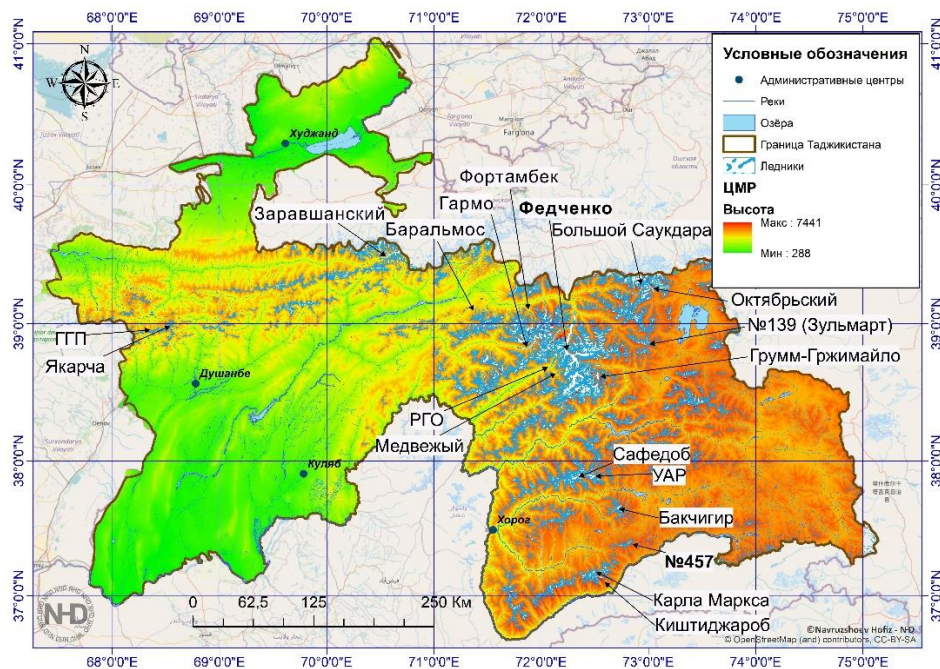
Следует отметить, что до 1990 года изучение ледников в Таджикистане, осуществлялись Среднеазиатским научно-исследовательским гидрометеорологическим институтом (САНИГМИ, Ташкент) и Институтом Географии АН СССР (Москва). Учитывая труднодоступность и сложность горных условий Таджикистана, основное внимание при исследованиях, было направлено на наблюдение за языковой частью ледника и динамику их изменения, не требующие сложного оборудования и были просты в исполнении.

В настоящее время, ЦИЛ осуществляет свою деятельность в сотрудничестве с профильными структурами министерств и ведомств, госструктурами, общественными организациями, партнёрами по устойчивому развитию и другими зарубежными организациями по следующим задачам: изучить ледники, криосферы и гидрологический цикл в условиях изменения климата; разработать системы современной регистрации и мониторинга ледников Таджикистана; составить современный каталог ледников на основе инновационных современных геоинформационных технологий, а также онлайн атлас ледников; проводить научные исследования в области изменения климата и его факторов; осуществить мониторинг репрезентативных и пульсирующих ледников; осуществить мониторинг по снижению вероятного ущерба от подвижки ледников, прорыва ледниковых озёр, лавин и гляциальных селей; совершенствовать системы спутникового мониторинга и оценки высоты снежного покрова и потенциального прорыва опасных ледниковых озёр; организовать комплексный мониторинг криосферы и высоту снежного покрова; получить спутниковую информацию высокого разрешения с целью повышения достоверных данных и проведения фундаментальных исследований по криосфере, запасов снега, мониторинга процессов формирования талой воды ледников и гидрометеорологии; внедрить современные инновационные методы

для мониторинга ледников, криосферы и гидрометеорологии; повышать квалификацию работников и подготовку кадров по международным стандартам; реализовать проекты научно исследовательских, экспериментально-конструкторских и производственных работ, в том числе с зарубежными организациями на основе двухсторонних и многосторонних договоров; создать учебные центры и центры переподготовки в области гляциологии, криосферы и гидрометеорологии.

Следует отметить, что проведение фундаментальных и научно-практических исследований, соответствующих мировым стандартам в Республике Таджикистан и создание научно-технологических инфраструктур с целью достижения инновационного развития в области высоких технологий криосферы, гляциологии и гидрометеорологии являются основными задачами Центра реализация которых способствует изучению ледников и основных источников запасов воды в Республике Таджикистан [49].

На основе анализа и изучения имеющихся фондовых материалов автором на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM и подложки OpenStreetMap разработана (подготовлена) карта оледенения Таджикистана (рисунок 1.9).



**Рисунок 1.9. - Карта оледенения Таджикистана на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM и подложки OpenStreetMap (подготовлена Наврузшоевым Х.)**

Изменение климата представляет серьезную угрозу для всего природно- хозяйственного комплекса ЦА, в том числе для состояния водных и земельных ресурсов региона.

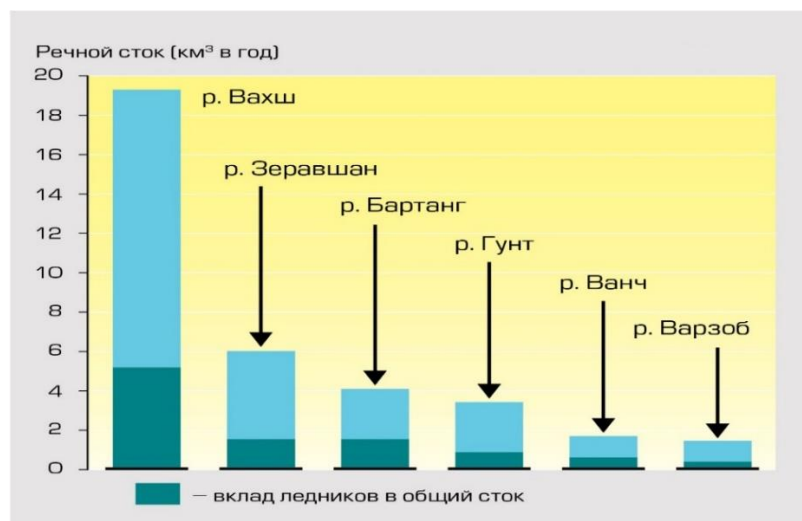
«Неутешительные прогнозы в этом плане дает глобальное потепление. С 1957г. по 2000г. запасы воды в ледниках сократились более чем на 25%, и этот процесс интенсивно продолжается. По прогнозам специалистов до 2025г. исчезнут тысячи мелких ледников, площадь оледенения сократится на 20%, запасы льда уменьшатся на 25%» [50].

«Потепление в высокогорных районах Памира, Тянь-Шаня, Гиссаро-Алая и других горных систем соответствует региональным и глобальным тенденциям. Ледниковые запасы, сосредоточенные в горных районах Средней Азии и Казахстана, являются многолетним резервом и важнейшим источником чистой пресной воды. Продуцируя талые воды в самый жаркий период года, когда запасы сезонного снега уже истощаются, они восполняют дефицит оросительной влаги. Однако запасы льда не стабильны. В настоящее время исследователи-гляциологи отмечают повсеместное отступление ледников: мелкие ледники исчезают, а крупные распадаются. Ледники Таджикистана и Кыргызстана играют важную роль в формировании рек Амударьи и Сырдарьи - крупнейших водных артерий ЦА и бассейна Аральского моря. В этом аридном регионе будущие воздействия изменения климата могут непосредственно отразиться на объеме ледников, источниках питания и водности рек, и, в конечном итоге, на доступности воды для нижерасположенных районов и государств» [51, 52].

Как отмечалось выше, таяние ледников в Таджикистане вносит в среднем до 20% в сток крупных рек, а в сухие и жаркие годы вклад ледников в водные ресурсы отдельных рек в летнее время может достигать 70% [51].

На рисунке 1.10 приведены данные по стоку рек Таджикистана в средний по водности год и доля ледникового питания.





**Рисунок 1.10. - Сток рек Таджикистана в средний по водности год и доля ледникового питания [51, 52]**

Горные ледники являются основным источником пресных вод в Центральной Азии и их таяние в летнее время способствует стоку рек, используемый для орошения земель, выработки электричество и других секторов экономики. В связи с изменением климата и глобального потепления, а также существенного, отрицательного влияния на ледники, ведущее к деградации ледников и снежников на территориях Таджикистана, предопределяет необходимость изучения и мониторинга современного состояния льдозапасов, является архиважной задачей современности.

#### **1.4. Горные озёра Таджикистана**

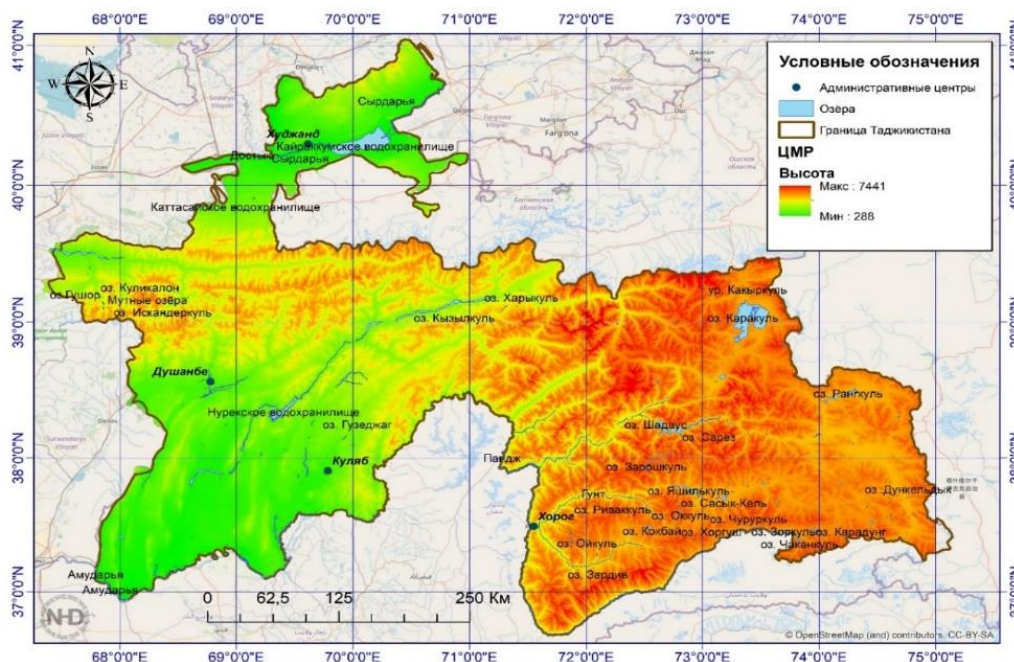
«Горы Центральной Азии составляющие порядка 20% ее территории и служащие своеобразным хранилищем более 60% водных ресурсов в виде льда и снега являются гарантом сохранения и восстановления ландшафтного и биологического разнообразия. На территории Центральной Азии насчитывается более 5600 озер общей площадью 12197 км<sup>2</sup>, подавляющее большинство из которых расположены в горной части региона. Водные ресурсы средних и малых горных озер оцениваются в 51,1 км<sup>3</sup>, более 20 км<sup>3</sup> из которых - пресные. Необходимость исследования прорывоопасных горных озер особенно актуальна в настоящее время, связанное с нарастающими процессами изменения климата, деградации ледникового покрова на фоне активных геодинамических процессов, имеющих место в горных районах Центральной Азии» [53].

Во второй половине XIX в. начинается планомерное изучение территории Средней Азии и в том числе изучение озер. В этот период несомненная заслуга в этом, принадлежит выдающимся исследователям Туркестана, представителям Русского географического общества, П.П. Семенову-ТяньШанскому, А. П. Федченко, Н. А. Северцову, А. В. Каульбарсу, А. А. Тилло, и др. [53].

Экспедиция Н.А. Северцова (1877–1878 гг.) описала и нанесла впервые на карту озера Каракуль, Рангкуль, Шоркуль, Яшилькуль и Сасыккульская группа озер.

«В настоящее время в Таджикистане насчитывается 1449 озер общей площадью 716 км<sup>2</sup>, (различные исследователи приводят разные цифры, зависящие скорее всего от исходных материалов, по которым производился подсчет), что составляет 0,5% территории республики. Почти 80% озер и основная их площадь находятся в горных районах республики в интервале высот от 3000 до 5000м над уровнем моря» [54].

На основе анализа и изучения имеющихся фондовых материалов автором на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM и подложки OpenStreetMap разработана (подготовлена) карта озёр Таджикистана (рисунок 1.11).



**Рисунок 1.11. - Карта озёр Таджикистана на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM и подложки OpenStreetMap (подготовлена Наврузшоевым Х.)**

«Основным компонентом водного баланса озер как известно, является поверхностный приток. В зависимости от высотного положения озер фаза их наполнения значительно варьирует в течение года, продолжительность которой зависит от климатических условий года, характера стока, водно-балансового типа озера и изменяется от 40 до 220 суток. Дата начала фазы наполнения изменяется также в широких пределах и в зависимости от погодных условий года и варьирует в пределах 40 – 70 суток. Например, на Сарезском озере она колеблется от 29/IV до 10/VII, на оз. Искандеркуль от 1/IV до 10/V/. При этом, у проточных озер величина колебания обычно не превышает двух метров, у сточных озер, вода которых профильтровывается сквозь толщу завала или морены, колебание уровня значительно больше. У Сарезского озера в отдельные годы оно достигает до 12 метров» [55].

В настоящее время горные и ледниковые озера являются самими уязвимыми и опасными горными объектами, прорыв которых приводит к большому ущербу социального и экономического характера. Мировое сообщество по смягчению последствий стихийных бедствий в процессе глобального потепления прилагают все усилия изучению, предотвращению и предсказанию прорывов высокогорных ледниковых озер.

### **Выводы по первой главе**

Таким образом, с учетом вышеизложенного востребованность изучения современного состояния водных ресурсов - источников пресной воды имеет важное значение. Результаты исследования по данной проблематике изложены ниже.

1. На основе изучения современного состояния водных ресурсов, природных условий речных бассейнов Республики Таджикистан автором (разработаны) подготовлены новые подробные карты (физическая карта, карта рек Таджикистана, карта оледенения Таджикистана, карта озёр Таджикистана и др.).

2. Приведены основные данные о вкладе ледников в общий сток бассейнов рек Таджикистана, а также осуществлен анализ потенциальных запасов гидроэнергоресурсов.

3. Осуществлен анализ и оценено состояние горных и ледниковых озер Таджикистана, рассмотрены меры и способы предотвращения прорывов ледниковых озер, способствующие предотвращению возникновения опасных гидрологических явлений (сели, наводнения и т.д.).

## **Глава 2. ОЛЕДЕНЕНИЕ БАССЕЙНА РЕКИ ГУНТ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РЕГИОНАЛЬНЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ**

Первые краткие сведения о распространении ледников на Памире были известны к 70 м годам XIX столетия. В 1871 г. Федченко А.П. первым из ученых посетил Алайскую долину и отметил наличие ледников на Заалайском хребте. А в 1878 г. В.Ф. Ошаниным в верховьях Муксу был открыт долинный ледник, оказавший впоследствии самым крупным ледником Памира и названный в память одного из крупнейших исследователей Средней Азии-Алексея Павловича Федченко. «Пусть Федченковский ледник и в далеком будущем напоминает путешественникам имя одного из даровитейших и усерднейших исследователей Средней Азии», —писал В. Ф. Ошанин (1880) [37].

Дальнейшая история исследований ледников Памира связана с именами Л.Ф. Костенко и Жилина в 1876 г., И.В. Мушкетова в 1877 г., В.Ф. Ошанина и Г.Е. Родионова в 1878 г., В.И. Липского, Б. А. Федченко, Г.Е. и М.Е. Грумм-Гржимайло в 1884 г., Н. Л. Корженевского 1904 г., Н. И. Косиненко 1909 г, Я.И. Беляева 1916 г, Д. И. Мушкетова, Е. М. Абалакова Д. В. Наливкина, В. И. Попова, В. М. Котлякова, Л.Д. Долгушина, Г.Б. Осиповой, Г. Е. Глазырина, Л. В. Денисова, В. Г. Коновалова, Х. Абророва, З. Мусоева, А.Ф. Финаева, Ф.Х. Каримова, А.К. Каюмова, И.Ш. Норматова и др.. Следует отметить, что бассейн реки Гунт до настоящего времени является одним из наименее изученных территорий Памира [37].

Б. А. Федченко неоднократно (1901-1904 гг.) преодолевал Шахдаринский хребет в его западной и восточной частях, совершил переход из долины р. Бадомдара в бассейн р. Пяндж, исследовал несколько крупных его притоков, а на Рушанском хребте зарегистрировал свыше 100 ледников [37, 56].

С. И. Клуниковым в высокогорных труднодоступных горах, получены (1937 г.) сведения о высокогорной зоне юго-западного Памира и исследован центральный узел Рушанского хребта, открыв при этом мощный безымянный ледник в верховьях долины р. Патхор, впоследствии названный им ледником Марковского и собственно высочайшую вершину хребта пик Патхор [56].

Ледник Марковского (№66-71, Штеклозар - «плоский ледник»), общей площадью 60 км<sup>2</sup>, состоит из 13 ледников, соединяющихся на дне цирка, не образуя, при этом, общий язык. Переработанная и обновленная нами схема района пика Патхор и ледника Марковского представлена на рисунке 2.1. Наряду с этим, было составлено описание ледников в районе пиков Карла Маркса и Энгельса.



Рисунок 2.1. - Схема района пика Патхор и ледника Марковского [57].

Обновлен Наврузшоевым Х.Д.

Клунниковым С.И. также была представлена первая информация о двух высочайших вершинах, которые были расположены в более недоступном районе Шахдары и установлено, что пики - Патхор, Карла Маркса и Энгельса, по его мнению, превышающие 7000 м абс. высоты. Исследования именно этих хребтов стали основной целью первой послевоенной альпинистской экспедиции на Памире, организованной в 1946 г. под руководством Е. А. Белецкого [56, 57].

Во время Второй альпинистской экспедиции (1947 г.) было подробно изучена западная часть Шахдаринского хребта район пика Маяковского [58], а на северном склоне было пройдено до верховьев ледника № 873 и выявлено, обилие кающиеся снега и льды на поверхности ледников и отсутствие лавин с крутых склонов над ледниками в летнее время, но в тоже время были отмечены частые обвалы льда с висячих ледников.

Впоследствии значительную работу по уточнению карт района провел геолог Б. П. Бархатов, представивший характеристику оледенения южного

склона Рушанского хребта, а также описавший основные морфологические типы ледников (в том числе цирковые, ледники туркестанского типа, крупные долинные ледники с короткими редуцированными концами и др.) и установивший связь размещения ледников с экспозицией склонов [56].

Р. Д. Забиров на основе аэрофотоснимков и анализа новейших топографических карт и всей предшествующей литературы в 1955 г. дал наиболее полную характеристику оледенения бассейна р. Гунт, с подробным описанием различных его участков, склонов хребтов и отдельных ледников.

Экспедиция Института географии АН СССР, организованная в 1968 г., основной целью которой было каталогизации ледников Памира, в период 1972-1974 гг., работала в бассейне р. Гунта.

По данным Каталога ледников СССР в бассейне реки Гунт зарегистрировано 917 ледников размерами более 0,1 км<sup>2</sup> с общей площадью 609 км<sup>2</sup>, также 432 ледника размерами меньше 0,1 км<sup>2</sup> площадь которых в сумме составляет 25,2 км<sup>2</sup>. Суммарное количество ледников бассейна реки Гунт составляет 1349 [56].

По данным Каталога ледников А.С.Щетинникова [59] в бассейне реки Гунт (1980 год) зарегистрировано 1355 ледников с общей площадью 518,85 км<sup>2</sup>, учитывая все ледники, в том числе и с площадью менее 0,1 км<sup>2</sup>.

Во время экспедиции по каталогизации были проведены аэрофотосъемки с борта вертолётов, построены подробные карты, с идентификацией всех ледников, с их нумерацией, определены притоки, нарисованы хребты и основные их отроги, с указанием параметров ледников - площадь, длина, моренная часть, экспозиция, тип ледника, минимальная высота (положение языковой части), максимальная высота (зона аккумуляция) и др.

«Совместно с управлением гидрометеослужбы (УГМС) Таджикской ССР было выполнено аэровизуальное обследование ледников южных склонов Рушанского и Шугнанского хребтов и северного склона Шахдаринского хребта, в том числе с учетом необследованных ледников №833-837. Следует отметить, что экспедиция провела также полустационарные наблюдения

(метеорологические, тепло-балансовые, режимные) на леднике Бол. Бакчигир (1972 и 1973 гг.) и маршрутные наблюдения на леднике № 877 в бассейне р. Бадомдара, а в фирновых областях этих ледников проведены снегомерные съемки, измерения плотности и стратиграфии толщи в шурфах» [56].

Наиболее обстоятельным исследованием последних лет, путем обработки изображений со спутников LANDSAT 7 ETM+ и TERRA, были получены В.Г. Коноваловым, позволившие установить, что площадь оледенения бассейна р. Гунт по состоянию на 2000 год составляет 496,5 км<sup>2</sup> [60].

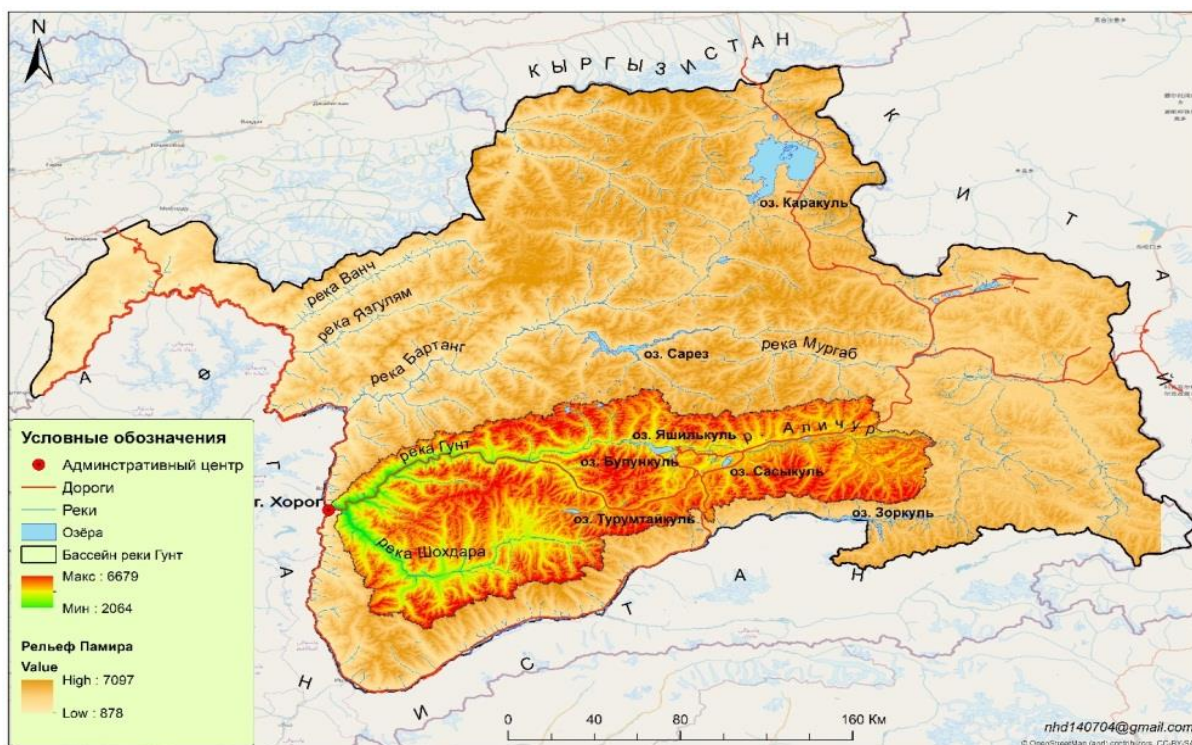
## **2.1. Анализ и оценка основных факторов оледенения бассейна реки Гунт**

Бассейн р. Гунт расположен на территории ГБАО, с административным центром - г. Хорог, (устье р. Гунт) и занимает: на юго-западной части Памира и занимает 21,6% ее территории, с протяженностью с запада на восток 220 км, с севера на юг в западной и центральной части 90 км, а на востоке- 50 км. От г. Хорога вдоль главной долины на восток уходит автомагистраль - Памирский тракт, по трассе древнего пути сообщения с Восточным Памиром.

С севера горная цепь Рушанского и Северо-Аличурского хребтов служат его границей с бассейнами рек Бартанг и Мургаб; на юге Шахдаринский и Южно-Аличурский хребты разделяют бассейны рек Гунт и Памир-Пянджа. На западе территория района примыкает к бассейнам коротких крутопадающих притоков р. Пяндж (на участке его меридионального течения). На востоке бассейн р. Гунт отделен короткими хребтами и невысокими горными массивами, от бассейнов левых притоков р. Аксу верхнего течения р. Мургаб.

Впервые на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) и программными комплексами была построена подробная карта (рисунок 2.2) бассейна реки Гунт (БРГ), с выделением водосбора бассейна и указанием основных элементов карты (дороги, реки, озёра, градиент высотности и др).



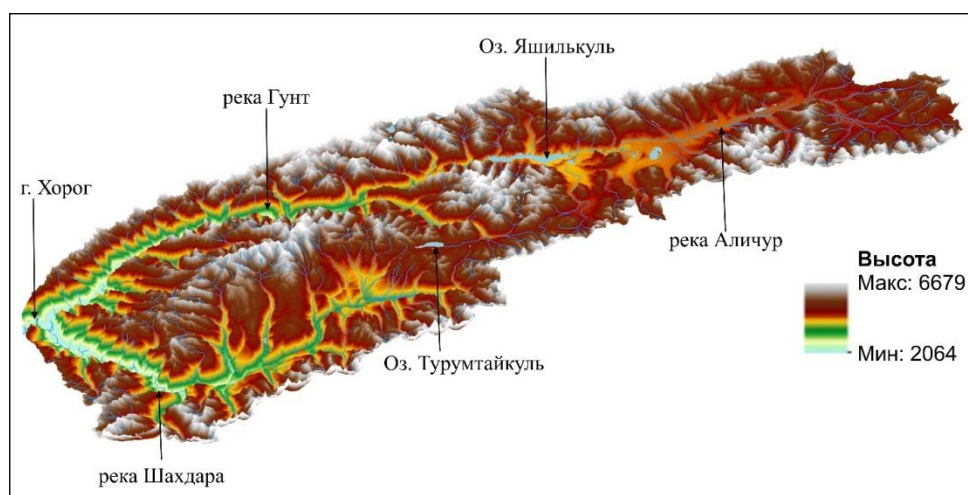


**Рисунок 2.2. - Схема расположения бассейна реки Гунт на карте Памира.**

**Разработал Наврузшов Х.Д.**

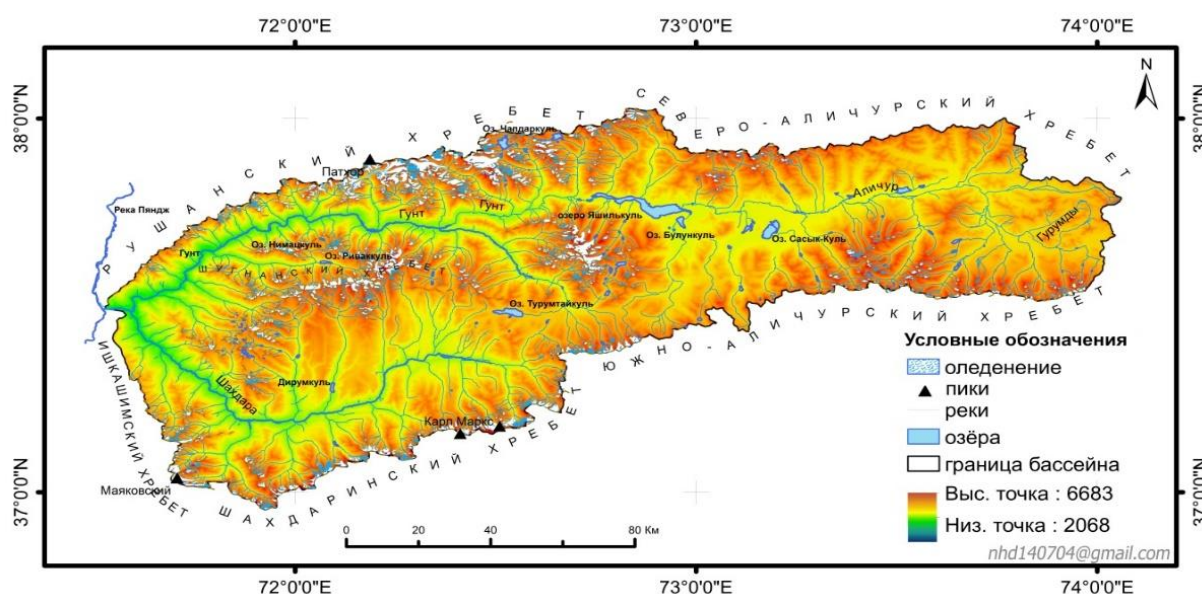
## **2.2. Исследования водосборной территории бассейна реки Гунт**

Долина р. Гунт, одного из крупнейших притоков р. Пяндж, протянулась (в широтном направлении) от пустынных плоскогорий Восточного Памира до глубокого скалистого ущелья р. Пяндж. Исток р. Гунт - р. Гурумды берет начало от небольших ледников северного склона Южно-Аличурского хребта и течет в направлении на север и питается водами многочисленных притоков, при этом не всегда достигая главной долины, в особенности в сухое время года. После изменения направления русла на запад, р. Гурумды сливается с левым притоком - р. Башгумбез и образует реку Аличур. Широкая Аличурская долина (рисунок 2.3), расположенная на высоте 3800-4000 м, представляет типичный ландшафт Восточного Памира. Склоны долины сухи и каменисты, плоское днище достигает в ширину 4-7 км, местами на нем встречаются группы горько-соленых озер, самое крупное из которых - оз. Сасыкуль имеет площадь зеркала около 9 км<sup>2</sup>. Нижняя часть Аличурской долины занята на протяжении 25 км высокогорным оз. Яшилкуль, одним из крупнейших на Памире. Озеро завального происхождения, глубиной 40 м., с отметкой уреза 3734 м. и площадью зеркала 35,6 км<sup>2</sup>.



**Рисунок 2.3. - 3D карта рельефа БРГ. Разработал Наврузшоев Х.Д.**

После озера Яшилькуль река называется Гунт. На протяжении почти 40 км она течет в узком, труднопроходимом ущелье, а после впадения крупного левого притока Токузбулак долина расширяется. Далее вниз по течению р. Гунт с севера и юга принимает многочисленные притоки, текущие от ледников, а вблизи впадения в р. Пяндж, в 6,5 км выше устья, крупнейший левый приток - р. Шахдара, обширный бассейн которой занимает площадь 4180 км<sup>2</sup> при общей площади всего бассейна - 13 700 км<sup>2</sup>. Используя цифровую модель рельефа SRTM и программу ArcGIS 10.5 нами был выделен водосбор бассейна реки Гунт, была создана профессиональная карта с указанием пик основных вершин, оледенений, озёр и рек (рисунок 2.4).



**Рисунок 2.4. - Подробная карта рельефа и оледенения БРГ.**

**Разработал Наврузшоев Х.Д.**

Бассейн реки Гунт характерен наличием высоких склонов горных хребтов, со значительным оледенением. Исследованиями установлено, что большая протяженность территории с запада на восток обеспечивает разнообразие условий существования ледников от восточно-памирского ландшафта - высокогорной пустыни с рельефом среднегорного типа до западно-памирского с эрозионным рельефом и значительным количеством осадков. Граница, а точнее, переходная зона между этими ландшафтами проходит примерно по меридиану оз. Яшилькуль.

С севера над долиной Гунта-Аличура поднимаются склоны длинной горной цепи, которая в западной части носит название Рушанский хребет, а восточнее перевала Лянгар - Северо-Аличурского, или Базардаринского хребта. Высшая точка этой цепи пик Патхор достигает 6080 м. К западу от него линия гребня Рушанского хребта изрезана, изобилует острыми вершинами, северный склон круто спускается к р. Гунту. В верховьях долин- притоков в узких ущельях веером располагаются ледники [34].

Участок восточнее пика Патхор, включая пик Сафедоб, наиболее высокая часть Рушанского хребта. Высокие водоразделы характерны здесь и для южных отрогов хребта, вершины которых поднимаются до 5500-5700 м. и характерны с наиболее развитым оледенением. Фирновые бассейны крупнейших ледников района занимают большие площади на при водораздельной части склона, скальные гребни над ними имеют относительно небольшое превышение.

Далее к востоку осевая часть Рушанского хребта принимает иной облик - это платообразная поверхность с короткими открытыми долинами, по склонам которых спускаются ледники. Плато изобилует озерами, под пруженными древними моренами на высотах 4300-4600 м, наиболее крупные – озера Зарошкуль и Чапдара. Иногда главный водораздел пересекается сквозными долинами, в одной из них находится перевал Лянгар (4630 м).

Северо-Аличурский хребет имеет протяженность 110 км и среднюю высоту 5200 м. Наибольшие высоты сосредоточены в западной его части (пик Лянгар, 5580 м). По направлению к востоку гребневая линия выравнивается.

Количество ледников в этом направлении быстро убывает. В бассейнах рек Кулаккесте, Акджилга и Базардара имеется по одному леднику. Далее к востоку ледников нет. В то же время на противоположном склоне бассейна р. Аличур – на северном склоне Южно-Аличурского хребта ледники распространены дальше, вплоть до восточной границы бассейна. Мелкие разрозненные ледники равномерно распределены вдоль слабо расчлененной линии основного гребня и на некоторых северных отрогах хребта. Далее к западу высота гребня снижается и на протяжении 40 км хребет не имеет ледников. Наиболее низкая точка этого участка – перевал Харгуш (4280 м). Западная часть хребта отличается значительной высотой (вершина Кызыл-Данги, до 5706 м), здесь его гребень резко поднимается над плоской поверхностью северного склона, у основания вершин находятся наиболее крупные долинные ледники Южно-Аличурского хребта. Ледники этого участка хребта принадлежат бассейну р. Токузбулак, лишь пять крайних западных ледников дают сток в р. Шахдара.

Автором именно в этой части бассейна в 2019 год дистанционно был выбран ледник №457 как объектом исследования и последующие годы проводились полевые работы на данном леднике, был подсчитан баланс масса данного ледника за 2020-2022 гг. данные которого были отправлены в Всемирная служба мониторинга ледников (WGMS World Glacier Monitoring Service) и в ближайшее время будет добавлено в базу данных ледников мира. В дальнейшем планируется проводить все необходимые гляциологические наблюдения таких как геодезический баланс масса, реконструкция баланса массы, изучение моренной части ледника, установки автоматической метеорологической станции в зоне ледника, а также установкой автоматической камеры для фиксирования движения ледника и динамики его поверхности.

В этой части бассейна р. Гунт Южно-Аличурский хребет наиболее удален от Северо-Аличурского и между ними, слева от оз. Яшилькуль, поднимается горный массив Бакчигир, несущий значительное оледенение. Средняя высота массива 5240 м, высшая точка - пик Бакчигир - достигает до 5806 м. Основная

горы протягивается в северо-западном направлении. Наиболее крупные ледники находятся в центральной его части и обращены на северо-восток.

Левые притоки р. Гунт ниже устья р. Токузбулак питаются водами ледников Шугнанского хребта - обширный платообразный горный массив в целом широтного простирания, занимающий междуречье Гунта и Шахдары. На западном участке приводораздельная часть хребта представляет поднятое на высоту 4200- 4500 м озерное плато с широкими плоскими долинами и возвышающимися над ними на 500-700м хребтами. Долины, нередко сквозные, имеют ровные днища, заполненные древними и современными моренами, с многочисленными озерами.

Следует отметить, что сток Аличура в Шахдару происходит через пространство, занятое ныне перевалами Кокбай и Койтезек. На самих перевалах остатки древнейших морен сохранились плохо, так как они находились в области питания глетчеров в последующие эпохи оледенений. Однако на генетически единой с ними поверхности озерного плато южного склона Шахдаринского хребта они, как отмечено выше, представлены довольно отчетливо и на большой площади. Это указывает на возможность приноса их субстрата в раннем плейстоцене с востока - из бассейна Аличура. Косвенно подкрепляют такое предположение геоморфологические особенности верховьев Гунта от Яшилькуля до слияния с Токузбулаком и строение трога последнего. Обе долины довольно молоды, и в них лежат только молодые морены. Они, во всяком случае, моложе хорошо сохранившихся обширных участков древнейшей долины Шахдары. В плоскую поверхность ее днища врезан огромный среднечетвертичный трог Джаушангоза и более молодые троговые его притоков [61].

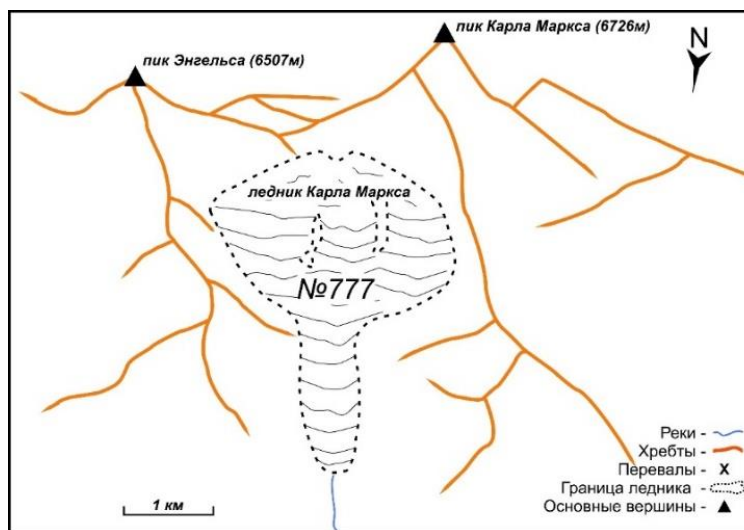
На центральном участке Шугнанского хребта (восточнее пика Шавиаш) высоты вершин основного гребня постепенно увеличиваются от 5300 до 5700 м (пик Скалистый).

В приводораздельной части хребта с южной стороны распространены широкие древние цирки и плоские долины с озерами и небольшими ледниками.

Северный склон хребта в районе пика Скалистого крутой и короткий. Здесь в верховьях рек Варшидзара и Акмамадара находятся наиболее крупные ледники Шугнанского хребта. На запад от пика Скалистого уходит широтная долина одного из крупнейших притоков Гунта р. Ривакдары, отделенная от долины р. Гунта длинным скалистым отрогом. Северные склоны самого хребта и отрога заняты ледниками. К востоку от пика Скалистого высота Шугнанского хребта резко снижается до 5000 м. На южном склоне встречаются лишь единичные ледники, на северном мелкие леднички приурочены к водоразделу рек Дузахдара и Токузбулак.

Южный склон Шугнанского хребта спускается по направлению к р. Шахдара чрезвычайно полого и представляет длинную платообразную поверхность, прорезанную прямолинейными меридиональными ущельями правых притоков р. Шахдара. Эта поверхность продолжается далее к югу, занимая северный склон Шахдаринского хребта и постепенно повышаясь до высоты 4600 м. Над ней резко поднимаются скалистые пики главного водораздела. Южный склон Шахдаринского хребта, в противоположность северному, круто обрывается к р. Пяндж и глубоко расчленен. Шахдаринский хребет имеет широтное протяжение. На востоке у пер. Мац он примыкает к Южно-Аличурскому хребту, а на западе в районе пика Маяковского (пик Трехглавый) меняет направление на меридиональное и обычно называется Ишкашимским хребтом.

Шахдаринский хребет-наиболее высокая горная цепь бассейна р. Гунт. Средняя высота его гребня 5400 м (в западной части) -5600 м (в восточной). На трех его участках вершины поднимаются выше 6000 м - на западе (пик Маяковского), в центральной части р. Баджомдара и на востоке в истоках р. Реджиг, где хребет имеет наивысшие отметки и расположены пики Карла Маркса (6726 м) и Энгельса (6507 м), входящие в число высочайших вершин Памира показанные на карта схеме подготовленной автором (рисунок 2.5).



**Рисунок 2.5. - Осевая часть Шахдаринского хребта. Пик Карла Маркса и верховья ледника Карла Маркса (№ 777). Разработал Наврузшоев Х.Д.**

Также на данной территории, на северном и на южном склонах Шахдаринского хребта находятся крупнейшие ледники. Приводораздельная часть хребта с северной стороны покрыта сплошным рядом ледников, талые воды которых питают многочисленные левые притоки р. Шахдара, в том числе наиболее крупный из них - р. Бадомдара.

Восточный склон северной части Ишкашимского хребта, гребень которого постепенно понижается к северу, а высота вершин убывает от 6000 м у пика Маяковского до 4500 м против устья р. Шахдара, также относится к бассейну р. Шахдара. Следует отметить, что Ишкашимский хребет и его восточные короткие отроги с ледниками, число и размеры которых также заметно убывают с юга на север.

Таким образом, территория бассейна р. Гунт огромная, а климат, строение рельефа и характер размещения ледников существенно отличаются на разных его участках.

В целом на правобережье р. Гунт сосредоточено 35% всей площади оледенения бассейна, а на левобережье - 38%, а также 27% от общей площади расположены в бассейне р. Шахдара. Наибольшая площадь характерна ледникам на северных склонах крупных хребтов (Шугнанский и Шахдаринский) и гор Бакчигир, а также в районе наибольших высот южного склона Рушанского хребта. На этих участках сосредоточено 62,3% ледников бассейна р. Гунта, или

78,3% площади его оледенения. В этих же районах находятся и четырнадцать крупнейших ледников бассейна.

### 2.3. Современное оледенение бассейна реки Гунт

В бассейне реки Гунт расположены ледники разных размеров от 0,02 до 19,4 км<sup>2</sup>. Больше всех - ледники с площадью от 0,5 до 0,9 км<sup>2</sup> составляющие 50,8% ледников района (рисунок 2.6). Также преобладают ледники площадью от 1 до 3 км<sup>2</sup> расположенные неравномерно по всему бассейну.

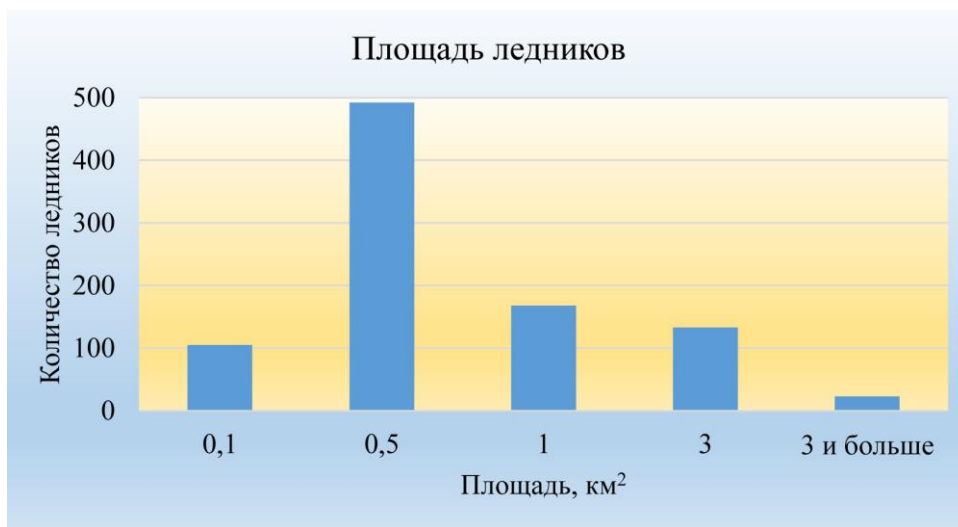


Рисунок 2.6. - Площадь ледников

Экспозиция ледников бассейна реки Гунт тоже очень разная и встречаются на склонах разной ориентации, но ледники с северной экспозиции составляют 45,4% всех ледников данного бассейна (рисунок 2.7).

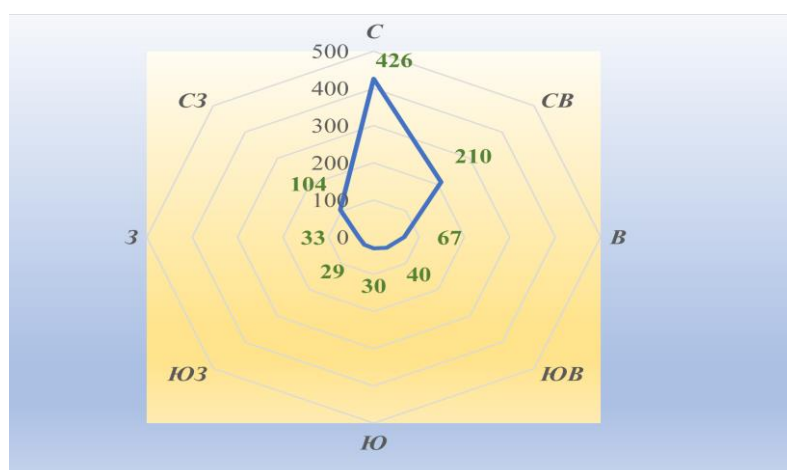


Рисунок 2.7. - Экспозиция ледников

Вследствие больших колебаний высоты фирновой линии и несходства в характере рельефа высотное размещение ледников в разных частях бассейна р. Гунта неодинаково - в западных районах правобережья с относительно низкой



высотой фирновой линии и глубоко расчлененными склонами средний вертикальный диапазон оледенения велик-560-570 м, с значительной разницей в крайних высотных отметках порядка 1400 м. При относительно небольших высотах гор большой высотный диапазон оледенения обеспечивается низким положением концов ледников, спускающихся по узким крутым долинам.

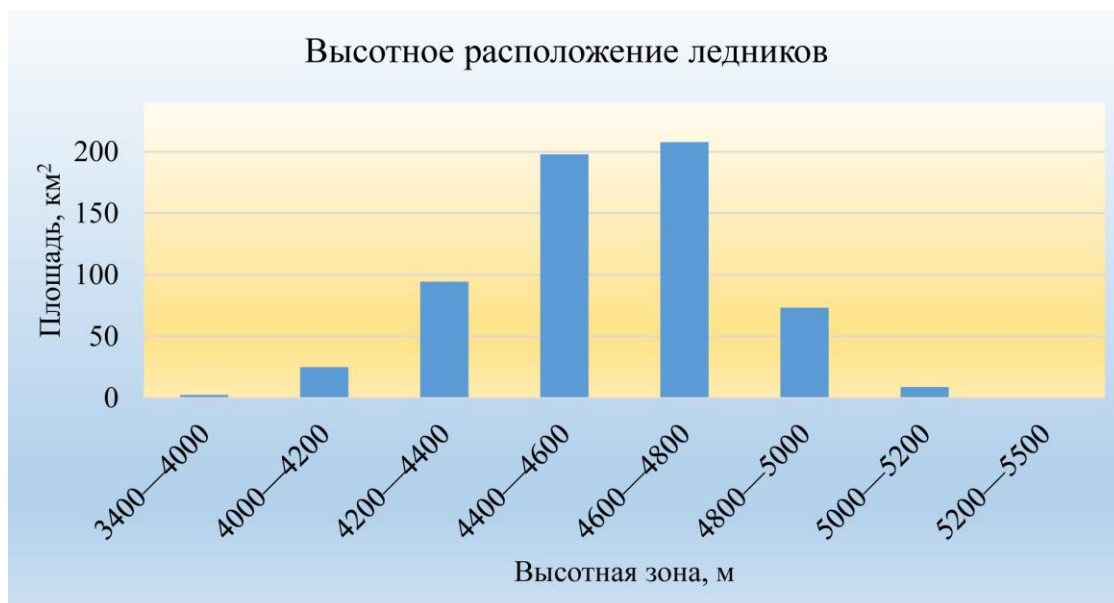
На северном склоне Шугнанского хребта вертикальный диапазон оледенения несколько сокращен за счет многочисленных коротких ледников западной части, оканчивающихся на платообразной поверхности осевой зоны этого хребта. На южном склоне Шугнанского хребта такие ледники распространены на еще большей площади. Они оканчиваются относительно высоко - в среднем на 4740 м, и отрицательная разность оледенения здесь исключительно мала (90 м). Вертикальный диапазон оледенения составляет всего 340 м.

Вторым районом с небольшим диапазоном высотного распространения ледников является бассейн р. Аличур, где развитие оледенения ограничено чрезвычайной сухостью климата. Вследствие высокого положения фирновой линии ледники здесь занимают лишь верхний пригребневой пояс гор. Положительная разность оледенения на северном склоне Южно-Аличурского хребта составляет в среднем 200 м. В таких условиях, а также при малом расчленении гор языки ледников на открытых широких склонах коротки.

На северном склоне Южно-Аличурского хребта самый низкий конец ледника имеет отметку 4660 м - более чем на 200 м выше по сравнению с другими частями бассейна с наиболее высоко оканчивающимися языками ледников (южный склон Северо - Аличурского и южный склон Шугнанского хребта). Средняя высота верхней границы ледников наивысшая в бассейне р. Гунта (5230 м). В то же время Южно Аличурский хребет не имеет высоких вершин и максимальная отметка начала ледника (5480 м) ниже, чем в любой другой части бассейна реки Гунт за исключением северного склона Рушанского хребта.

Таким образом, колебания высотного положения ледников на восточной окраине бассейна невелики, а диапазон крайних точек ледников составляет всего 820м. Верхняя граница ледников значительно поднята также на Шахдаринском

хребте, самом высоком в бассейне. 12 ледников здесь начинаются на высотах от 5600 до 5900 м, а висячий ледник на вершине в истоках р. Баджомдара расположен между отметками 6100-5800 м. Большая крутизна верхней части склона Шахдаринского хребта объясняет значительную величину положительной разности оледенения на северном склоне Шахдаринского хребта- 350м (при 260м среднем по всему бассейну). Относительно велик здесь вертикальный диапазон оледенения и крайних отметок ледников (рисунок 2.8).

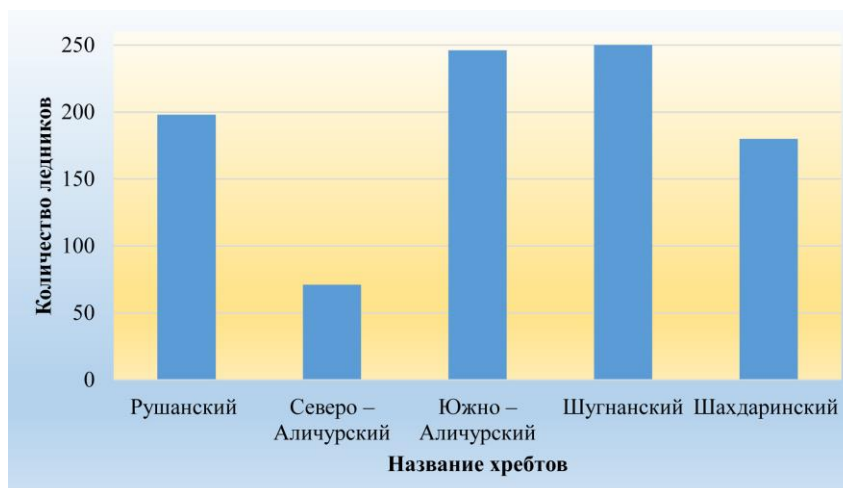


**Рисунок 2.8. - Высотное расположение ледников**

Как выше упоминалось ледники в бассейне реки Гунт расположены неравномерно по основным хребтам, ограждающие его от других бассейнов.

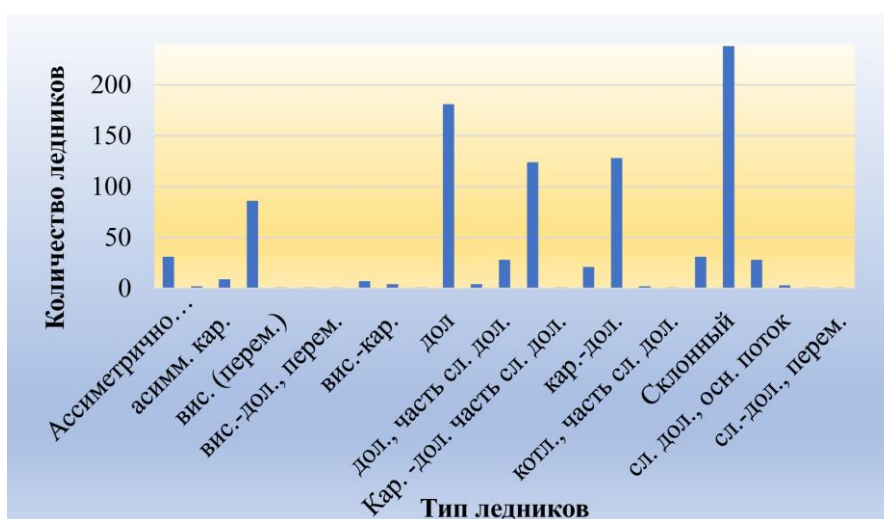
Шугнанский хребет расположен по середине бассейна и разделяет реку Гунт от ее самого крупного левого притока реки Шахдара простирающаяся от запада на восток на 80 км и имеет оледенение на двух склонов северной и южной экспозиций, а также наличием значительных отрогов даёт ему преимущество в преобладание количеством ледников что составляет 26,5% ледников данного бассейна (рисунок 2.9).

Южно-Аличурский хребет составляет 26% ледников, в основном малого размера, исследуемого бассейна, большинство ледников которого расположены в водосборе реки Тогузбулак являющийся одним из крупных притоков реки Гунт.



**Рисунок 2.9. - Оледенение основных хребтов бассейна реки Гунт**

Разнообразие условий рельефа и степени увлажненности горных склонов в бассейне р. Гунт создает многочисленные вариации морфологических типов ледников. В западной части бассейна преобладают разнообразные карово-долинные ледники, которые составляют в сумме 57% общего числа ледников в этих районах и занимают 85-90% площади оледенения, при этом 18% составляют каровые ледники (вместе с висячими каровыми и асимметричными каровыми) и около 14%-склоновые ледники, три четверти которых находятся на Шугнанском хребте. На территории горы Бакчигир склоновые ледники приближаются по численности к простым долинным, а на южном склоне Шугнанского хребта, где такой рельеф ледниковой зоны доминирует, они получили наибольшее распространение среди прочих типов ледников (рисунок 2.10) [56].



**Рисунок 2.10. - Типы ледников**

#### **2.4. Особенности метеоклиматических характеристик бассейна реки Гунт**

Исследование климатических особенностей долины реки Гунт, основаны

на многолетних данных метеорологических станций: Булункуль, расположенная в верховьях Гунт (от реки Аличур); Джавшангоз, находящаяся в верховьях реки Шахдара - левый приток Гунта; и замыкающая метеостанция Хорог, расположенная в низовьях реки Гунт [56, 62]. Ниже приведены результаты исследований характеристик территорий, примыкающих к метеостанциям.

На высоте 3744 м над у.м. в поселке Булункуль, характеризующийся холодным летом с сухим климатом и малоснежной зимой расположена одноименная (первая - верхняя) метеостанция. Отличительной особенностью данного района - самый холодный район Восточного Памира, с сильным контрастом зимних (до  $-63^{\circ}\text{C}$ ) и летних (до  $+11,2^{\circ}\text{C}$ ) температур воздуха.

В предгорьях южных склонов Шугнанского хребта, на р. Джавшангоз (приток р. Шахдары) на высоте 3436 над.у.м., с октября 1934 г. функционирует - метеостанция Джавшангоз. По полученным данным установлено, что климат зимой умеренно-суровый, а летом умеренно-теплый, сухой. Местность характерна постоянными ветрами (1,6-3,0 м/с), а среднегодовое количество осадков, выпадающие в холодный период составляют 69 мм.

Станция Хорог (2075 м над у. м.) расположена в центре областного города Хорог. Тип климата - сухой резко континентальный. Самый холодный месяц зимой январь - температура воздуха в среднем  $-7,9^{\circ}\text{C}$ , а летом, в июле месяце, повышается до  $+22,8^{\circ}\text{C}$ , а максимальное годовое количество осадков составляет от 250 - 300 мм (рисунок 2.11).

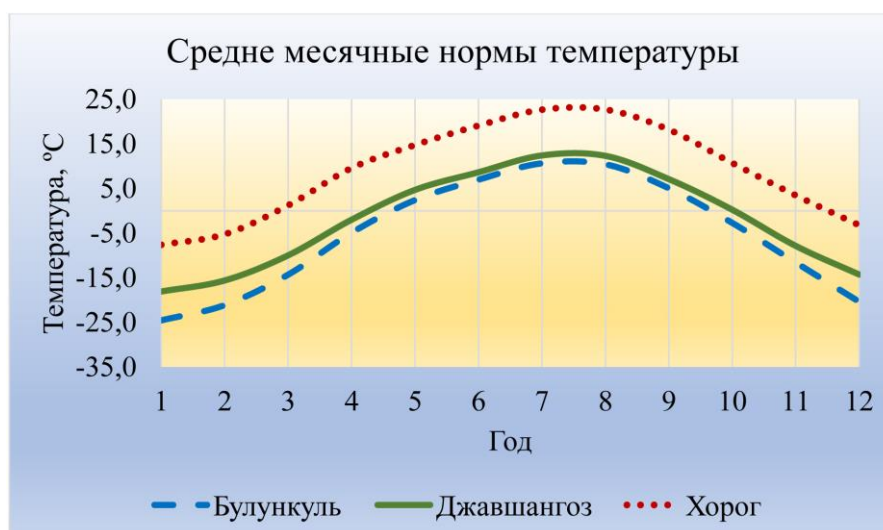
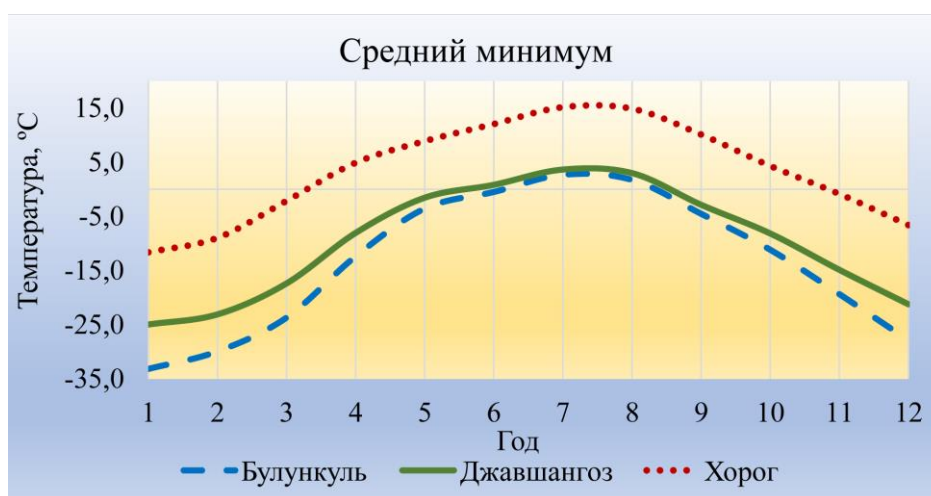


Рисунок 2.11. - Годовой ход температуры воздуха на территории бассейна р. Гунт [6, 63]

На основе анализа и оценки метеорологических норм установлено, что климат верховьев реки наиболее суровы, а самым холодным считается январь с температурой  $-25^{\circ}\text{C}$  в Булункуле и  $-18^{\circ}\text{C}$  в Джавшангозе, а в низовьях, в Хороге  $-8^{\circ}\text{C}$ ., более тёплые июль-август месяцы. Наивысшая температура отмечается в низовьях - на метеорологической станции Хорог -  $+24^{\circ}\text{C}$ , а в Булункуле -  $+10^{\circ}\text{C}$  (рисунок 2.12).

Следует отметить, что при изучении климатических величин местности необходимо наряду с граничными, учитывать также экстремальные значения.



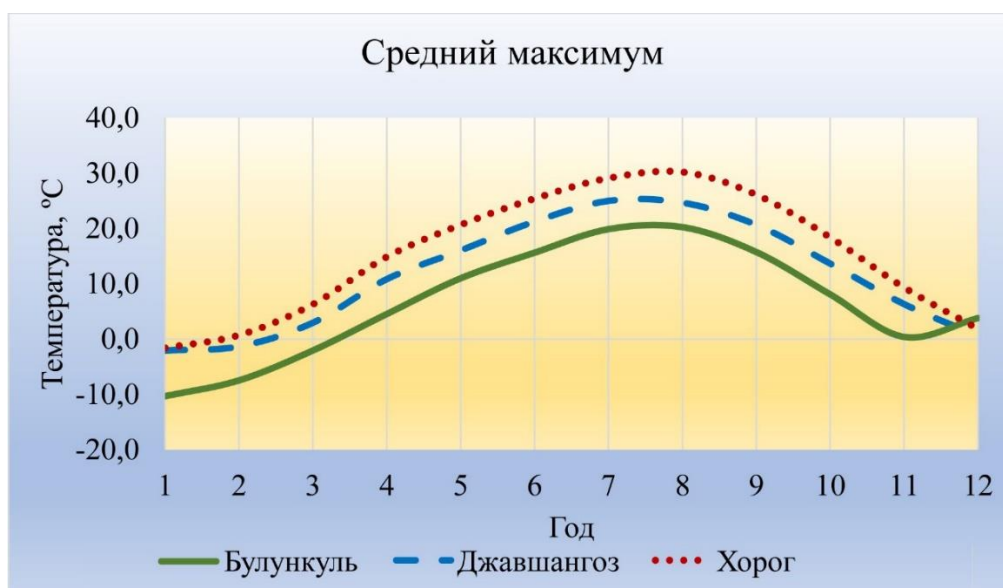
**Рисунок 2.12. - Годовой ход средне-минимальной температуры воздуха в бассейне р. Гунт. (Средне многолетние данные ТМС - 08 за период с 1930-1995 гг. [6, 63])**

Однако с 9 по 13 января 2021 г. В результате проникновения Арктического холодного вторжения на территории страны, особенно по ГБАО, минимальная температура воздуха в районе Булункуль опустилось ночью до  $55-60^{\circ}\text{C}$  а днём до  $26-51^{\circ}\text{C}$  мороза.

Установлено, что средне минимальные величины в холодный период года опускаются до  $-35^{\circ}\text{C}$  (Булункуль), а в Хороге до  $-11^{\circ}\text{C}$ , а вот летние величины в холодные годы в низовьях составляет  $15^{\circ}\text{C}$  (Хорог), а в верховьях может опустится от 3 до  $4^{\circ}\text{C}$ . На рисунке 2.12 показан годовой ход средней минимальной температуры.

В тоже время в тёплые годы температура воздуха может повысится по средним максимальным данным в большой степени и в холодный период года, когда его величина составляет  $-10^{\circ}\text{C}$  в Булункуль и примерно  $-2^{\circ}\text{C}$  в Хороге и

Джавшангозе. Летом же температура повышается до 30°C в Хороге, а в Джавшангозе до 25°C и для Булункуль до 20°C. На рисунке 2.13 показан годовой ход среднемаксимальной температуры воздуха.



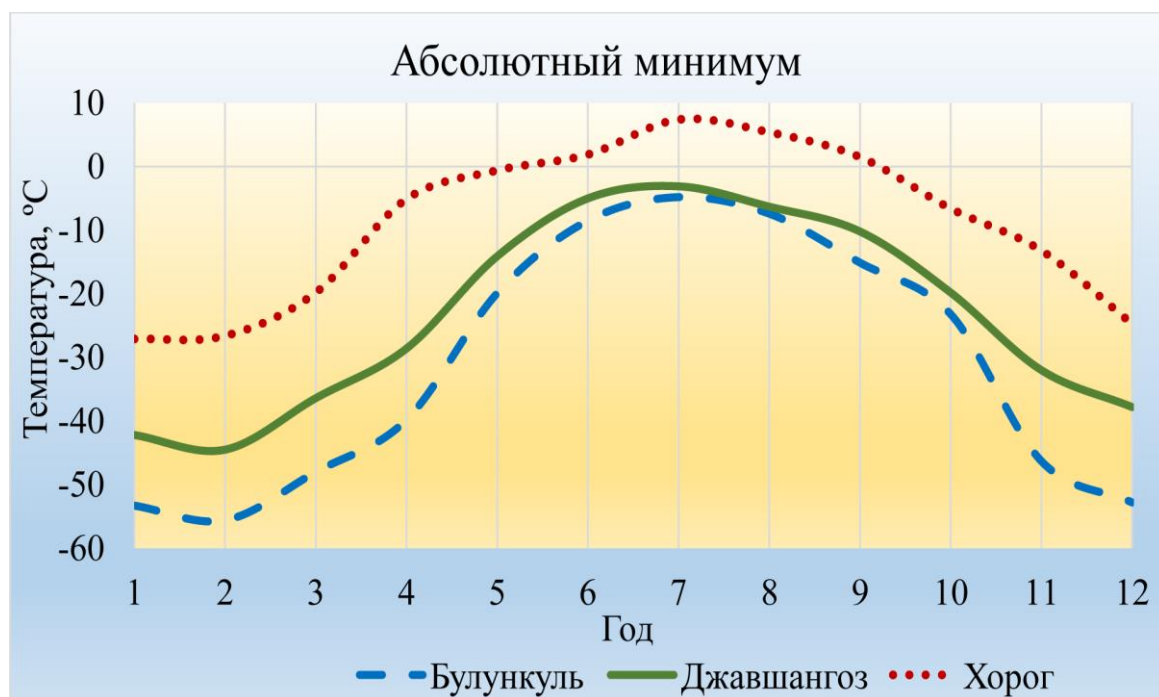
**Рисунок 2.13. - Годовой ход среднемаксимальной температуры воздуха в бассейне р. Гунт [6, 63]**

Экстремальные значения на изучаемой территории установленные всего лишь один раз за весь период наблюдений, следует учитывать при изучении климатических границ величин при определении года наблюдений. Экстремальные величины минимальных температур приведены в таблице 2.1 и рисунке 2.14.

**Таблица 2.1 - Экстремальные величины минимальных температур**

Абсолютный минимум температуры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Булункуль	-53,3	-55,6	-48	-39,8	-19,9	-8,5	-4,8	-7,4	-15,1	-23,2	-46,3	-52,8
Год наблюдений	1994	1992	1990	1978	1966	1979	1970	1971	1975	1987	1965	1968
Джавшангоз	-42,2	-44,5	-36,4	-28,6	-14,1	-5	-3,1	-6,3	-10,2	-19,8	-32	-37,8
Год наблюдений	1973	1978	1978	1994	1966	1987	1959	1972	1960	1982	1960	1977
Хорог	-27,1	-26,6	-19,8	-5,1	-0,6	1,9	7,4	5,4	1,5	-6,6	-13,2	-24,7
Год наблюдений	1975	1957	1930	1994	1935	1949	1934	1914	1969, 1982	1914	1950	1977

Результаты наблюдений температуры воздуха на территории бассейна реки Гунт, позволили сделать вывод о том, что, что отдельные дни температура воздуха может опуститься от  $-27^{\circ}\text{C}$  (Хорог) и до  $-56^{\circ}\text{C}$  (Булункуль), а на территории Джавшангоза опускается  $-45^{\circ}\text{C}$ . При вторжении холодных воздушных масс летняя температура в верховьях, в Булункуле, опускается до  $-5^{\circ}\text{C}$  а в низовьях до  $7^{\circ}\text{C}$ .



**Рисунок 2.14. - Ход абсолютно минимальных температур в бассейне реки Гунт [6, 63]**

Абсолютно максимальные температуры воздуха на территории бассейна реки Гунт наблюдаются в период вторжения тёплых воздушных масс, при этом в отдельные дни температура воздуха, в январе может повысится от  $-3^{\circ}\text{C}$  в Булункуле и до  $8^{\circ}\text{C}$  в Хороге, а на территории Джавшангоза она повышается до  $2^{\circ}\text{C}$ . Установлено, что летом, при тёплой депрессии, температура может повысится в Булункуле от  $27^{\circ}\text{C}$  в верховьях, до  $38^{\circ}\text{C}$  в Хороге (низовья). Результаты исследований годового хода тёплых вторжений приведены на рисунок 2.15 и в таблице 2.2

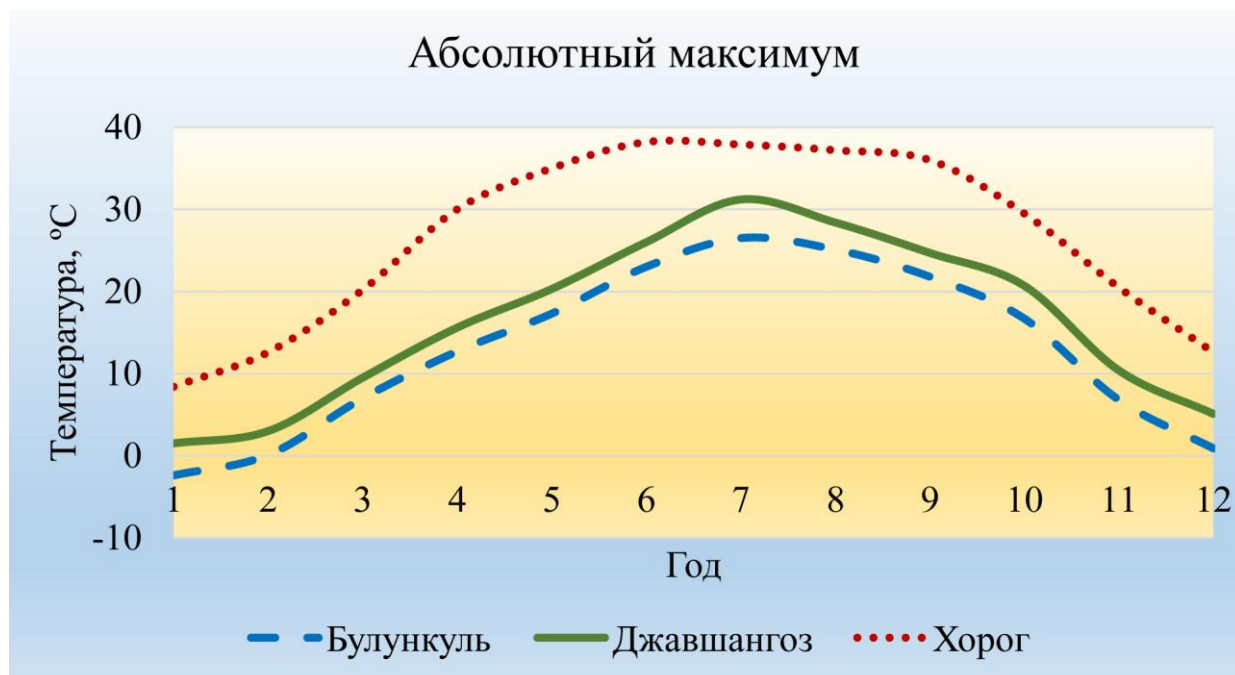


Рисунок 2.15. - Годовой ход абсолютно максимальных значений температуры воздуха в бассейне реки Гунт [6, 63]

Таблица 2.2 - Годовой ход тёплых вторжений

Абсолютный максимум температуры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Булункуль	-2,4	0,1	7	12,7	17,3	23	26,5	25,1	21,8	16,7	6,8	0,9
Год наблюдений	1988	1985	1962	1967	1990	1990	1983	1983	1983	1970	1980	1988
Джавшангоз	1,5	3	9,5	15,6	20,3	26	31,2	28,4	24,7	20,7	10,4	5,1
Год наблюдений	1972	1993	1962	1967	1963	1990	1983	1984	1978	1970	1988	1985
Хорог	8,4	12,6	20,2	30	35	38,2	37,9	37,2	36	29,5	20,5	12,6
Год наблюдений	1981	1985	1971	1917	1917	1930	1944	1973	1959	1931	1915	1951

Источник: [6, 63]

Относительно осадков следует отметить, что они в основном на территорию исследуемого бассейна поступают воздушными потоками с севера Атлантического океана, Среднеземноморья, Черноморья и других воздушных масс.

Наибольшее сумма осадков в низовьях реки Гунт выпадает в марте с максимальным значением до 46 мм, а в весенний период его величина составляет 118 мм. Лето считается сухим, и сумма осадков в этот период составляет 7мм. С увеличением высоты и дальности от места зарождения суммы осадков



уменьшается в Булункуле их сумма в весенний период составляет 17 мм (март) в Джавшангозе в это же время 23 мм.

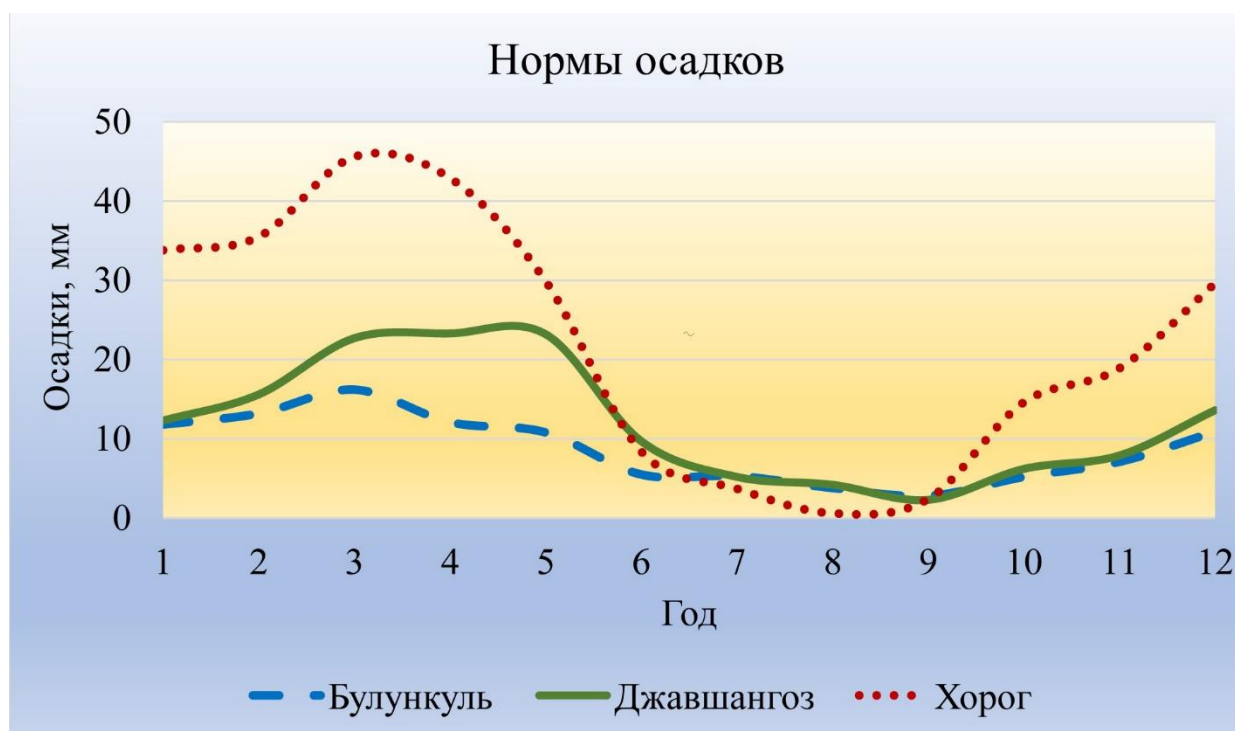


Рисунок 2.16. - Годовой ход осадков в бассейне реки Гунт [6, 63]

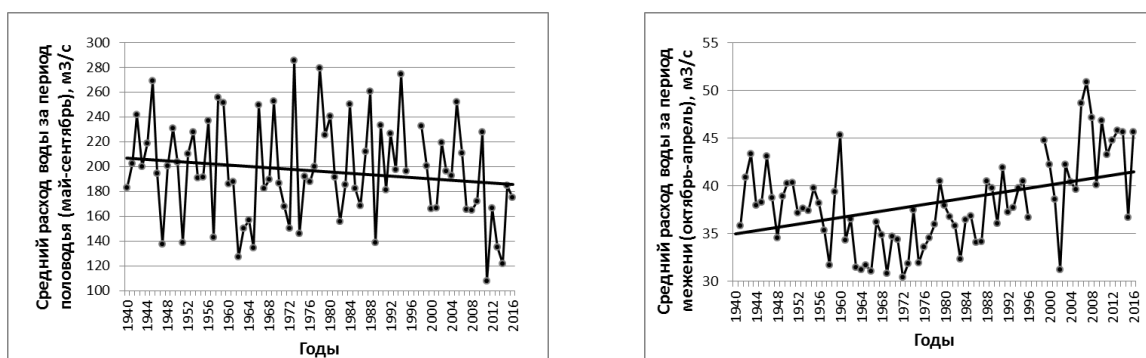
В условиях глобального потепления в летнее время наблюдается повышения уровня воды в реке Гунт.

### 2.5. Гидрологические условия формирования стока реки Гунт

«По данным гидропоста Хорог (2075 м.н.у.м.) за период наблюдений с 1940г. по 2016г. среднегодовой сток реки составляет 104 м<sup>3</sup>/с, при этом максимальный сток в июле 1958 года составил 552 м<sup>3</sup>/с, а минимальный сток - 22,2 м<sup>3</sup>/с наблюдается с февраля по апрель. Половодье на реке Гунт наблюдается с конца апреля по сентябрь. Река относится к ледниково-снеговому типу питания, пики паводков и максимальные расходы воды проходят в июле» [15-А].

«Среднегодовой расход воды на реке Гунт (г.Хорог) составляет 104 м<sup>3</sup>/с, при этом средний расход воды в период половодья (май-сентябрь) составляет 196 м<sup>3</sup>/с, а период межени (октябрь-апрель) – 38,2 м<sup>3</sup>/с, что в 5 раз меньше стока в период половодья. Наблюдается тренд с небольшим понижением на 6,1 м<sup>3</sup>/с, среднегодовых расходов воды за период с 1940г. по 2016г. При этом за тот же

период водность реки Гунт в половодье понижается на 21,3 м<sup>3</sup>/с, а в межень – на 6,8 м<sup>3</sup>/с повышается (рисунок 2.17)» [62].



**Рисунок 2.17. - Изменение средних расходов воды за половодье (слева) и межень (справа) на реке Гунт за период 1940-2016гг.**

Бассейн реки Аличур, отгороженный, со всех сторон высокими хребтами, от проникновения на его территорию влажных воздушных масс, характеризуется слабым увлажнением, осадками, суровостью климата и незначительным стоком.

В наиболее возвышенных горных районах Северо-Аличурского и Южно-Аличурского хребтов, где годовое количество осадков достигает 600 мм и более, развито оледенение (9 км<sup>2</sup>), увеличиваются густота речной сети (до 0,12 км/км<sup>2</sup>) и удельная водоносность рек (до 15 л/сек км<sup>2</sup>). Наибольшее число ледников, площадь которых обычно составляет менее 1 км<sup>2</sup>, сосредоточено на северном склоне Южно-Аличурского хребта, где формируют сток основные притоки Аличура [63- 66].

Модуль стока в верховье реки, стекающих с Рушанского хребта, достигают 20-25 л/сек км<sup>2</sup>, а рек, стекающих с Шугнанского и Шахдаринского хребтов, - 15-20 л/сек км<sup>2</sup>. Речная сеть в нижней части бассейна реки Гунт развита очень сильно. В бассейнах левых его притоков, густота речной сети изменяется от 0,33 км/км<sup>2</sup> в бассейне Шорипдары до 0,5 км/км<sup>2</sup> в бассейне Бадомдары. Основные притоки Гунт получает с левой стороны своего бассейна. С правой стороны Гунт принимает много притоков, но размеры их бассейнов и протяженность невелики (Таблица 2.2).

В бассейне р. Гунт насчитывается более 270 озер, но, так как площадь их невелика (90 км<sup>2</sup>), то его озерность составляет всего 0,7%. Основные озера, в

основном ледникового происхождения, сосредоточены в бассейне р. Гунт ниже устья Аличура (около 120 озер общей площадью 67,83 км<sup>2</sup>) бассейн Шахдары (103 озера, общей площадью всего 6,39 км<sup>2</sup>). Самое большое среди этих озёр - озеро Яшилькуль (35,6 км<sup>2</sup>) - завального происхождения, являющийся началом р. Гунт. В бассейне Аличура 48 озер общей площадью 15,7 км<sup>2</sup>, в том числе горько-соленое бессточное оз. Сасыккуль (8,9 км<sup>2</sup>) [63].

Главный исток Аличура - р. Гурумды вытекающая несколькими ручьями из небольших ледников северного склона Южно-Аличурского хребта (абсолютная высота 4680 м), на протяжении первых 8 км быстро течет на север в узкой долине, в слабо извилистом русле, со средним падением на этом участке до 5 м/км (уклон 0.005).

Река Гунт вытекает из западной части оз. Яшилькуль на 145-м километре от устья. Первые несколько километров Гунт протекает среди скальных нагромождений древнего завала, но минуя четыре небольших озера, падение ее резко увеличивается (до 45 м/км), а ниже впадения справа р. Лянгар, долина Гунт суживается, и на протяжении 20 км, скорость потока, в глубоком ущелье (среднее падение до 14 м/км), увеличивается. Впоследствии, приняв справа значительный приток - р. Андеравдж, долина Гунта расширяется (до 1 км), русло реки становится более извилистым, местами разветвляется на рукава [63, 66].

На 47-м километре от истока в р. Гунт впадает один из наиболее крутых его левых притоков - р. Токузбулак, вытекающая из оз. Аккуль, вследствие чего её водность значительно увеличивается, в тоже время уклоны русла реки несколько снижаются (до 10 м/км), а долина расширяется и часто можно наблюдать обширные участки поймы шириной 100-150 м.

Приняв левый приток - р. Ривакдару, русло р. Гунт проделывает 5-километровую петлю, огибая древний завал, где русло суживается до 30 м, образуя бурные каменистые пороги. Перед слиянием с самым крупным своим притоком - р. Шахдарой, р. Гунт на протяжении 20 км., стремительно течет в глубоком ущелье с крутыми, покрытыми каменными осыпями склонами, а на 8 км ниже устья р. Шахдары, р. Гунт мощным потоком впадает в р. Пяндж. Здесь, на нижнем участке

по обоим берегам Гунта раскинулся зеленый город Хорог - столица Горно-Бадахшанской автономной области.

В пределах Аличурской долины реки очень маловодны, с модулями стока до 3 л/сек км<sup>2</sup> а речная сеть развита слабо (0,1 км/км<sup>2</sup>), с поверхностным стоком лишь весной и в начале лета, когда тают сезонные снега и наледи, образующиеся зимой на склонах долин в местах выхода грунтовых вод и в руслах многих рек.

«Нижняя часть бассейна Гунта, занимающая большую площадь (10 900 км<sup>2</sup>), резко отличается от его верхней части (бас. Аличур), с горными хребтами достигающие до 5000-5500 м, а отдельные вершины даже превышают 6000 м над ур. м. Крутые склоны гор прорезаны бурными реками образуя глубокие узкие долины, дно которых опускается до 2070 м абсолютной высоты. Реки в этой зоне, отличаются крутым падением, стремительным бурным течением, слабой извилистостью, наличием в руслах порогов и водопадов» [63, 66].

У пос. Чартым р. Гунт прорывается через нагромождения древнего завала, образуя на протяжении 360 м непрерывные каскады водопадов с общим падением до 40 м., а долина снова суживается. Там, где русло расширяется (до 80 м), снижаются скорости течения, исчезают пороги, появляются острова, поросшие травой и ивняком. Ниже устья р. Штамдары течение реки Гунт меняется из с западного на юго-западное, сохраняющее до впадения в Пяндж.

«Ранние ледовые образования появляются в верховье Аличура (конец сентября - начало октября), продолжительностью 210-220 дней. Ледостав бывает ежегодно лишь на Аличуре в верховьях Гунта (кишлак Бачор), продолжительностью в среднем около 170 дней. В нижнем течении (город Хорог) бывают забереги и шуга, которые появляются обычно в средних числах декабря и исчезают во второй половине февраля. Средняя продолжительность периода с ледовыми явлениями- 39 дней. Воды р. Гунт характеризуются низкой мутностью - в среднем 160 г/м<sup>3</sup>, (город Хорог), что соответствует стоку взвешенных наносов 536,5 тыс. т. ( июль – сентябрь), составляя 68% годового стока; а сток с марта по июнь - 31% и с октября по февраль - 1% , незначительный сток взвешенных наносов в зимние месяцы и мутность воды снижающаяся до 20 г/м<sup>3</sup>,

объясняется большим распространением в бассейне интрузивных и эффузивных горных пород (60%), трудно поддающихся выветриванию и размыву поверхностными водами» [66].

Относительно опасных гидрологических явлений следует отметить, что повышенная селевая деятельность наблюдается лишь на некоторых небольших притоках в нижнем течении р. Гунт (реки Гарджвиндара, Шашвоздара, Дехмиёнадара, Барсемдара, Саддара и др.).

Относительно качества воды следует отметить, что воды р. Гунт относятся к гидрокарбонатному классу с преобладанием в составе катионов кальция. Минерализация воды достигает наибольших значений зимой, когда река питается подземными водами. В верховье (Аличур) минерализация в период межени колеблется от 220 до 260 мг/л, в низовье (город Хорог) она уменьшается до 150-210 мг/л. В период половодья в верхней части течения минерализация снижается очень незначительно (140-240 мг/л), а в низовье в отдельные годы она уменьшается по сравнению с меженным периодом более чем в 3 раза, составляя обычно от 72 до 190 мг/л. Вода Гунта очень мягкая, обладает хорошими питьевыми свойствами в течение всего года.

Река Шахдара - самый крупный приток р. Гунт с площадью бассейна 4180 км<sup>2</sup>, (30,5% площади всего бассейна): Характерной особенностью территории являются большая высота хребтов, (отдельные вершины превышают 6000 м над у.м.), большая площадь оледенения (221 км<sup>2</sup>) и значительное развитие речной сети. Р. Шахдара, называемая в верховье Джаушангоз, берет начало из небольшого ледникового озера на северном склоне Шахдаринского хребта на абсолютной высоте 4640 м. На протяжении первых 12 км до впадения справа р. Шальмац река течет в слабо разработанной ледниковой долине в северо-западном направлении, меняющееся на западное (рисунок 2.18).

Приняв справа р. Кокбай и слева р. Наспар, долина реки расширяется до 1-1,5 км, русло становится более извилистым, шириной 14-20 м со средним падением 17 м/км. После впадения правого притока р. Хурвиног река получает

название Шахдара, которая на протяжении 60 км течет в узкой эрозионной долине в основном на юго-запад, а ниже устья Бадомдары - на северо-запад. Ширина поймы реки изменяется от 100 до 200 м; в верховье пойма поросла в основном травой, ивняком, облепихой и шиповником, в среднем и нижнем течении в долине местами растут тополевые леса. В верховье Шахдары, близ устьев Хурвинога и Немоса, встречаются выходы термальных источников, используемые местным населением в лечебных целях.



**Рисунок 2.18. - Карта водосбора реки Шахдара. Разработал Наврузшоев Х.Д.**

Русло Шахдары глубоко врезано в дно долины, местами изобилует бурными каменистыми порогами, а между устьями рек Сейждары и Друмдары, она прорезает в скалах глубокое ущелье, в котором русло суживается до 6 м, образуя небольшой водопад. Ширина русла Шахдары изменяется от 14-20 м в верховье до 15~40 м в нижней части течения. До впадения в р. Гунт, она принимает 40 притоков длиной более 10 км, в том числе самый большой – р. Бадомдара (321 км<sup>2</sup>). Свой последний значительный приток - р. Шарфдару, Шахдара принимает с левой стороны в 16 км от устья. Среднее падение реки - 17,4 м/км, на отдельных участках в низовье реки оно достигает 24 м/км [63, 66].

Река Шахдара принадлежит к рекам с ледниково-снегового питания, основными источниками которого являются талые воды сезонных снегов в устьевой ее части (Хабос) 39%, ледников- 20% и подземные воды - 41%. Следует отметить, что весенне-летнее половодье начинается в начале мая месяца и продолжается до 20-тых чисел сентября и сопровождается резким увеличением расхода воды. Средняя продолжительность половодья - 138 дней, но в отдельные годы она может изменяться от 117 до 160 дней. За период половодья проходит 75% годового стока; средняя дата пика половодья - 29 июня, но в некоторые годы максимальные расходы наблюдаются в начале июня или в середине и даже в последних числах июля. Наибольший срочный расход 425 м<sup>3</sup>/сек, отмеченный 19.06.1966 г., соответствует модулю стока 101,6 л/сек км<sup>2</sup> [63, 66].

Средняя дата начала меженного периода - 20 сентября, а окончания - 6 мая; продолжительность межени в среднем 227 дней, наименьший суточный расход равен 9,77 м<sup>3</sup>/сек, который соответствует модулю стока 2,34 л/сек км<sup>2</sup>. Средний годовой расход Шахдары в устье равен 35,2 м<sup>3</sup>/сек, (модуль стока 8,43 л/сек км<sup>2</sup>). Сведений о ледовом режиме и твердом стоке Шахдары не имеется.

Воды р. Шахдара принадлежат к гидрокарбонатному классу с преобладанием в составе катионов кальция, с минерализацией достигающая наибольших значений зимой, при питании реки подземными водами (160-230 мг/л). Летом, в период половодья, минерализация падает до 72-130 мг/л. Питательные качества воды прекрасные в течение всего года; вода мягкая, в период половодья жесткость воды составляет 0,8-1,7 мг-экв, увеличиваясь в меженный период до 1,8-2,3 мг-экв.

Река Бадомдара, называемая в верховье Растовдара, берет начало из ледника на северном склоне Шахдаринского хребта на абсолютной высоте 4840 м. Длина реки - 34 км, площадь бассейна - 321 км<sup>2</sup>. На протяжении первых 8 км Бадомдара быстро течет в глубокой эрозионной долине со средним падением 218 м/км. Перед слиянием с левым притоком - р. Ляджуардарой долина реки несколько расширяется, падение снижается до 80 м/км. Ниже

устья Ляджуардары река имеет прерывистую галечниковую пойму, поросшую местами ивняком, шиповником и густыми травами. На всем протяжении река течет в одном слабоизвилистом порожилом русле, и лишь в низовье долина расширяется до 300 м, река разбивается на многочисленные рукава, блуждающие по галечниковой пойме.

В связи с тем, что в бассейне Бадомдары развито значительное оледенение, составляющее 15% площади водосбора, она относится к рекам ледниково-снегового питания (ледниковое - 35%, снеговое - 41, подземное - 24%). Режим стока характеризуется быстрым увеличением расходов воды в середине мая и окончанием половодья во второй половине сентября. Максимальный суточный расход половодья в 1973 г. был отмечен 15 июля в 22 часа и составлял 46,5 м<sup>3</sup>/сек, что соответствует модулю стока 153 л/сек км<sup>2</sup>. Суточный ход расходов воды в период наиболее интенсивного таяния ледников и высокогорных снегов изменялся от 32 м<sup>3</sup>/сек в 14 часов до 46,5 м<sup>3</sup>/сек в 22 часа 15 июля, т.е. на 45%. Наибольшие суточные расходы и уровни наблюдались между 20 и 22 часами, наименьшие - от 12 до 14 часов.

Средний годовой расход Бадомдары в устьевой части реки (пл. бас. 305 км<sup>2</sup>) за 1973 г. по данным Кеммериха, равен 5,9 м<sup>3</sup>/сек, что соответствует модулю стока 19,31 л/сек км<sup>2</sup> [63-66].

Река Немос - правый приток Шахдары - формирует сток в ледниковом бассейне южного склона Шугнанского хребта. Исток - в 3 км к югу от пика Скалистого (5704 м) на абсолютной высоте 4780 м; среднее падение - 48,7 м/км, длина - 32 км, площадь бассейна - 145 км<sup>2</sup>. Бассейн характеризуется значительным оледенением (25 км<sup>2</sup>), составляющим 17% площади водосбора, и слабой расчлененностью рельефа в верхней части водосбора, где находятся прекрасные летние пастбища.

В верховье р. Немос течет в сравнительно узкой, с плоским дном и крутыми склонами ледниковой долине, врезанной на 500-700 м в платообразную поверхность Шугнанского хребта. В нижней части течения долина суживается; правый склон менее крутой, чем левый, местами отвесно

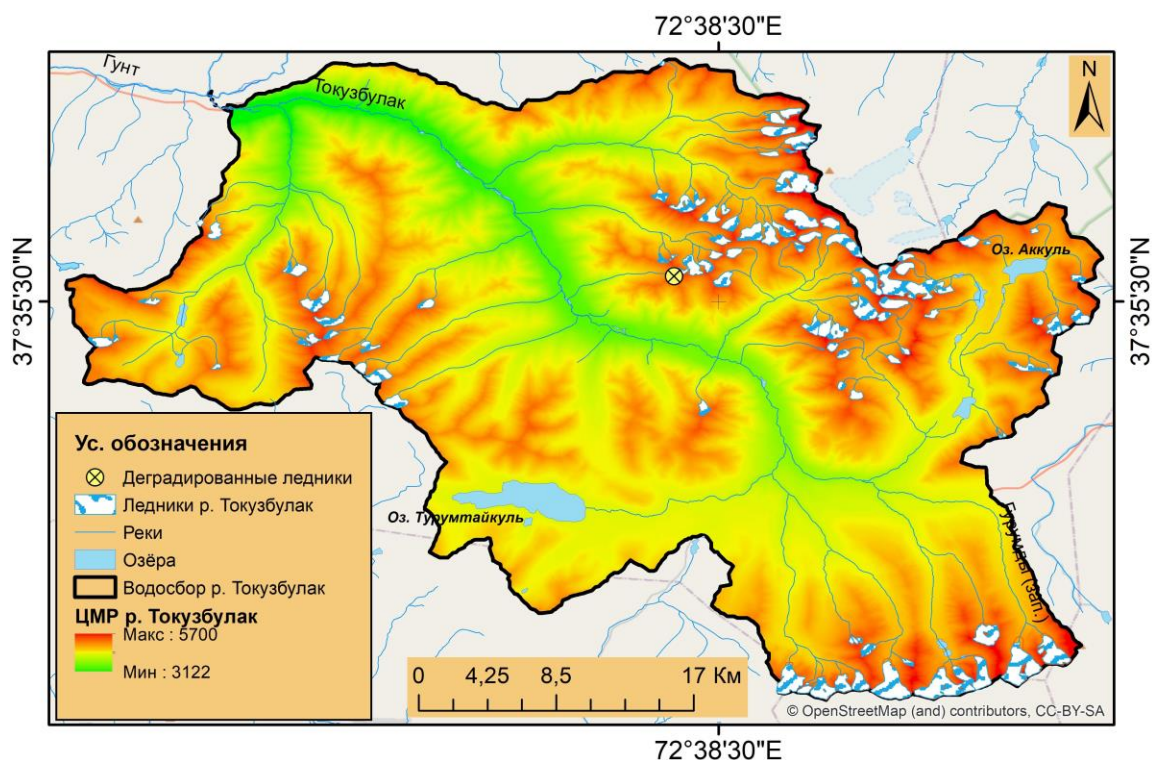


обрывается к реке. В 3 км от устья река живописным водопадом низвергается с 30-метровой высоты в глубокое ущелье.

Талые воды ледников (37%), сезонных снегов (38%) и подземные воды (25%) являются источниками формирования водных ресурсов р. Немос.

Начало нарастания уровней и расходов воды весенне-летнего половодья происходит обычно в третьей декаде мая, конец половодья наступает в середине сентября. Максимальный срочный расход в 1973 г. наблюдался 5 августа в 22 часа и составлял 28 м<sup>3</sup>/сек, что соответствует модулю стока 209 л/сек км<sup>2</sup>. Суточный ход расходов и уровней выражен весьма определенно. 5 августа суточный максимум расходов превышал суточный минимум на 373% (28 и 7,5 м<sup>3</sup>/сек), причем максимум и минимум, как и на Бадомдаре, наблюдаются соответственно от 20 до 22 часов и от 12 до 14 часов. Средний годовой расход р. Немос (в 4 км выше устья) за 1973 г., по подсчетам автора равен 2,1 м<sup>3</sup>/сек, это соответствует модулю стока 15,7 л/сек км<sup>2</sup>. Вода в реке мягкая, мутность незначительная [66].

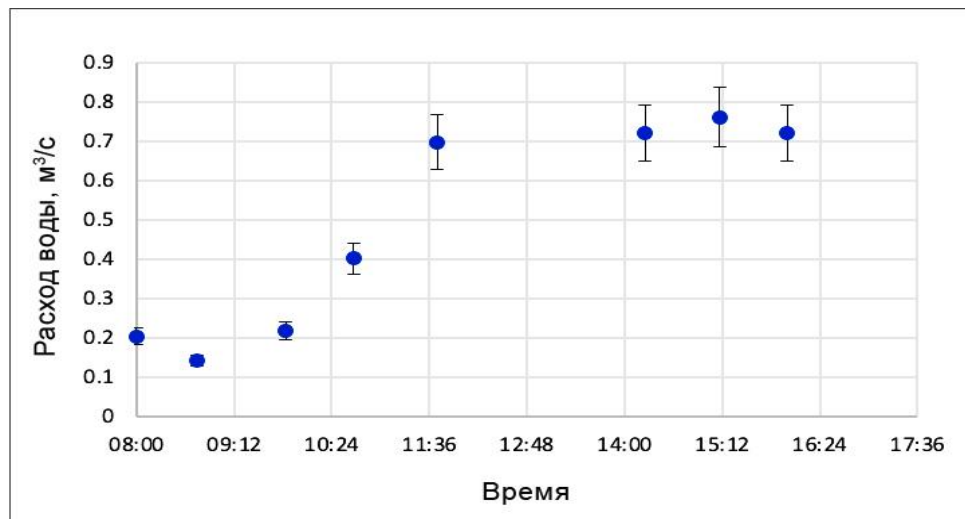
**Река Токузбулак** - вторая по величине река длиной 62 км, бассейна реки Гунт (1110 км<sup>2</sup>), является левым её притоком и вытекает из южной части оз. Аккуль, расположенного на южном склоне Бакчигирского хребта на абсолютной высоте 4485 м. В верховьях на протяжении первых 15 км, река протекает по широкой ледниковой долине в южном направлении, через ряд озер со средним падением русла 33 м/км. Описав дугу и изменив направление течения на северо- западное, река принимает слева р. Южный Токузбулак, вытекающую из восточной части оз. Турумтайкуль. Далее долина реки суживается, переходя местами в глубокое ущелье; уклоны русла увеличиваются; в пойме, там, где выклиниваются грунтовые воды, появляется кустарниковая и древесная растительность - ивняки, тополь. В районе пос. Джиланды долина Токузбулака расширяется, с многочисленными выходами серных термальных источников. Ниже этого поселка водность реки увеличивается, а русло расширяется до 18 м (рисунок 2.19) [63].



**Рисунок 2.19. - Карта водосбора реки Токузбулак. Разработал Наврузшоев Х.Д.**

Относительно снежного покрова в этой зоне следует отметить, что в долине реки Токузбулак, до 90-ых годов прошлого столетия функционировали несколько снегомерных пунктов, установленные в верховьях реки на высотах 3600-3900 м. Результаты снегосъемок, в долине, указывают на значительную высоту снежного покрова, достигающую в среднем 40-50 см, а в отдельных местах до 120 см [56].

В начале августа 2022 году в ходе полевых работ с участием автора был рассчитан расход воды в притоке Западный Гурумды стекающий с ледника №457. На данном притоке был получен хорошо выраженный суточный цикл с минимальными значениями около  $0,15 \text{ м}^3/\text{с}$  и максимальными значениями около  $0,75 \text{ м}^3/\text{с}$ . Пик стока наблюдался около 14:00 часов (рисунок 2.20). Самые ранние измерения были проведены в условиях, когда поверхность реки была в основном замерзшей, что привело к очень большому времени прохождения красителя и возможным ошибкам из-за задержки, которая может привести к тому, что красителя поступит меньше, и поэтому можно предположить, что сток выше, чем на самом деле [67, 68].



**Рисунок 2.20.** - Суточный расход воды реки Западный Гурумды

В верховьях реки Западный Гурумды были установлены гидрологические датчики обеспечивающие получить данные годового расхода воды этого притока, откуда вода, посредством искусственного канала, подпитывает дополнительными водными ресурсами озеро Яшилькуль.

**Река Ривакдара** - один из крупных левых притоков р. Гунт, берущий начало из ледников северного склона Шугнанского хребта на абсолютной высоте 4450 м. Длина реки - 39 км, площадь бассейна - 358 км<sup>2</sup>. Для бассейна характерны значительные оледенения (52,7 км<sup>2</sup>), составляющее 15% площади водосбора, и сильная расчлененность рельефа речной сетью. Густота речной сети в бассейне по данным Кеммириха, равна 0,40 км/км<sup>2</sup>. В верховьях река течет в плоской ледниковой долине в основном в западном направлении. В 12 км от истока, долина Ривакдары перегорожена огромным обвалом, выше которого образовалось оз. Риваккуль длиной 2,5 км и шириной до 0,75 км. Вода из озера фильтруется через завал и в 400 м от озера выклинивается на поверхность в долине реки. Ниже завала река течет в сравнительно широкой долине в каменисто-галечниковом русле со средним падением 40м/км. Склоны долины изобилуют родниками. В 13 км от устья долина снова суживается, падение русла увеличивается до 90 м/км, Ривакдара стремительно течет, образуя многочисленные пороги.

Особенности источников питания (талые воды ледников -33%, сезонные снега -41%; подземный сток - 26%) и их тип, а также гидрологический режим рек

являются основными факторами большой площади оледенения водосбора Ривакдара. Начало весенне-летнего половодья отмечается в первой декаде мая, окончание - во второй половине сентября.

Максимальный срочный расход, измеренный Памирским гидрологическим отрядом ИГ АН СССР, был отмечен 28 июля 1971 г. в 23 часа: он составлял  $63 \text{ м}^3/\text{сек}$ , что соответствовало модулю стока  $176 \text{ л/сек км}^2$ . Суточный ход расходов особенно ярко выражен во время усиленного таяния ледников и снега и достигал в 1971 г. наибольших значений 28 июля, когда максимум ( $63 \text{ м}^3/\text{сек}$ ) был в 3,2 раза больше минимума ( $19,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ ). Наибольшие суточные расходы в период высокой воды наблюдаются около 23 часов, наименьшие - от 11 до 13 часов [63].

Средний расход Ривакдары при впадении в Гунт за период наблюдений (1 июля - 5 августа) равен  $19,9 \text{ м}^3/\text{сек}$ , что соответствует модулю стока  $55,6 \text{ л/сек км}^2$ . Средний годовой расход установленный в 1971 г. равен  $7,3 \text{ м}^3/\text{сек}$ , (модуль стока  $20,4 \text{ л/сек км}^2$ ) [63-66].

На Западном Памире лето начинается в конце июня, период с температурой воздуха выше  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  длится 2-2,5 месяца. Средняя месячная температура воздуха в Хороге и Рушане в июле и августе - около  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ . Для этого периода характерны значительные колебания температуры воздуха в течение суток, достигающие  $13-14 \text{ }^\circ\text{C}$  [67].

Основным источником полива сельхозугодий в засушливых высокогорных районах Памира, в том числе бассейна реки Гунт, является речной сток.

В настоящее время рассматривается возможность и эффективность применения спутниковых снимков MODIS для прогноза и предупреждения опасных гидрологических явлений в летний период для этого бассейна. Прогноз водности реки Гунт с использованием данных снежного покрова снимков MODIS позволяет предупредить многоводье или маловодье на этой реки и предоставить своевременную информацию для водохозяйственных организаций и КЧСиГО республики Таджикистан [70].

По результатам проведенного анализа выявлена статистически значимая зависимость месячного стока реки Гунт с площадью снежного покрова по высотным зонам (рисунок 2.21):

- на июнь с высотной зоной 4071-4571 м.н.у.м.,

$R^2 = 0,50$ ;

- на июль с высотной зоной 4571-5071 м.н.у.м.,

$R^2 = 0,76$ ;

- на август высотной зоной 3071-3571 м.н.у.м.,

$R^2 = 0,32$ .

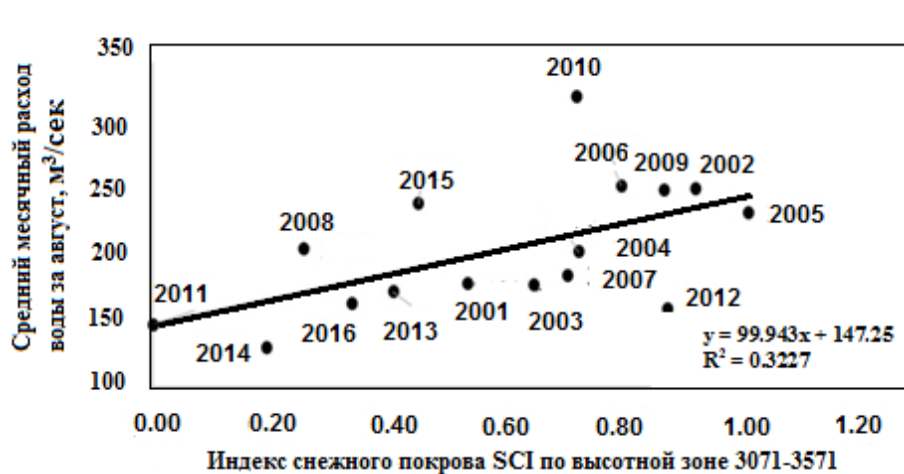


Рисунок 2.21. - Линейные зависимости среднего месячного стока р.Гунт с индексом SCI по высотным зонам [70]

«По прогнозу ожидается полная деградация оледенения в суббассейнах западного и северо-восточного водосборов Гунта, а ледниковый покров, полностью исчезнет уже к 2030 году. Большинство других суббассейнов могут полностью освободиться от ледников до 2100 года с потенциально большим воздействием на местное пресноводное снабжение и традиционное ирригационное сельское хозяйство в конце периода абляции (август, сентябрь). Тем не менее, суббассейны, хранящие наибольшее количество общего объема льда в бассейне в Северо-центральном и Юго-Западном водосборах, все еще могут быть оледенены в течение столетий, даже если отступление ледников не замедлится из-за потенциально меньших темпов отступления на более высоких высотах. Это означает, что скорость стока реки Гунт все еще может извлекать выгоду из таяния ледников в течение десятилетий или даже столетий, что важно

для производства гидроэнергии и обеспечения питьевой водой. Однако местные общины получают пресную воду непосредственно из притоков, где оросительные каналы транспортируют талую воду в сады и поселения на склонах холмов» [71].

Таким образом, полученные результаты подтверждают тезис о том, что в современных реалиях необходимо реализовать комплексные исследования, позволяющие получить дополнительные, фактические данные по современной динамике оледенения и состояния гидрологических процессов в бассейне реки Гунт.

### **Выводы по второй главе**

В данной главе приведены результаты исследования территории, физико-географических условий, рельеф, климат и гидрология бассейна реки Гунт, а также дана подробная информация о изученности данного бассейна.

Выявлено, что за последние годы обширные инструментальные гляциологические исследования, в том числе деградация оледенения на фоне глобального потепления для этого района отсутствуют.

Наши исследования в какой-то мере могут восполнить отсутствующие данные о современном оледенении бассейна реки Гунт.

После каталогизации ледников бассейна реки Гунт было проанализировано современное состояние оледенения данного региона и получены достоверные данные о распространении, размерах, типах, деградации, и др. основных параметров ледников.

Установлен суточный расход воды для притока Западной Гурумды с последующим получением годового расхода воды, обеспечивающий подпитывание притоком водохранилища Яшилькуль, являющийся необходимым источником для удовлетворения водопользования и обеспечения стабильной работы ГЭС.

## **Глава 3. МЕТОДОЛОГИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **3.1. Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии мониторинга ледников бассейна реки Гунт**

Для оценки динамики и современного состояния ледников бассейна реки Гунт использованы методы дистанционного зондирования, направленные на интегральный анализ всех данных, полученных в процессе исследования. Спутниковые снимки скачивались с портала Геологической службы США (USGS) [72], в открытом доступе, в исследуемом регионе с наименьшей облачностью и с датой съёмки, соответствующей концу периода таяния ледников (август – начало сентября). Для исследования были выбраны космические снимки со спутников Landsat 1-9 с пространственным разрешением от 60 м до 30 м (панхроматический канал – 15 м), а также для спутниковых снимков Sentinel 2A с пространственным разрешением 10 м с минимальной облачностью на всех снимках. Указанные снимки импортировались в ArcGIS и использовались для расчёта площади открытых частей ледников. Контуры ледников обрабатывались вручную с привлечением контура ледников базы GLIMS [73, 74].

«Дешифрирование снежно-ледовых поверхностей космическими снимками имеет множество как научных, так и практических сфер применения – от мониторинга процесса снеготаяния для прогноза уровней и расходов воды весеннего половодья до каталогизации горных ледников, и оценки их отклика на современное изменение климата» [75].

Наряду с этим, мониторинг и исследования ледников имеют весьма важное практическое значение как для прогноза состояния запаса водных ресурсов, так и использования их в различных секторах экономики, в том числе сельском хозяйстве и энергетике [76-78]. Большинство ледников по всему миру отступают. За последние десятилетия потеря массы ускорилась. Реакции ледников в Высокогорной Азии, в том числе на Тянь-Шане и Памире, очень неоднородны в пространственном отношении. Продолжающееся отступление ледников будет

иметь серьезные последствия для ресурсов пресной воды в Центральной Азии, особенно при сценариях с высоким уровнем выбросов [6-А].

Для расчёта достоверности данных дистанционного зондирования проводятся работы по вычислению погрешности полученных данных. Погрешность космических снимков может быть связана с различными факторами, такими как качество оборудования, условия съемки, атмосферные условия, ошибки в обработке данных и другие факторы. Также условия съемки также могут влиять на точность снимков. Например, если изображение было снято в неподходящее время суток, то это может привести к тени, искажениям цвета и другим ошибкам. Атмосферные условия, такие как облачность и атмосферные эффекты, могут также влиять на точность снимков. Ошибка обработки данных может произойти при любом этапе обработки, начиная от считывания сигнала с приборов до окончательного формирования изображения. Ошибки могут возникать из-за неправильных настроек приборов, ошибок в программном обеспечении или человеческого фактора. Погрешность космических снимков может быть значительной, современные методы обработки данных могут существенно уменьшить эту погрешность и повысить точность снимков [79-89]. Соединение вершин полигона непрерывной линией с использованием кривых Безье (Бернштейна) [79], т.е. создаётся полигон со случайной извилистостью контура границы  $f$ , рассчитываемая по формуле [80]:

$$f = \frac{P^2}{4\pi S}$$

где  $f$  - коэффициент извилистости полигона;  $P$  - периметр границы эталона;  $S$  – площадь полигона.

Для простых геометрических фигур показатель « $f$ » принимает следующие значения: круг  $f=1,00$ ; шестиугольник  $f=1,10$ ; квадрат  $f=1,27$ ; половина круга  $f=1,34$ ; равносторонний треугольник  $f=1,65$ . Чем сложнее форма и тип ледника, тем больше извилистость полигона и соответственно, больше значение  $f$  и тем больше погрешность полученных результатов [80].

Расчет величины  $N_p$  производился по формуле:

$$N_p = S / L^2,$$



где  $N_p$  – расчётное количество пикселей в эталоне при фиксированном пространственном разрешении растрового изображения, шт.;  $S$  – площадь эталона,  $m^2$ ;  $L$  – пространственное разрешение растрового изображения, м.

Площадь растеризованных эталонов (РЭ) определялась по формуле:

$$S_n = N_n \times L^2,$$

где  $S_n$  - измеренная площадь РЭ,  $m^2$ ;  $N_n$  - измеренное количество пикселей в РЭ;  $L$  - пространственное разрешение растрового изображения, м.

Для применения на практике предлагается следующая формула для расчёта относительной погрешности измерения площади объекта ( $\delta$ ) по космическим снимкам:

$$\delta = a \times (S_n / L^2)^b,$$

где  $S_n$  - измеренная площадь объекта,  $m^2$ ;  $L$  - пространственное разрешение космического снимка, м;  $a$ ,  $b$  - расчётные коэффициенты.

Основными объектами исследований были выбраны ледники бассейна реки Гунт ( $13700 \text{ км}^2$ ), площадь оледенения которого составляет  $609 \text{ км}^2$  [56]. С сожалением приходится констатировать, что за последние 50 лет гляциологические работы на данной территории не проводились и естественно отсутствуют данные о современном оледенении и состоянии ледников в целом.

Бассейн реки Гунт имеет 41 правых и левых притоков наиболее крупные из них Баджомдара, Ривакдара, Дузахдара, Чартымдара, Урта-Бакчигир I, II, Патхур, Сафедобдара, Андеравдж и др. В бассейне встречаются почти все типы ледников, но преимуществом обладают склоновые и долинные ледники. По месторасположению ледники с северными экспозициями встречаются больше всего и составляют 44,1%, а ледники северо-восточной экспозиции 21% всех ледников бассейна [6-А].

Следует отметить, что одним из основных источников питания рек бассейна реки Гунт - это ледники. Экономический и социальные секторы Горно-Бадахшанской автономной области (далее ГБАО) в полной мере зависят от достаточности водных ресурсов, формирующиеся в основном из вод сезонных снегов и ледников. В частности, 90% электроэнергии (37 мВт), поставляемая на территорию ГБАО (Шугнанский, Рошткалинский, Рушанский, Ишкашимский

районы и город Хорог) вырабатывается гидроэлектростанциями, большинство из которых построены на реках бассейна реки Гунт.

### 3.1.1. Крупные ледники бассейна реки Гунт

Основная масса ледников на территории бассейна р. Гунт, приурочена к северным склонам Южно-Аличурского и Шахдаринского хребтов, а также южного склона Рушанского хребта, в то время как южные склоны достаточно высоких Базардаринского и Шугнанского хребтов почти лишены оледенения [56].

В бассейне р. Гунт по данным 2018 года насчитывается 1030 ледников и встречаются все типы ледников, но преобладают склоновые и долинные ледники.

На правом берегу р. Гунт сосредоточено 35% всей площади оледенения бассейна, на левобережье - 38% и в бассейне р. Шахдара - 27%. Наибольшую площадь занимают ледники на северных склонах крупных хребтов (Шугнанского и Шахдаринского) и гор Бакчигир, а также в районе наибольших высот южного склона Рушанского хребта. На этих участках сосредоточено 62,3% ледников бассейна р. Гунта, или 78,3% площади его оледенения. В этих же районах находятся и четырнадцать крупнейших ледников бассейна (таблица 3.1).

**Таблица 3.1. - Крупные ледники бассейна реки Гунт [6-А]**

Название и номер ледника	Площадь, км <sup>2</sup> , 2018	Мин. высота	Макс. высота	Морфологический тип ледника	Экспозиция
Уар (№162)	19,40	4555	5738	сл. дол.	В
Сафедоб (№129)	15,63	4264	5551	сл. дол., осн. поток	В, ЮВ
Урга-Бакчигир II (№378)	9,72	4628	5543	дол.	СВ
Штеклозар (№66)	7,32	4349	5548	дендр., осн. поток	ЮЗ
Варшидз (№500)	6,02	4532	5645	сл. дол.	СВ, С
№369	5,95	4583	5345	дол.	СВ
Карл Маркса (№777)	5,82	4172	6623	дол.	С
№70	5,76	4349	5548	дол., часть дендр.	З, ЮЗ
№873	5,25	4236	5399	сл. дол.	В
№829	4,72	4452	5813	дол.	С
№380	4,59	4570	5626	дол.	С
№882	4,29	4216	5354	сл. дол.	С, СВ
№136	4,07	4676	5358	сл. дол.	ЮВ
Чапдара (№83)	4,02	4570	5348	дол., часть сл. дол.	В, Ю

Благоприятными зонами образования ледников являются наиболее высоко поднятые участки хребтов, имеющие обширные выровненные пространства,

способствующие накоплению снега, на большой площади, в областях питания. Примерами могут служить ледники притоков Патхур, Сафедобдара и в меньшей мере северные склоны хр. Бакчигир, расположенные в Рушанском хребте. Здесь же находятся крупные ледники (52,07 км<sup>2</sup>) Сафедоб, Уар, Штеклозар и Урта-Бакчигир II. С целью оценки состояния ледников бассейна реки Гунт были выбраны крупные из них: Уар (№162), Сафедоб (№129), Варшедз (№500) и др.

Установлено, что у сложно - долинного ледника Сафедоб с площадью 14,9 км<sup>2</sup> и экспозицией восточное и юго-восточное наблюдается деградация его языковой части. В период с 1977 по 2000гг. отступление составляет 676 метров, а в период с 2000 по 2019гг. этот показатель составил 235 метров (рисунок 3.1) [6-А].

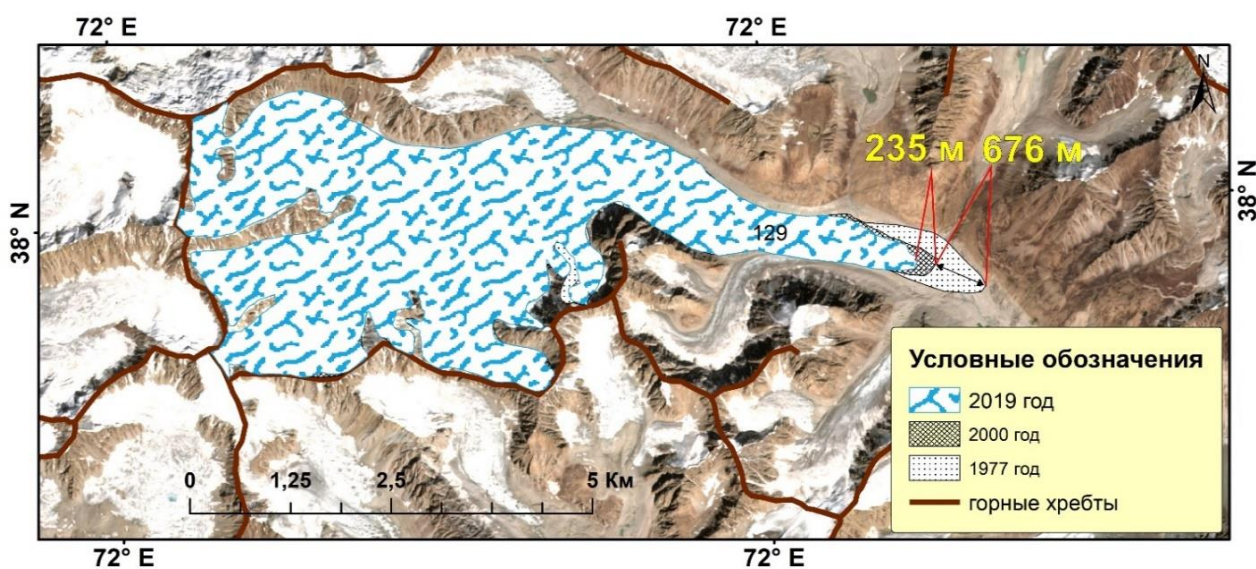
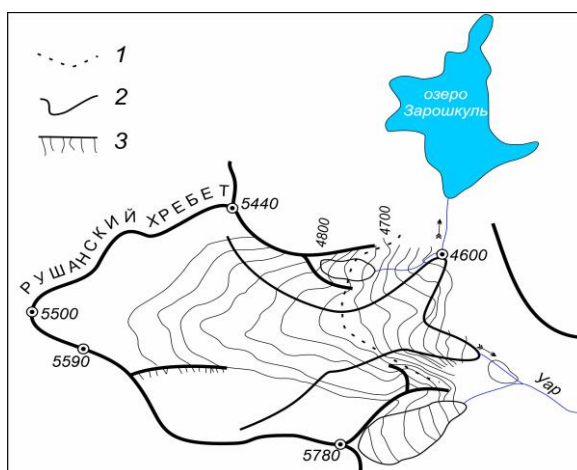


Рисунок 3.1. - Деградация ледника Сафедоб в период с 1977 по 2019гг.

Полученные данные позволили нам сделать вывод о том, что ледники с площадью более 10 км<sup>2</sup> тают медленнее чем ледники с площадью 0,1-0,2 км<sup>2</sup>.

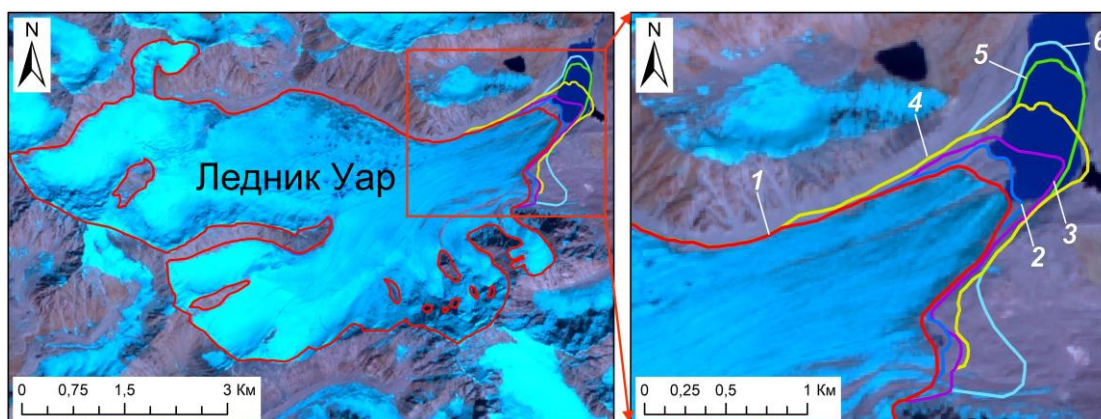
Установлено, что ледники южного склона Рушанского хребта тают быстрее чем ледники северного склона Шахдаринского хребта. Данный процесс связан: с более высокой температурой воздуха в районе Рушанского хребта чем в Шахдаринском хребте; Шахдаринский хребет располагает наиболее высокими хребтами с низкой температурой воздуха; солнечная радиация больше действует на ледники северной экспозиции, а большинство ледников Шугнанского хребта имеют северную экспозицию [9-А].

Ледник Уар - ледник котловинный, с раздвоенным концом (языковая часть раздваивается и является истоком двух ручьев), по данным Забирова Р.Д. длиной 8,5 км и площадью 20 км<sup>2</sup> занимает первое место среди ледников бассейна реки Гунт (рисунок 3.2) и расположен на поверхности озерного плато на стыке Рушанского хребта с хребтом Базардара. С левой части впадает в оз. Зарошкуль, а с правой служит началом р. Уар [37].



**Рисунок 3.2. - Ледник с раздвоенным концом на южном склоне Рушанского хребта (Исток реки Уар). 1 - фирновые поля, 2 - снеговая линия, 3 - горизонталы, 4 - скалы**

Установлено, что ледник Уар с 1977 по 2022 годы потерял 2,1 км<sup>2</sup> своей площади, а его языковая часть отступила на 1 км (рисунок 3.3). При этом, правая часть языка ледника отступала на 1 км и примыкает к боковой части ледника. Следует отметить, что большая часть этого ледника покрыта моренным чехлом, но на спутниковых снимках выявлены отдельные зоны, где наблюдается лед.



**Рисунок 3.3. - Деградация ледника Уар в период с 1977 по 2022гг.  
1-2022, 2-2017, 3-2007, 4-1997, 5-1980, 6-1977**

Описанные крупные ледники, хотя и занимают большие площади, но не составляют основного фона оледенения и не характеризуют оледенение района в

целом. Основной фон оледенения этого района складывается из небольших долинных и большого числа каровых ледников [37].

Следует отметить, что значительную роль в оледенении бассейна реки Гунт играют также ледники горы Бакчигир, считающиеся основными источниками питания озера Яшилкуль, изучению которых должны быть посвящены дальнейшие исследования.

### **3.2. Современные технологии гляциологических исследований.**

#### **Обоснование и выбор объекта исследования**

«Гляциологические исследования (измерения) включают в себя два направления: *научная* - оценка отклика баланса массы ледников на изменения климата и использование ледниковых бассейнов в качестве индикаторов меняющихся климатических условий; *прикладная* - оценка изменений запасов законсервированной пресной воды в горных районах, а также изменений экологических условий, связанных с динамикой оледенения, имеющая стратегически важное значение для условий Таджикистана. С учетом того, что гляциологические наблюдения, напрямую связаны с гидрометеорологическими и отчасти переходящий на автоматизированный режим то они включают в себя производство измерений: поверхностной скорости течения льда; температуры ледовой толщи; вертикальной мощности ледника и восстановление подледного рельефа; снегомерную съемку в области аккумуляции; абляции снега и льда; плотности снега в морфологических шурфах; а также производство снегомерной съемки в области аккумуляции» [74].

Полученные данные наблюдений позволяют оценить баланс массы ледника, являющиеся главным результатом гляциологических наблюдений [74].

«Ниже осуществлен анализ основных параметров ледников для реализации исследований: **накопление** - различные процессы, посредством которых ледник может набирать массу, вместе известны как накопление. Снегопад - наиболее очевидная форма накопления. Лавины, также могут увеличить массу ледника; **абляция** - процесс, потери ледником массы - это таяние. Факторы - Тепло, от солнечного света или окружающего воздуха, или от

дождя, падающего на ледник, или от геотермальной жары ниже ложа ледника; **скорость, поток массы и год баланса** - ледники накапливают массу в течение части года («сезон накопления») и теряют массу, остальное время года («сезон абляции»). Скорость накопления больше, чем скорость абляции в течение сезона накопления, а во время сезона абляции наоборот. «Балансовый год» - время от начала одного сезона накопления до начала следующего; **баланс массы ледника** - чистое изменение его массы за год баланса или фиксированный год. Когда накопление превышает абляцию - баланс массы положительный; если обратное - баланс массы отрицательный; **линия равновесия** - линия, отделяющая область накопления от области абляции – нижнюю часть ледника, на которой конкретный чистый баланс равен нулю. Высота линии равновесия, сокращенно ELA, является ключевым показателем здоровья ледника; и поскольку ELA обычно легче измерить, чем общий баланс массы ледника, его часто принимают в качестве прокси для баланса массы; **чистый баланс** - баланс массы, определяемый между последовательными минимумами баланса массы (Стратиграфический метод). Минимум баланса массы - это конец сезона таяния. Чистый баланс - это сумма наблюдаемого зимнего баланса ( $b_w$ ), (апрель, май) и летнего ( $b_s$ ), (сентябрь, октябрь); **годовой баланс** - массовый баланс, измеренный между определенными датами. Баланс массы измеряется каждый год в установленный день» [90].

В настоящее время, для изучения оледенения существенное значение приобретает уровень применения современных наземных и дистанционных методов исследования. Наземные методы - круглогодичные метеорологические наблюдения в непосредственной близости от изучаемых объектов с помощью терморегистраторов (метеорологические наблюдения на поверхности ледника и вблизи его бортов или ниже конца), измерения аккумуляции и абляции на ледниках по изменению высоты забуренных в них реек для определения баланса массы, георадарная съемка массивности ледяных тел с поверхности ледников, измерение остаточной прочности моренных отложений склерометром, лазерное сканирование склонов с целью выявления их геоморфологических особенностей,

измерение отступления языковой части по неподвижным реперам, измерение скорости движения ледника, бурение ледников с отбором керна и определением изотопного состава льда, воды и воздуха в пузырьках во льду (включая изотопный состав кислорода) для определения годовых слоев, их возраста и климатических условий отложения, изучение химического состава льда и ледникового стока и др.

Применение этих методов в дополнение к дистанционным средствам изучения земной поверхности позволяет проводить комплексные исследования современного оледенения горных хребтов, а современные ГИС-программы в свою очередь создают благоприятные условия для комбинирования этих данных и смоделировать процессы таяния ледников и предсказать их деградацию до следующих столетий [91].

«В настоящее время Всемирная служба мониторинга ледников (WGMS, World Glacier Monitoring Service) собирает стандартизированную информацию о распространении ледников (Каталоги ледников) и об изменениях во времени их массы, объема, площади и длины (колебания ледников). WGMS является службой Международной ассоциации криосферных наук (IACS, International Association of Cryospheric Sciences), Международного союза геодезии и геофизики (IUGG, International Union of Geodesy and Geophysics) и Федерации астрономических и геофизических служб анализа данных (FAGS, Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Services)» [92-95].

В рамках службы организована сеть национальных корреспондентов, собираются и публикуются стандартизированные данные о ледниках, расположенных в разных регионах Земли. ГУ «Центр изучения ледников» НАНТ (Национальный корреспондент РТ профессор А. Каюмов <https://wgms.ch/contact-ncs/>) представляет полученные данные в службу WGMS, которые являются вкладом в Международную гидрологическую программу (IHP, International Hydrological Programme) ЮНЕСКО [95].

«WGMS тесно сотрудничает с Мировым центром данных по гляциологии, расположенный в Национальном центре данных о снеге и льде (NSIDC, National

Snow and Ice Data Center) [93], функционирующий в г. Боулдер (США), и проектом “Глобальные измерения наземных льдов из космоса” (GLIMS, Global Land Ice Measurements from Space) [94]. WGMS входит в Глобальную сеть наблюдений за ледниками GTN-G (Global Terrestrial Network for Glaciers), цель которой — комбинирование полевых и дистанционных наблюдений» [95].

Доступ к информации (колебания ледников; колебания фронта ледников в Альпах, баланс массы ледников о состоянии ледников) возможен на сайте службы WGMS через интерактивные карты.

Для дистанционного исследования ледников используются данные с искусственных спутников Земли, сканирующие поверхность Земли и сохраняющие в базе данных снимки разного периода с разными пространственными разрешениями. Существуют десятки искусственных спутников Земли (ИСЗ), которые используются для фотографирования геосистем.

Для изучения современного состояния оледенения бассейна реки Гунт и анализа высокогорных прорывоопасных озер района исследования и территории Таджикистана используются ИСЗ: “Landsat 2-9”, (США); “Sentinel – 2А” (Европейский союз); “ALOS”, “CORONA-КН-4А”, (Япония) [95] которые скачиваются из сайта USGS [71] из открытого доступа.

Из-за невозможности обследовать все ледники горной системы или в пределах водосбора крупных рек, то целесообразно, выбрать один или несколько ледников, репрезентативных для всей исследуемой области, с вероятностью их применения на большую ледниковую территорию. Следовательно, чрезвычайно важно, чтобы тщательный выбор репрезентативного ледника в бассейне, позволял обеспечивать их доступность и получение достоверных результатов. В этом процессе видимо допускается некий компромисс в реализации исследований [96].

Ключевое понятие гляциологического мониторинга - *репрезентативность ледника*. Репрезентативным называется тот ледник, морфометрические свойства которого являются типичными для



соответствующего горно-ледникового региона. Так, на Центральном Кавказе репрезентативным является ледник Джанкуат, на Тянь-Шане - ледник Туяк-су, для Таджикистана – ледники ГГП (р. Зеравшан), Ягарча (р. Кафирниган), Зульмарт (№139) (оз. Каракуль), №457 (р. Гунт) и др., для Кыргызской республики – ледник Абрамова, на Алтае - ледник Малый Актру и т. д. [97].

С учетом вышеизложенного, объектом гляциологических исследований автором дистанционно был выбран долинный ледник №457 подходящего для изучения баланса массы, удовлетворяющий планам полевых работ.

Долина Гурумды (Западный) очень широкая и плоская, богатая растительностью, служащая в качестве пастбища для мелкого и крупного рогатого скота, является левым истоком реки Токузбулак берущее своё начало из ледников №457-459.

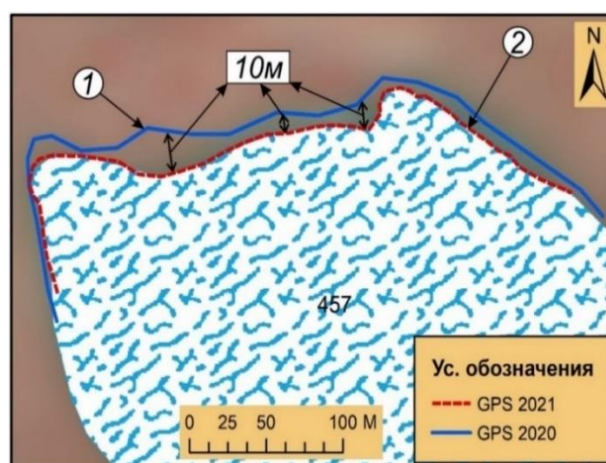
Ледник №457, расположен на северном склоне Южно-Аличурского хребта бассейна реки Гунт (таблица 3.2, рисунок 3.4).

Таблица 3.2. - Базовые параметры ледника №457

Характеристики ледника			
Бассейн реки	Гунт		
Номер по каталогу	457	Площадь ледника	1,2 км <sup>2</sup>
Длина ледника	2,0 км	Тип ледника	Долинный
Экспозиция	Северная	Высота языковой части	4770 м
Максимальная высота	5440 м	Приток реки	Гурумды Западный



(А)



(Б)

Рисунок 3.4. - А- Фото ледника №457 со спутника из онлайн базы данных ArcMap. Б - Данные полученные, автором, с GPS в процессе полевых работ. Контурная линия языка ледника на годы исследования: 1- 2020 г, 2 - 2021 г.

С целью реализации целей и задач исследований в 2020-2022 гг., была организована научно-практическая гляциологическая экспедиция на ледник №457, позволившая получить информацию о современном состоянии поверхности ледника, состоянии его языковой части. При этом, осуществлены определение (взятие) координатных точек с помощью GPSmap Garmin 60CSx, через каждый 10 метров и очерчен трек - линии языка за 2020-2021 гг. (рисунок 3.4Б). Результаты исследований позволили получить более достоверные данные отступления языковой части ледника №457, которое составило в среднем 10 метров за исследуемый период - 1 год.

*Полученные данные в условиях гляциологических полевых исследований и их сравнение с результатами дешифровки космических снимков, позволяют утверждать, что без наличия снимков высокого разрешения, выявление отступления языка ледников в коротких промежутках времени невозможно, более того вычисления будут сопровождаться высокой степенью погрешности.*

У языковой части ледника №457 расположены моренные отложения высотой до 10 - 12 метров (рисунок 3.5А). С левой стороны выше языка выявлена зона аккумуляции талой воды, которая в дальнейшем может превратиться в полноценное прорывоопасное ледниковое озеро.



(А)



(Б)



(В)

**Рисунок 3.5. - А- Моренные отложения у языковой части ледника. Ледник, занесенный камнями и обломками горных пород; Б - левый борт и В - правый борт**

Установлено, что ледовая плотина образуемого озера включает в себя рыхлообломочные материалы, способствующие фильтрации воды в подстилающий ледник грунт и выклинивающая в конце морены на поверхность.

Фактическим истоком реки Гурумды Западная является именно этот фильтрационный поток.

Проведенные мониторинговые исследования позволили установить, что левый борт ледника покрыт камнями и обломками горных пород. Следует отметить, что при дистанционных наблюдениях подобная зона, характерная наличием чистого льда, не фиксируется в качестве составной части тела ледника, что повышает уровень погрешности дистанционных наблюдений (рисунок 3.5 Б, В). Данный фактор следует всегда учитывать при обработке результатов исследований.

### **3.3. Методология, технология и технические средства расчета баланс массы ледника №457 бассейна реки Гунт**

Ледник - масса льда преимущественно атмосферного происхождения, испытывающая вязкопластическое течение под действием силы тяжести и принявшая форму потока, системы потоков, купола (щита) или плавучей плиты. Образуются ледники в результате накопления и последующего преобразования твёрдых атмосферных осадков (снега) при их положительном многолетнем балансе. «Общим условием образования ледников является сочетание низких температур воздуха с большим количеством твёрдых атмосферных осадков, что имеет место в холодных странах высоких широт и в вершинных частях гор. Преобразование снега в фирн, а затем в лёд, может идти как при отрицательной температуре, так и при температуре таяния. В первом случае оно идёт путём рекристаллизации, вызываемой давлением вышележащей толщ и уменьшением пористости снега, во втором - посредством таяния снега с повторным замерзанием талой воды в толще» [98].

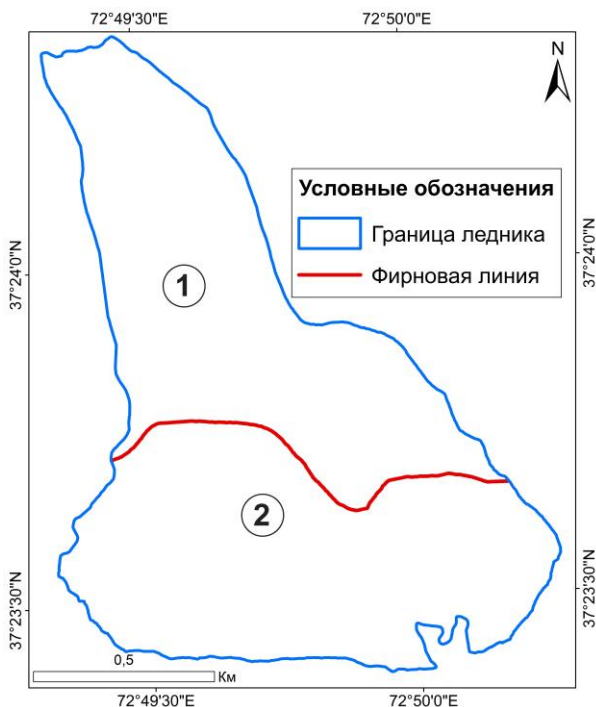
Соотношение прихода и расхода массы снега и льда на леднике за определенное время (за один год или несколько лет) называется балансом массы ледника (см. таблица 3.2).

Фактически на леднике в качестве баланса измеряется изменение массы (выраженное водным эквивалентом или в единицах массы на единицу площади –

г/см<sup>2</sup>) относительно летней поверхности предыдущего года [99].

В связи с этим очевидна необходимость исследований баланса массы ледников как основных источников возобновляемых ресурсов и главных индикаторов изменения климата в рассматриваемом регионе [100].

Особенностью ледника №457 является то, что он удобен для измерения параметров баланса массы, так как зоны его питания и расхода легкодоступны, что облегчает реализации полевых работ и проведение всех видов гляциологических работ на его поверхности. Установлено, что ледник на высоте 5019 метров над у.м. разделен на две зоны фирновой линией: зона абляции площадью 0,652 км<sup>2</sup>, и зона аккумуляции площадью 0,664 км<sup>2</sup> (рисунок 3.6).



**Рисунок 3.6. - Схема-карта ледника №457. 1- зона абляции; 2- зона аккумуляции**

Для расчета баланса массы ледника использовался прямой гляциологический метод, который позволяет измерять только количественный, поверхностный баланс массы [101-109].

Данный метод включает в себя, как результаты измерений, полученные в процессе полевых работ, так и данные камеральных работ с использованием современных ГИС-программ. Полевые работы в свою очередь включают в себя копание шурфа в зоне аккумуляции (рисунок 3.7 А) и установку реек в зоне абляции ледника и (рисунок 3.7 Б).



(А)



(Б)

**Рисунок 3.7. - Исследования на леднике (полевые работы, с участием автора).**

**А - копание шурфа в зоне аккумуляции (*Изучение плотности и водности сезонного снега*), Б - установка реек в зоне абляции (*Изучение процесса таяния ледника*)**

### **3.3.1. Гляциологические исследования в зоне абляции**

Для изучения процесса таяния исследуемого ледника №457 в зоне его абляции, заранее на его поверхности дистанционно, были выбраны точки для производства измерений и были установили 6-ти метровые пластиковые рейки (три двухметровые соединяющиеся между собою металлическими вставками).

В 2020 году на этом леднике были пробурены специальным инструментом паробуром (*Паровая буровая установка состоит из котла, который обогревается газовым баллоном. Водяной пар проходит через провод и штырь, который вдавливается в лед*) [110] шурфы (рисунок 3.8 Б) и были установлены семь абляционных реек.

В последствие, в 2021 году посредством этих реек были получены данные, позволившие установить таяния поверхности ледника и его движение за один год. На ряду с этим были дополнительно установлены 4 рейки, маркируемые изолянтами разных цветов для последующего определения толщины таяния, при чем год установки рейки также маркируется отдельным цветом на всех рейках (рисунок 3.8 А, Б).



(А)

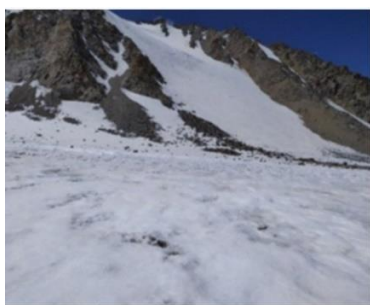


(Б)

**Рисунок 3.8. - Маркировка и установка абляционных реек. А - подготовка реек для установки, Б - установленная рейка на поверхности ледника №457**

По результатам полевых исследований осуществленные через год т.е. в 2021 году установлено, что поверхность ледника сильно видоизменилась.

Гляциологическая экспедиция в 2021 году, организованная в конце сезона абляции, была сформирована на месяц позже по сравнению с 2020 годом. Как видно из рисунка (рисунок 3.9 А), в 2020 году на поверхности ледника не наблюдались большое количество ручейков и рытвин с водой, а положение фирновой линии четко наблюдается. В тоже время 2021 год характерен и тем, что вся поверхность ледника наоборот была покрыта рытвинами и наличием большого количества ручейков как над ледником, так и под тонкой ледниковой коркой, с наличием по всей поверхности кальгаспоров (вертикальные остроконечные *ледяные* фигуры) (рисунок 3.9 Б). Гляциологическая экспедиция, реализованная в 2022 году, позволила установить, что поверхность ледника была полностью освобождена от сезонных снегов и зона аккумуляция ледника в август месяце составляло «0», то есть в зоне аккумуляции ледника отсутствовал снежный покров (рисунок 3.9 В).



(А)



(Б)

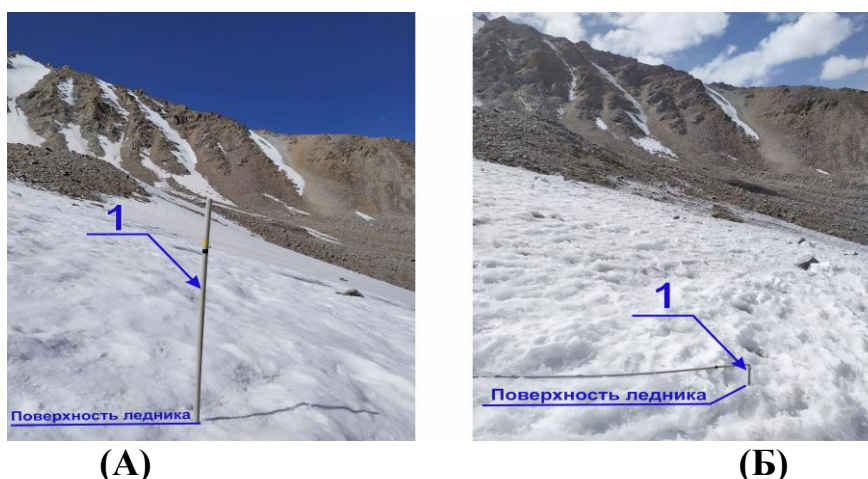


(В)

**Рисунок 3.9. - Состояние поверхности ледника: А-2020г., Б-2021 г., В-2022г.**

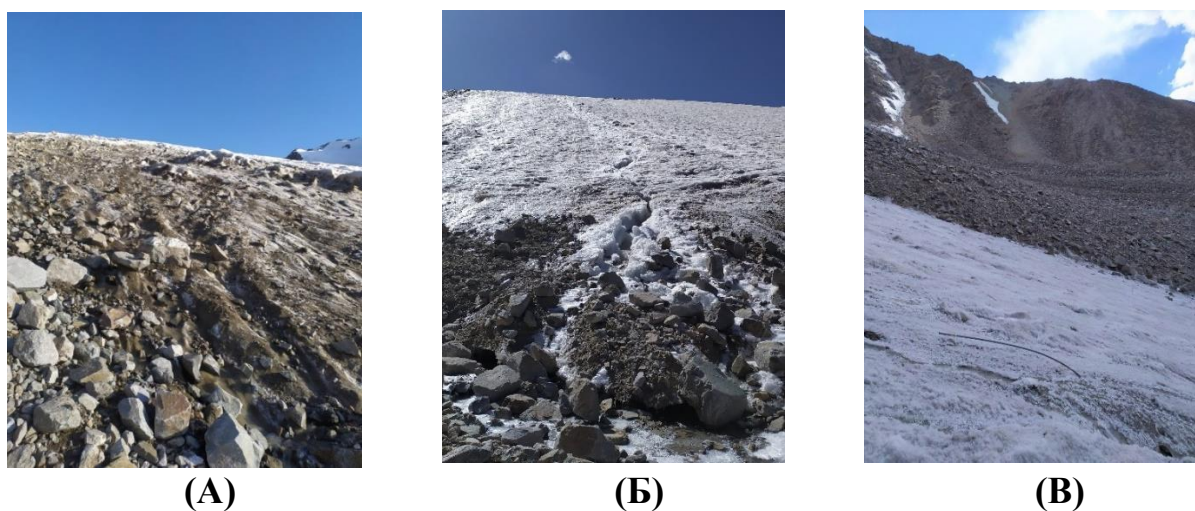
На рисунке 3.10 А показано состояние поверхности ледника по рейке №4. Сравнительными исследованиями (рисунок 3.10 А и Б) установлено, что в

течение одного года (2020-2021гг.) таяние составило 1,29 м., т.е. наглядное подтверждение потери ледника в массе за исследуемый год.



**Рисунок 3.10. - Установленная абляционная рейка с разницей на один год. 1- рейка. А -установка реек (2020г.), Б - год сбора данных (2021г.)**

Анализ и оценка процесса таяния ледника №457 в 2021 году, были осуществлены в процессе полевых работ с обследованием реек установленные на леднике в зоне абляции в 2020 году, наряду с этим, на леднике были установлены четыре дополнительных рейки и был выкопан шурф в зоне аккумуляции ледника. С целью определения скорости движения ледника и его таяние, нами были установлены три новые рейки в точках ранее установленных реек - 1,2,3, а также дополнительную рейку на левом борту ледника (рисунок 3.11 В), питание которого значительно отличается от питания основной серединной его части.



**Рисунок 3.11. – Состояние правого борта ледника, покрытый камнями и обломками горных пород с изменением через год. А – фотография 2020г., Б – фотография 2021 г., В – фотография рейки №8, состояние 2022г.**

### 3.3.2. Гляциологические исследования в зоне аккумуляции

Зона (область) аккумуляция или зона питания ледника - область ледника, на которой расход льда на таяние, испарение, сдувание снега, обвалы льда и т.п. меньше прихода твердых атмосферных осадков, в том числе в результате метелевого переноса, лавин и ледовых обвалов. К приходу не относится масса льда, поступающая в результате движения ледника [111].

Одним из основных параметров определяемые в процессе полевых гляциологических работ это плотность и водность снега. Для производства расчета этих параметров в данной зоне копаются шурфы глубиной до прошлогоднего снега и осуществляется расчет. Плотность снега определяется с помощью алюминиевого цилиндра диаметром в 10 см и длиной в 40 см, а также весы для определения массы снега (рисунок 3.12 В). С помощью цилиндра берется снег вдоль шурфа и измеряется его вес (рисунок 3.12 А), в результате получим объем и вес снега, для последующего определения его водности [13-А].

В частности, плотность снега определяется по формуле

$$p = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

где  $m$  - масса снега,  $V$  - объём цилиндра.

Из-за отсутствия данных о таянии ледника №457, в зоне абляции в первый год (2020г.) исследования в зоне аккумуляции ледника не проводились.

В процессе гляциологической экспедиции (2021г.), установлен факт отсутствия снежного покрова в зоне аккумуляции ледника и выявлено, по левому борту ледника до его вершины, он был покрыт льдом, а в некоторых местах наблюдались следы (конечная зона лавин) с остаточным мусором (смесь снега, льда, грунта и камней).

В результате выбрана зона в правой верхней части ледника для копания шурфа, где высота снежного покрова составляла всего 30 см (рисунок 3.12 А, Б, В). Следует отметить, что в 2022 году снега практически не было, а все вершины были покрыты льдами и снеговая линия в период наблюдений выявлена на высоте 5050 м.





(А)

(Б)

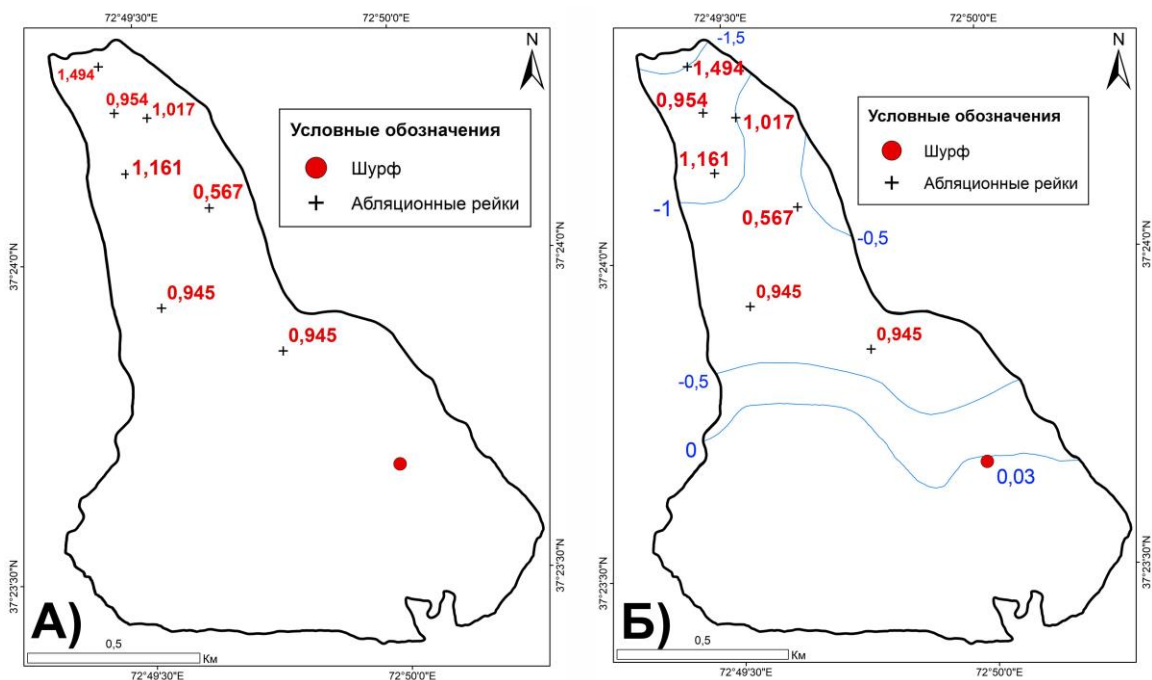
(В)

**Рисунок 3.12. - Копание шурфа в зоне аккумуляции ледника, 2021 год. А-взяты образец снега для взвешивания, Б- высота снежного покрова в шурфе, В-взвешивание снега для определения его массы**

*Полученные данные в ходе реализованной экспедиции, явились основой для осуществления расчета баланса массы ледника. Ниже приведены результаты этих расчетов.*

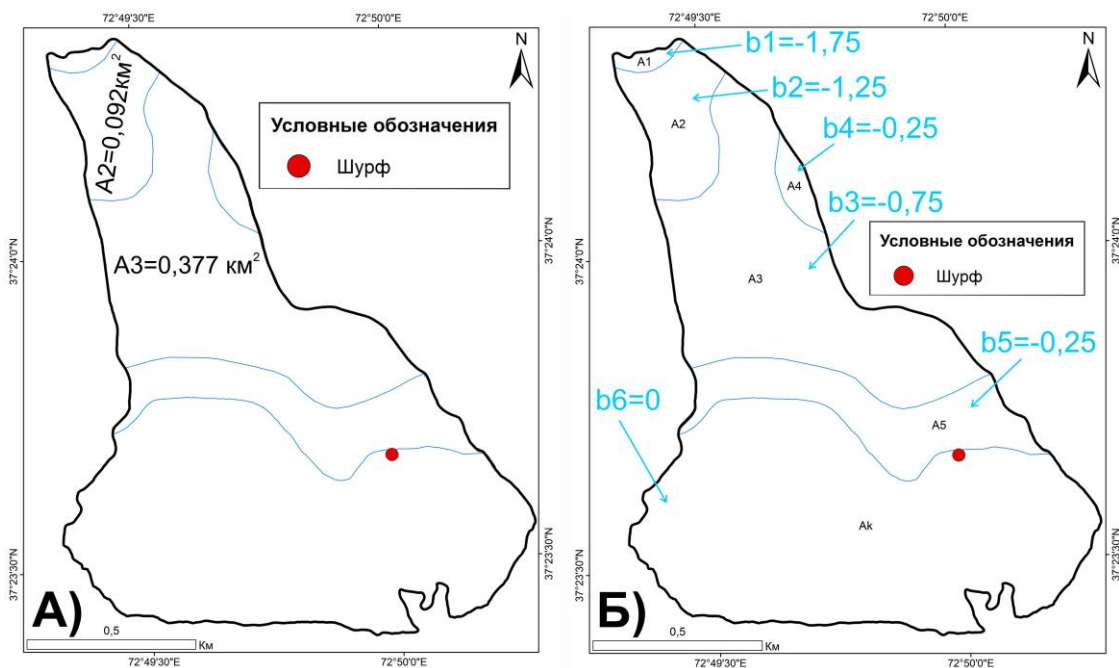
### **3.3.3 Расчеты годового баланса массы ледника**

Полученные данные в ходе полевых измерений были переведены в водный эквивалент снежного покрова и были нанесены точечными измерениями на карту (рисунок 3.13 А), затем копировались с помощью кальки, на миллиметровую бумагу, где были проведены линии, соединяющие точки с одинаковым балансом массы (разница в 0,5 м в.э.) (рисунок 3.13 Б), что позволило определить средний баланс массы для каждой области между двумя линиями на поверхности ледника (рисунок 3.13.1. А). В последствие вычислены: площадь каждого «поля» (рисунок 3.13.1. Б) и баланс массы для каждого «поля» ледника (область между двумя линиями с равным балансом) (рисунок 3.13.2) а также средний годовой баланс массы ледника для каждого поля.

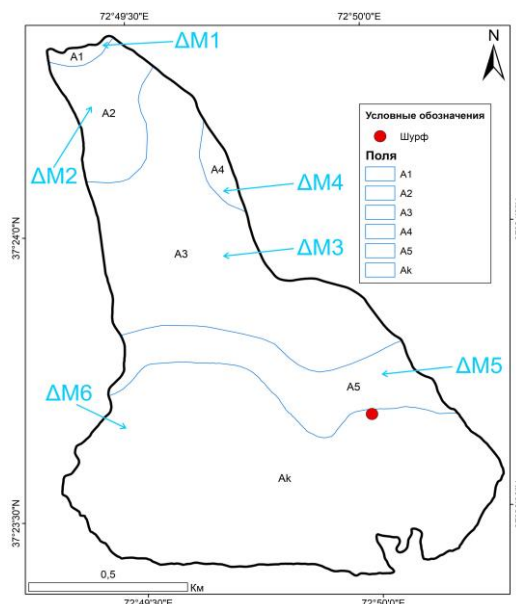


**Рисунок 3.13. - Расчет баланса массы ледника методом контурной линии – схематическое суммирование. А – Включение точечных измерений на карту, Б – Линии между точек**

При этом, полученная площадь исследуемых зон умножалась на присвоенное ей значение баланса массы и как итог была рассчитана сумма изменений всех зон ( $\Delta M_{\text{сумма}}$ ) и разделена на общую площадь ледника ( $A_{\text{сумма}}$ ).



**Рисунок 3.13.1. - Расчет баланса массы ледника методом контурной линии (схематическое суммирование). Определение среднего баланса массы для каждой области**



**Рисунок 3.13.2. - Расчет баланса массы ледника методом контурной линии (схематическое суммирование). Вычисление баланса массы для каждого поля**  
**Вычисление баланса массы ледника методом контурных линий**

Расчет параметров осуществлен для среднего баланса массы в первого поля при  $b_1 = -1,75$  (м в.э.) ( $b_1$ -см. рисунок 3.13.1 Б), по формуле ( $A \cdot b = \Delta M$ ), где  $A$  = область с равным балансом массы (зоны между изолиний) ( $m^2$ );  $b$  = присвоенное значение баланса массы (м в.э.). Для поля с площадью равной  $A_1 = 9610,2 m^2$  был получен баланс массы поля -  $\Delta M_1 = -16817,85$  (м в.э.  $m^2$ ).

Последовательно были осуществлены расчеты для других полей (таблица 3.3):

$$\Delta M_{\text{сумма}} = \Delta M_1 + \Delta M_2 + \dots + \Delta M_6$$

$$\Delta M_{\text{сумма}} / A_{\text{сумма}} = B \text{ [м в.э.]}$$

**Таблица 3.3. Результаты расчетов**

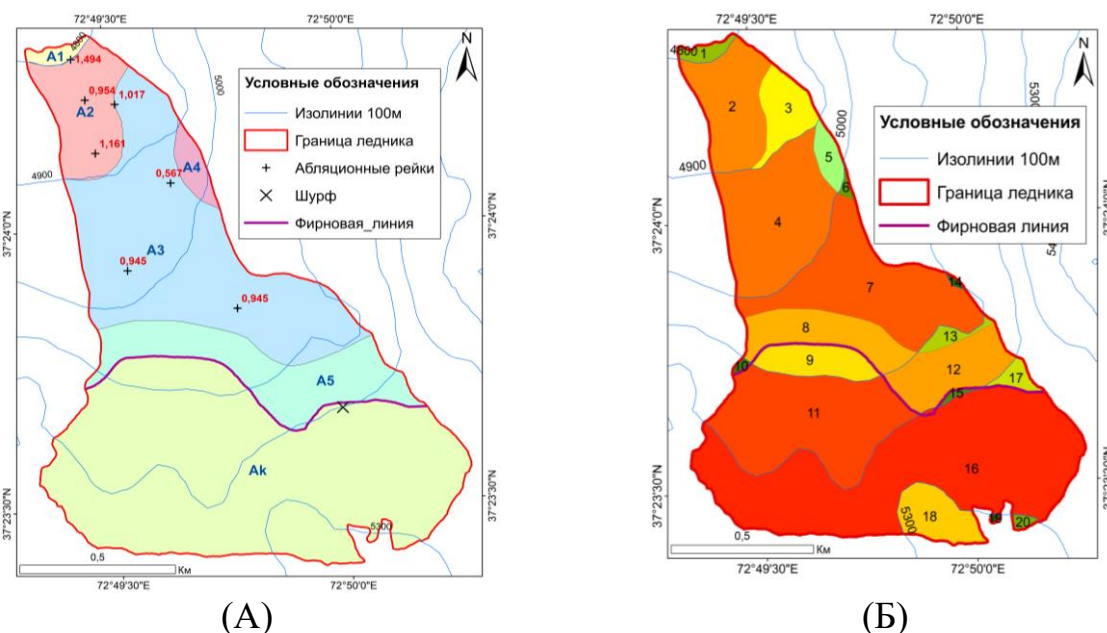
$A_1 = 9610,2 m^2$	$\Delta M_1 = A_1 \cdot b_1 = 9610,2 \cdot (-1,75) = -16817,85$
$A_2 = 91871,85 m^2$	$\Delta M_2 = 91871,85 \cdot (-1,25) = -114839,813$
$A_3 = 377072,72 m^2$	$\Delta M_3 = 377072,72 \cdot (-0,75) = -282804,54$
$A_4 = 19067,86 m^2$	$\Delta M_4 = 19067,86 \cdot (-0,25) = -4766,97$
$A_5 = 152657,46 m^2$	$\Delta M_5 = 152657,46 \cdot (-0,25) = -38164,37$
$A_6 = 662314,44 m^2$	$\Delta M_6 = 662314,44 \cdot 0 = 0$
	$\Delta M_1 + \Delta M_2 + \Delta M_3 + \Delta M_4 + \Delta M_5 = -457393,53$

Баланс массы ледника определяется как отношение суммы баланса массы всех полей на общую площадь ледника.

$$\text{Баланс массы} = \frac{\Delta M_{\text{сумма}}}{A_{\text{сумма}}} = \frac{-457393,53}{1312594,53} = -0,3 \text{ м в.э.} \quad (3.2)$$

Полученные результаты позволили констатировать факт того, что ледник №457 за один год потерял  $-0,3$  м в в.э. по всей своей поверхности.

Полученные данные позволили составить карту баланса массы ледника №457 (рисунок 3.14 А - контурная линия равного баланса массы в 1,5 м в.э.). При этом, линии соединяющие точки с одинаковым балансом массы были проведены с учетом рельефа ледника и его особенностей. В частности, первая проведена по высотной линии 4800 м., а средний годовой баланс массы ледника для каждого поля обозначен разными цветами. Так как расчет баланса массы осуществляется с разницей между линиями с одинаковым балансом массы в 0,5 м в.э., то для зоны аккумуляции было присвоено значение 0,03 м в.э. и так как это значение меньше 0,5 для всей области аккумуляции была присвоена значение «0» м в.э. (рисунок 3.13.1 Б). При этом, для проведения нулевой линии использованы данные полевых работ и космический снимок со спутника Sentinel 2А, позволивший определить снеговую линию.



**Рисунок 3.14. – Карты баланса массы ледника №457. А – баланс масса ледника методом контурной линии, Б – градиентный баланс массы ледника**

### **Расчет высотного баланс массы ледника №457**

С целью осуществления расчета высотного баланса, ледник был разбит, изолиниями по 100 м, на 20 участков (рисунок 3.14Б). В результате расчета, получены данные градиентного баланса массы ледника (Таблица 3.4), а также построен график (рисунок 3.15).

Таблица 3.4. - Данные градиентного баланса массы ледника за 2021 г.

Высота, над ур. м., м	Площадь поле, м <sup>2</sup>	Название поле	A, Площадь, м <sup>2</sup>	b, присвоенное среднее значение поле	$\Delta M_x = A_x \cdot b_x$ Площадь * присвоенное среднее значение поле	Баланс поле	БАЛАНС ПОЛЕ /ПЛОЩАДЬ ПОЛЕ
9999-4800	9652,65	A1	9652,7	-1,75	-16892,14	-0,0175	-1,813
4800-4900	131776,1	A2	91274,4	-1,25	-114092,96	-144469,22	-1,096
		A3	40501,7	-0,75	-30376,26		
4900-5000	172215,9	A4	156097,6	-0,75	-117073,13	-121102,73	-0,703
		A5	16118,4	-0,25	-4029,60		
5000-5100	283442,9	A6	2760,8	-0,25	-690,21	-145612,60	-0,514
		A7	170146,9	-0,75	-127610,21		
		A8	69248,7	-0,25	-17312,18		
		A9	41286,4	0	0		
5100-5200	274123,8	A10	1976,1	-0,25	-494,03	-26374,22	-0,096
		A11	188019,6	0	0		
		A12	70490,9	-0,25	-17622,73		
		A13	9696,4	-0,75	-7272,26		
		A14	1373,5	-0,25	-343,38		
		A15	2567,3	-0,25	-641,82		
5200-5300	394625,4	A16	383996,6	0	0	-2657,20	-0,007
		A17	10628,8	-0,25	-2657,195		
5300	47302,5	A18	43036,3	0	0	0	0
		A19	808,5	0	0		
		A20	3457,7	0	0		
			1313139,1		$\Sigma \Delta M =$	<b>-440215,98</b>	<b>-2,416</b>
							-0,0024
	<b>1313139,1</b>					<b>-440215,98</b>	<b>-0,3</b>

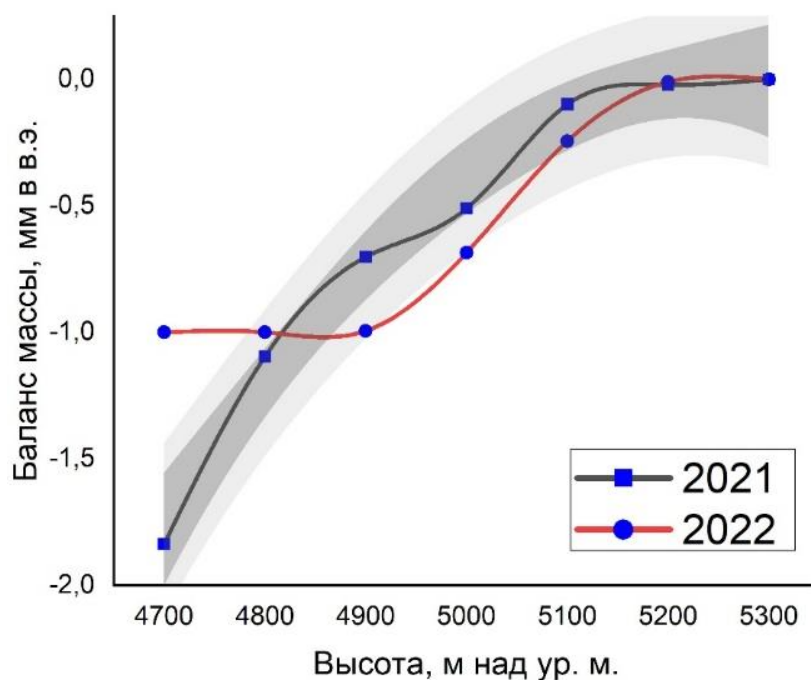


Рисунок 3.15. - График градиентного баланса массы ледника №457 (2021, 2022 гг.)

## Определение объема ледника №457 геодезическом методом

Для определения объема ледника была использована карта толщины ледника, полученная из всемирной базы данных ледников [112] с оценкой распределения толщины ледникового льда всех ледников на Земле (за исключением полярных ледниковых щитов).

Используя программу ArcGIS (автоматический метод) получаем среднее значение толщины ледника №457, составляющее 42,709669 м.

Нами площадь ледника была определена с помощью векторного слоя контура ледника, составившая 1,31 км<sup>2</sup> (1312584,02879м<sup>2</sup>). На карте (рисунок 3.16) приведена карта толщины ледника №457. При этом красным цветом обозначена максимальная толщина ледника, составляющая 87 м.

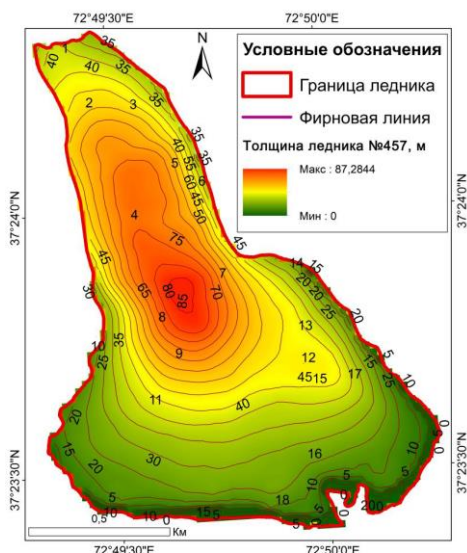


Рисунок 3.16.- Карта толщины ледника №457

(Разработал Наврузшоев Х.Д.)

Для определения объема ледника это произведение площадь ледника (1312584,02879 м<sup>2</sup>) и среднее значение его толщины (42,709669 м),

т.е.

$$1312584,02879 \text{ м}^2 \times 42,709669 \text{ м} = 56060029,40430737 \text{ м}^3$$

Полученные результаты конвертируем от м<sup>3</sup> в км<sup>3</sup>.

$$\frac{56060029,40430737 \text{ м}^3}{1e + 9} = 0,056 \text{ км}^3$$

Таким образом, с использованием современных геодезических данных получены параметры объема ледника №457 равняющийся 0,056 км<sup>3</sup>.

Ниже нами с использованием геоинформационные системы дана оценка оледенение в прошлом и осуществлено прогнозное моделирование на будущее.

### 3.4. Анализ и оценка результатов экспедиционно-полевых исследований (съемок) ледников бассейна реки Гунт

Центр изучения ледников НАНТ ежегодно организует экспедиционно - полевые работы (измерения) в бассейне реки Гунт и в частности на леднике №457, в которых непосредственное принимал автор.

Проведенные мониторинговые исследования позволили получить информацию о современном состоянии исследуемого ледника. Следует отметить, что в 2022 году в зоне абляции ледника №457 была проведена съемка с использованием дрона и полученные данные обработаны в программе Agisoft Metashape Professional, что позволил создать ЦМР и изображение ледника с высоким пространственным разрешением составляющей 80 см, (ячейки - пиксели, которым соответствует территория площадью 80 × 80 см) (рисунок 3.17).

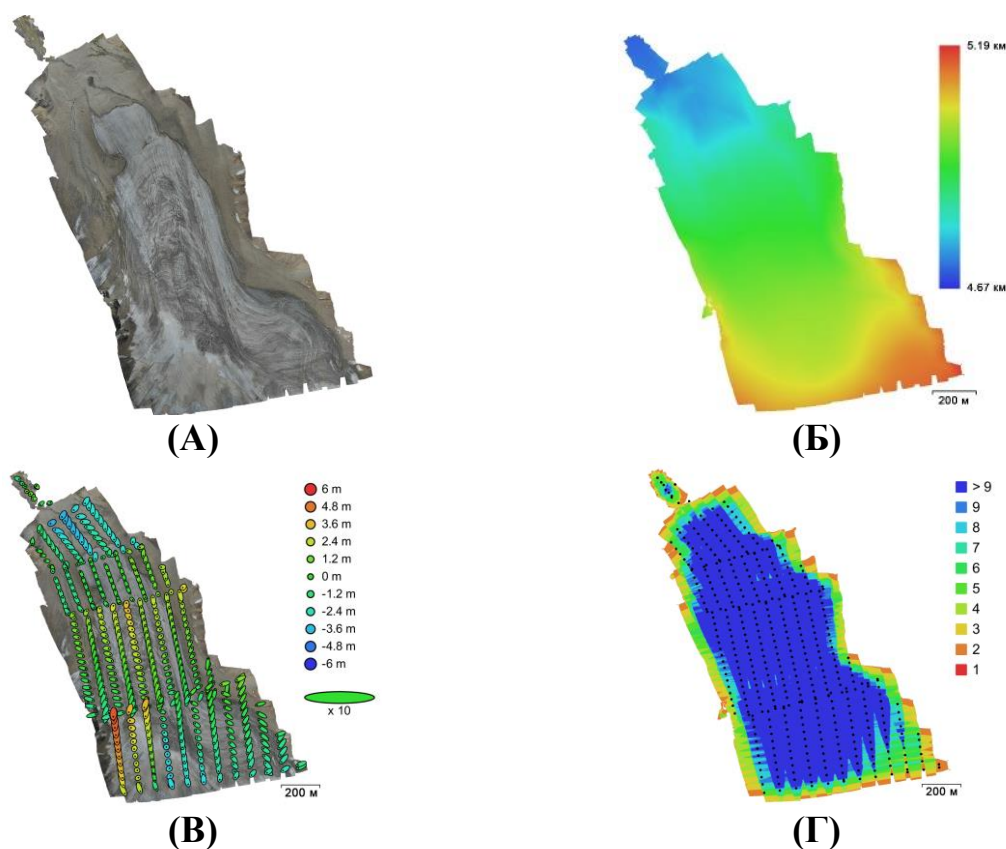


Рисунок 3.17. - Данные полученные дроном DJI Mavic 2 Pro. А – изображение ледника, Б - цифровая модель рельефа ледника В – расположение камер и оценки ошибок, Г - расположение камер и перекрытие изображений

Полученные данные, с использованием дистанционного зондирования земли, способствуют более детальному изучению рельефа ледника и являются основой и сравнительной базой данных, для осуществления съемки через год для подсчета геодезического баланса массы данного ледника.

### **3.4.1. Анализ и оценка результатов исследований современного состояния водосбора озера Яшилькуль и ледника Бакчигир**

Горы Бакчигир, протяжённостью около 35 километров, со средней высотой 5240м. н.у.м., (высшая точка 5759м. н.у.м.) расположены в центральной части бассейна реки Гунт, на левобережье реки Аличур, к востоку от Шугнанского хребта. Высоты 4200 - 4500 м. н.у.м., характерны нивальным ландшафтом, а склоны высокогорной пустынной растительностью.

Западная часть массива Бакчигир глубоко расчленена и возвышается над долиной реки Гунт на 1800 - 2000м. н.у.м), а Восточная относительно невысоко поднята над Аличурской долиной.

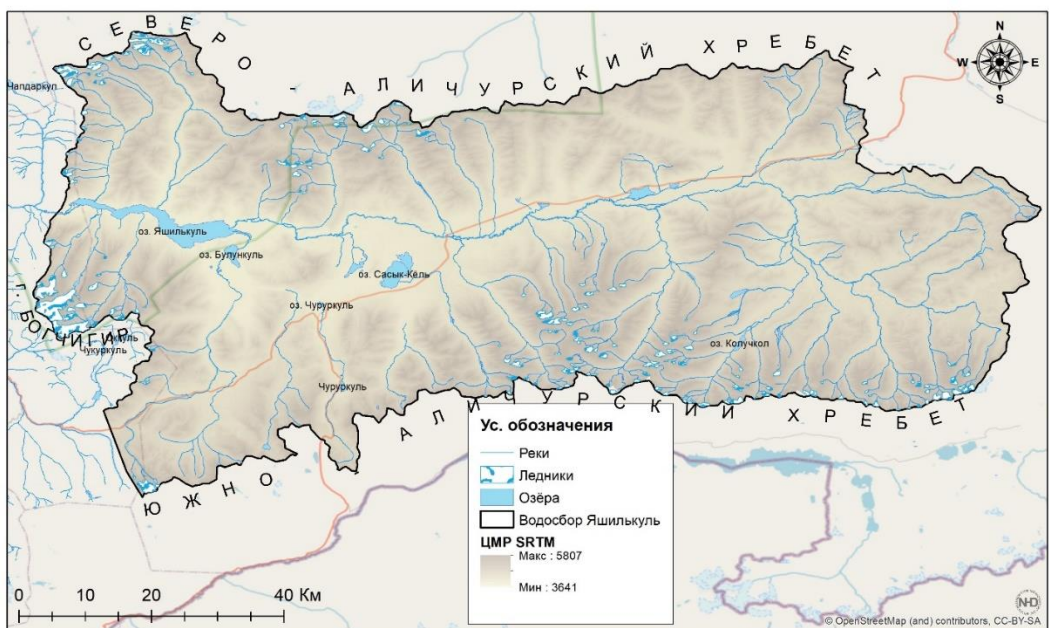
В массиве Бакчигир расположены 125 ледников, с общей площадью 72,1 км<sup>2</sup>, с преобладанием долинных и каровых (34 и 80% соответственно).

В верховьях трех смежных долин, у основания пика Бакчигир, расположены ледники с развитыми областями питания и длинными чистыми участками ледников, спускающимися до 4380 - 4480 м. н.у.м Урта-Бакчигир-I, Урта-Бакчигир-II и Бакчигир.

Высота фирновой линии 4900 - 5000 метров над уровнем моря [113].

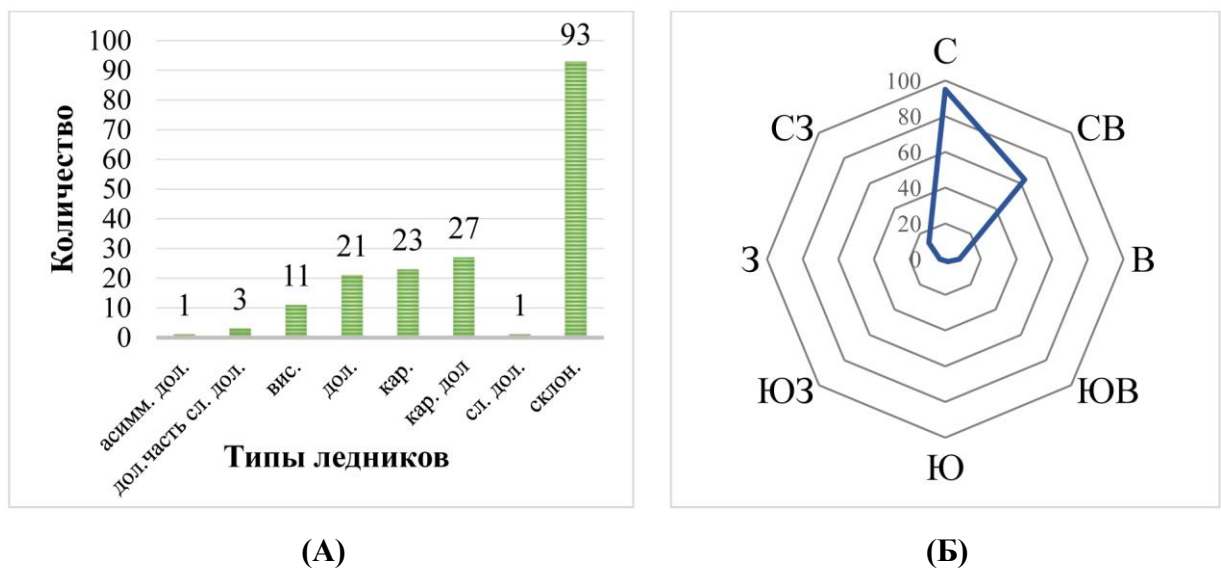
Озеро Яшилькуль (рисунок 3.18), расположенная на абсолютной высоте 3734 м, между Северо-Аличурским хребтом на севере и горами Бакчигир на юге и простирающаяся с востока на запад на 24,6 км, и площадью 35,6 км<sup>2</sup>, с наибольшей глубиной 51м, с температурой воды летом повышается до +12...+14° С, принимает с востока р. Аличур, также как и Сарезское озеро, образовалось в результате колоссального горного обвала, запрудившего долину р. Аличур. После озера река называется Гунт.





**Рисунок 3.18. - Подробная карта водосбора озера Яшилькуль на ЦМР SRTM и подложки OpenStreetMap (подготовил Наврузшоев Х.Д.) [2-А]**

Притоки спускающиеся с гор Бакчигир, а также притоки сформировавшиеся на Северо и Южно Аличурских хребтах, воды озера 194, формируют озеро Яшилькуль (площадь водосбора 5279км<sup>2</sup> и всего 26 притоков). Здесь преобладают клоновые ледники (87 км<sup>2</sup>) с северной и северо-восточной экспозицией (рисунок 3.19).

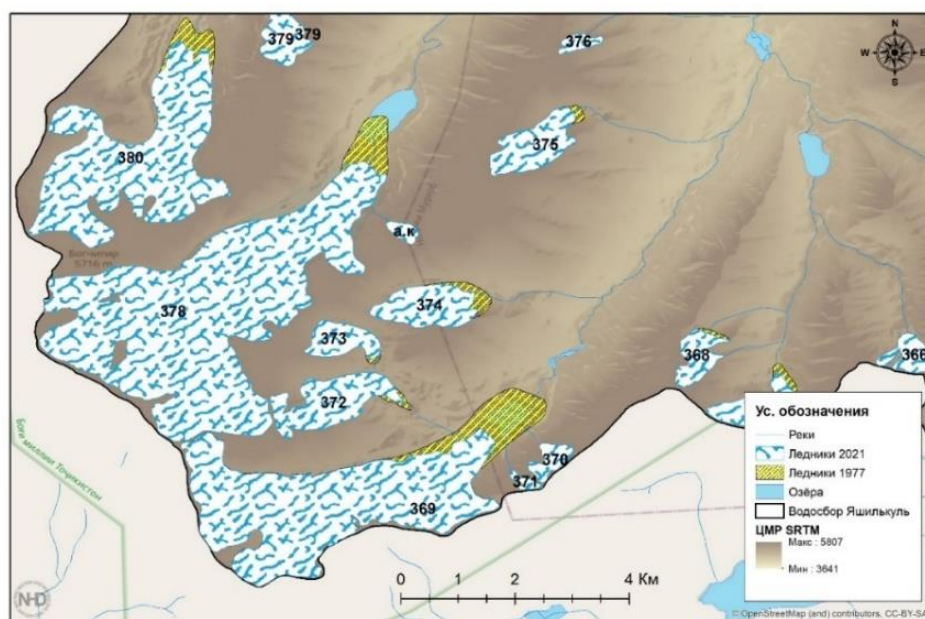


**Рисунок 3.19. - А – Типы ледников Б – Экспозиции ледников**

Следует также отметить, что озеро Яшилькуль, выполняет роль основной емкости (водохранилища) для стабильного функционирования двух ГЭС, на реке

Гунт, которые являются основным источником выработки электроэнергии для всей области, обеспечивающие население ГБАО электричеством. Основной (единственной) метеостанцией на территории бассейна озера является ст. Булункуль (3744м. над у.м.). Данная зона, одна из самых холодных районов Таджикистана (до  $-63^{\circ}$  С) характерна некоторым повышением температуры летом до  $+11,2^{\circ}$  С. Установлено, что периодическое изменение температуры воздуха значительно влияет на процесс оледенения. Вместе с тем второй климатической переменной отрицательно влияющая на данный процесс атмосферные осадки и их количественное уменьшение - на 2,45мм (25%), что подтверждается трендовой линией [2-А].

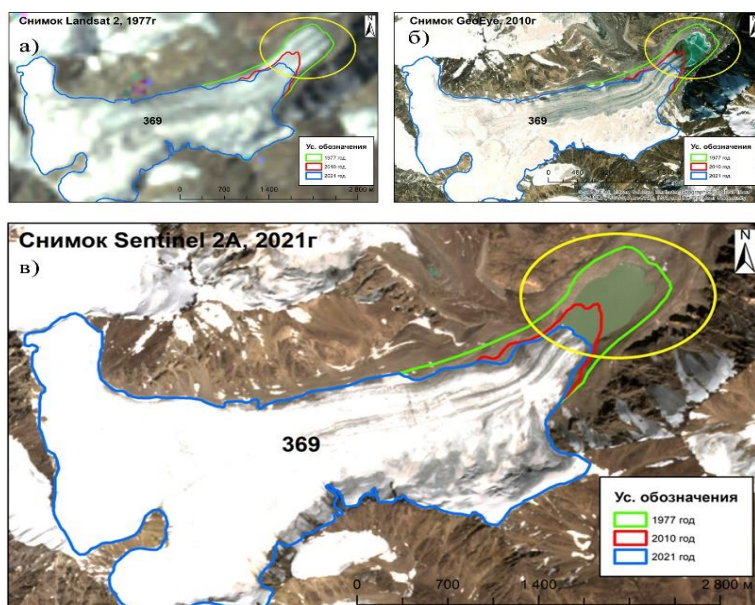
На основе исследования космических снимков, выполненные нами, установлено, что в 1977 году площадь ледников составляла 91,5 км<sup>2</sup>, а в 2021 году она уменьшилась на 4,7 км<sup>2</sup> и составляет уже 86,8 км<sup>2</sup> (рисунок 3.20).



**Рисунок 3.20. - Карта деградации ледников северного склона горы Бакчигир бассейна реки Гунт по данным космических снимков 1977 и 2021 гг. на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM и OpenStreetMap (подготовлена Наврузшоевым Х.Д.)**

У языковой части ледника Бакчигир (№369) образовалось ледниковое озеро, в десятки раз ускорившее его таяние (Рисунок 3.21, 3.22). Языковая часть в период с 1977 по 2021гг. отступила на 845,4 метром, с уменьшением площади

на 0,691 км<sup>2</sup>, а языковая часть ледника Урта-Бакчигир II (№378) отступала на 835м и в данное время находится на поверхности склона горы что также ускоряет его таяние [2-А]



**Рисунок 3.21. - Отступление языковой части ледника Бакчигир (№369) по данным космических снимков 1977 и 2021 гг. [2-А]**

Обычно наличие озера у языковой части, к примеру на леднике Бакчигир, является фактором, провоцирующий откол ледников. Но исследованиями и анализом (1977г.), с использованием Landsat 1977 года, позволили выявить отсутствие озера у языковой части ледника Бакчигир (Рисунок 3.22а, 3.23).

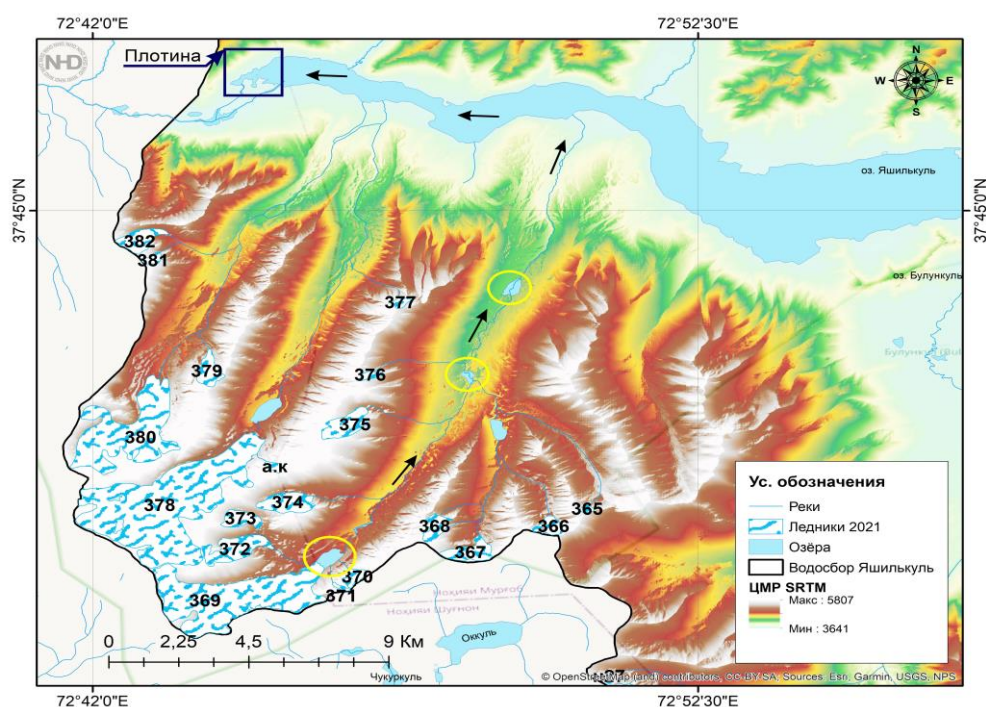
Данные и методика их получения рекомендуются использовать для мониторинга изменений площадей исследуемых ледников, позволяющая б получить однородные данные для сравнительного анализа изменения площади ледника, динамики зеркальной площади наблюдаемых озер, а также реакции ледников различных морфологических типов и экспозиций на современные изменения климата.

Площадь озера у языковой части ледника Бакчигир увеличивается ускоренным темпом, что способствует повышению риска её прорывоопасности. Установлено, что на снимках 1977 года у языковой части ледника Бакчигир озеро не наблюдается. Оно выявлено на снимках 1995-1996гг. Проведенные исследования позволили определить, что площадь озера в 2010 году равнялся 0,214 км<sup>2</sup>, а к 2021 год её площадь увеличилась до 0,294 км<sup>2</sup> (рисунок 3.22).



**Рисунок 3.22. - Состояние языковой части ледников 1- Бакчигир (№369) и 2- Урта – Бакчигир II (фото Google Earth, 2008г)**

В случае прорыва и возникновения селя, до схода в озеро Яшилькуль, может сопровождаться гидродинамической (ударной) волной уже в самом озере, что в свою очередь может спровоцировать прорыв озера и/или разрушение самой плотины (рисунок 3.23).



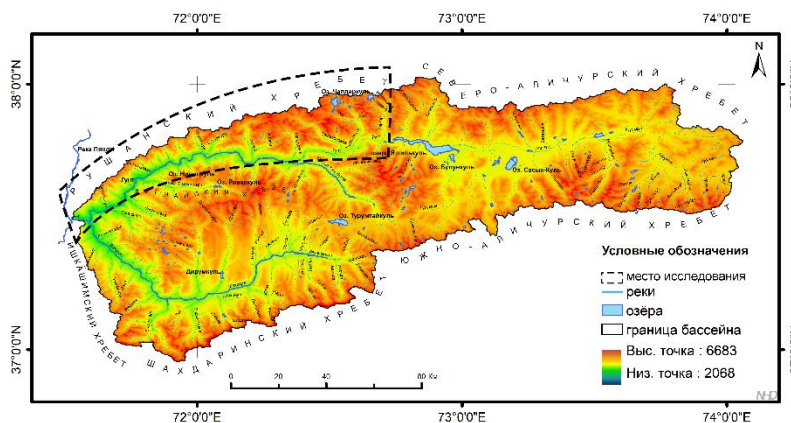
**Рисунок 3.23. Карта ледников северного склона горы Бакчигир и озера Яшилькуль на основе (ЦМР SRTM и OpenStreetMap (подготовлена Наврузшоевым Х.Д.)**

Осуществление мониторинга с применением технологий ДЗЗ позволили установить, 6-деградированных ледников с общей площадью 0,800км<sup>2</sup> на

территории бассейна озеро Яшилькуль, а также установлено что площадь ледников уменьшились на 4,7км<sup>2</sup> (1977 по 2021гг.). На наш взгляд, основными факторами ускоренной деградации ледников стали увеличение температуры воздуха и уменьшение количества атмосферных осадков. На основе полученных результатов рекомендуется: организация постоянного мониторинга, в том числе посредством полевых исследований, не только озера, но также собственно природной плотины; разработать превентивные меры по сбросу излишних расходов воды и регулировать её уровень в озере; разработать комплексный план по управлению возможного возникновения прорыва и образования селея в нижнем бьефе.

### 3.4.2. Исследования и оценка современного состояния ледников южного склона Рушанского хребта

Рушанский хребет имеет длину 120 км (рисунок 3.24), среднюю высоту 5100 м, высшая точка - пик Патхур с высотой 6080 м. Северный склон хребта широкий, расчленен глубокими долинами притоков р. Бартанг. Южный - короткий, круто обрывается к долине р. Гунт. В приводораздельной части рельеф выположенный, расчлененный широкими троговыми долинами, верховья которых и теперь заняты ледниками [114].



**Рисунок 3.24. - Карта бассейна реки Гунт с выделенной территории Рушанского хребта. (Разработана Наврузшоевым Х.Д.)**

На склонах Рушанского хребта существует 737 ледников с общей площадью 653,8 км<sup>2</sup> [114]. Наиболее значительное оледенение находится в районе пиков Патхур и Сафедоб, где на высокоподнятых плоских поверхностях

скапливаются большие массы снега, питающие крупные ледники. К западу и востоку от этого участка размеры ледников уменьшаются. Высота фирновой линии увеличивается от 4400-4600 м в западной части до 4700-4900 м в восточной [114].

По историческим данным на южных склонах Рушанского хребта существуют 185 зарегистрированных ледников ( $>100\text{м}^2$ ) с площадью  $183,9\text{ км}^2$ . В оледенение данного хребта входят два больших ледника Штеклозар и Сафедоб с площадью  $37,7\text{ км}^2$ . В этой местности встречаются почти все типы ледников, но преимущественно обладают долинными ледниками. Экспозиции ледников очень разные. Это говорит о том, что Рушанский хребет имеет значительно большие отроги. Преимущественно здесь встречаются ледники северной экспозиции [1-А].

Для выявления деградированной площади и скорости сокращения ледников южного склона Рушанского хребта анализировались ледники притоков Шазуддара и Сафедобдара, так как в данной местности наблюдается мощное оледенение и встречаются все типы ледников с разными экспозициями (рисунок 3.25).

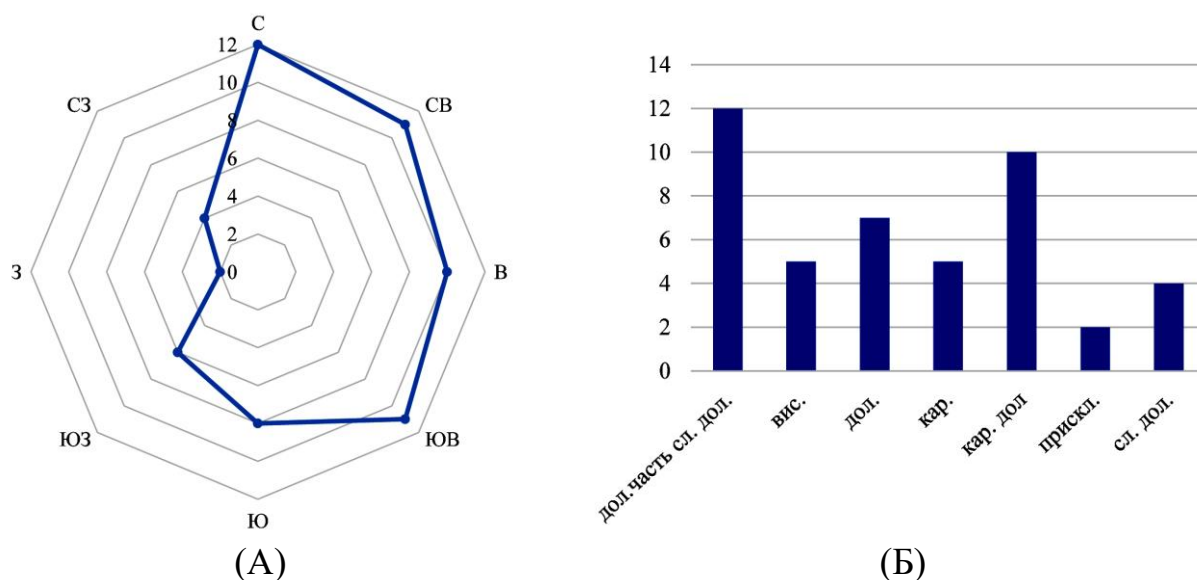


Рисунок 3.25. - А – Экспозиции ледников. Б – Типы ледников

Нами для выявления изменения площади оледенения проанализированы изменения метеорологических параметров в зоне исследований.

Установлено, что самым холодным периодом были 1998-2006 гг., а теплым

период с 2007-2018 гг. За период наблюдения с 1960 по 2018 гг. на территории низовья реки Гунт (ст. Хорог) установлены 2 холодных периода 1964-1969 гг. и 1991-1996 гг., а тёплого продолжительного периода не было.

Среднегодовая сумма осадков в верховьях реки - 100 мм, самым влажным годом был 1965 год, с суммой осадков 215 мм, а в сухом году - 40 мм. По сравнению с восточной частью верховья реки Гунт, её низовье более увлажнённое, с среднегодовой суммой осадков - 287 мм. Самым сухим годом был 1971 год (97,7 мм), а увлажнённым 1969 год (603,8 мм).

Выявлено, что на территории верховья реки, за период с 1960-2018 гг., наблюдается незначительный рост температуры на 0,43°C (Булункуль) а в низовьях рост составил 0,85°C (Хорог).

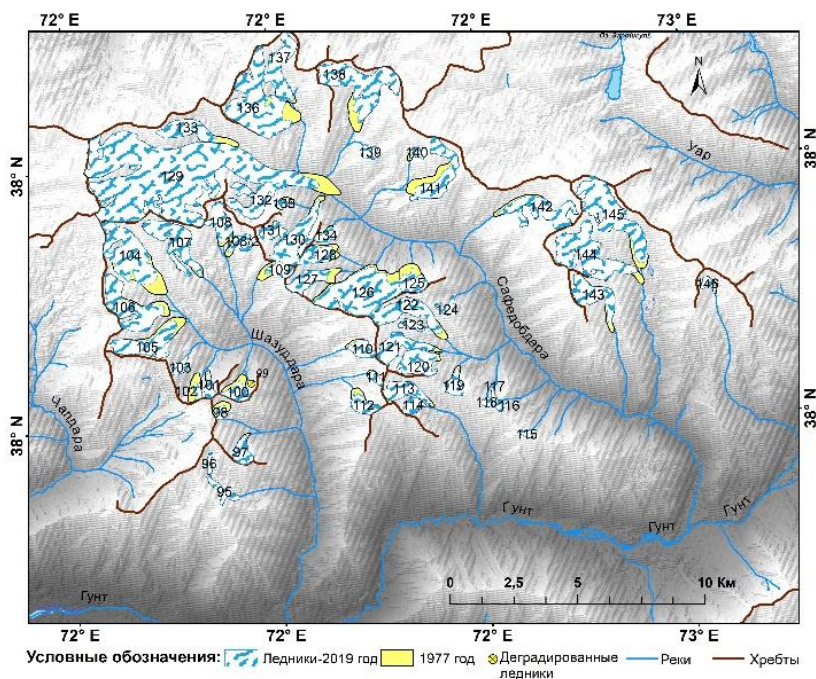
Вторым климатическим компонентом негативно влияющий на оледенение, является уменьшение за длительное время атмосферных осадков. Установлено, что на территории Булункуля наблюдается уменьшение количества осадков на 2,45 мм или 2,5%, а в низовьях реки на 12,33 мм или на 4,30% (Хорог).

Относительно ледников в притоках рек Шазуддара и Сафедобдара бассейна реки Гунт, следует отметить, что здесь Гунт зафиксированы 51 ледника (каждая площадью больше 0,1 км<sup>2</sup>) площадь которых составляет 65 км<sup>2</sup>. Обработка спутниковых снимков, позволила установить размер отступления языковых частей ледников за период с 1977 по 2019 гг. (Рисунок 3.26).

При верификации ледников бассейна реки Гунт по космическим снимкам 2019 года на южном склоне Рушанского хребта обнаружены 3 деградированных ледников под номерами 6, 12 и 99 общая площадь которых составлял 0,400 км<sup>2</sup> (без учёта ледников площадью меньше 0,1 км<sup>2</sup>).

На основе исследований космических снимков позволили установить, что в 1977 году площадь ледников составляла 74,571 км<sup>2</sup>, а в 2000 году эта площадь по сравнению с 1977 годом, уменьшилась 5,269 км<sup>2</sup> и на был равна 69,302 км<sup>2</sup>. К 2019 году площадь ледников данного бассейна составила 67,357 км<sup>2</sup>, что сократилось на 1,945 км<sup>2</sup> (рисунок 3.26). Таким образом за период с 1977 по 2019 гг. ледники данных притоков сократились на 7,214 км<sup>2</sup> или на 9.7%.

За 23 года в период 1977-2000 гг., площадь оледенения сократилось на 5,269 км<sup>2</sup>, что ежегодно это сокращение составляет 0,229км<sup>2</sup>/год. По анализу второго периода с 2000 по 2019 гг. сокращение площади оледенения составляет 1,945км<sup>2</sup> или 0,102 км<sup>2</sup>/год. Данные изменения связаны с повышением температуры воздуха и сокращение суммы твердых атмосферных осадков [1-А].



**Рисунок 3.26. - Карта деградации ледников притока реки Шазуддара и реки Сафедобдара бассейна Гунт по данным космических снимков 1977, 2000 и 2019 гг.**

По метеорологическим данным с 2000 по 2018гг. наблюдался значительный рост температуры. В частности за период 1960-2007 рост составил 0,43°С, а в низовьях реки, за 59 лет он составил 0,85°С [120].

Полученные результаты аналогичны работам Г.А. Носенко, Т.Е. Хромова, О.В. Рототаева М.В. Шахгеданова [121], М.Д.Ананичева, Г.А. Капустин [122], Л.В.Десинов, В.Г. Коновалов [123], М.Д. Ананичева, Г.А. Капустин [124], Р.А. Тавасиев [125], М.М. Адаменко, Я.М. Гутак [126].

Касательно оледенения южного склона Рушанского хребта, следует отметить что по данным каталога СССР [1-А] оно составляло 65 км<sup>2</sup>, что на 9,571 км<sup>2</sup> меньше данных установленных по космическим снимкам 1977 г (таблица 3.5). Из-за того, что погрешность расчёта площади ледников по космическим снимкам обычно составляет ± 10,5%, а данные в каталоге приведены с точностью до десятых долей, то естественен разность итоговых данных.



**Таблица 3.5. Изменение площади оледенения**

Снимки	Год	Площадь, км <sup>2</sup>	Разница, км <sup>2</sup>
Аэрофотоснимки	1946	65	-
Landsat 2	1977	74,571	9,571 > данных 1946 г.
Landsat 7	2000	69,302	5,269 < данных 1977 г.
Sentinel 2A	2019	67,357	1,945 < данных 2000 г.

Впервые после каталогизации ледников СССР [56] нами выполнена оценка состояния ледников малоизученного и труднодоступного района Рушанского хребта. На основе данных дистанционного зондирования, полученных с борта космического аппарата Landsat 1977 года при помощи специальной съёмочной аппаратуры и сравнения их с данными спутника Sentinel 2A и данными Каталога ледников СССР, оценены изменения площади ледников с 1977 по 2019 гг. Наибольшую площадь за это время потеряли долинные ледники. К 2019 г. оледенение южного склона Рушанского хребта с 1977 г. уменьшилось примерно на 9,7%.

Выявлено, что на исследуемой территории происходит повышение температуры воздуха и уменьшение количества осадков от 2 до 4%. Установлено, что повышение температуры и сокращение осадков привело к отступанию языковых частей ледников южного склона Рушанского хребта.

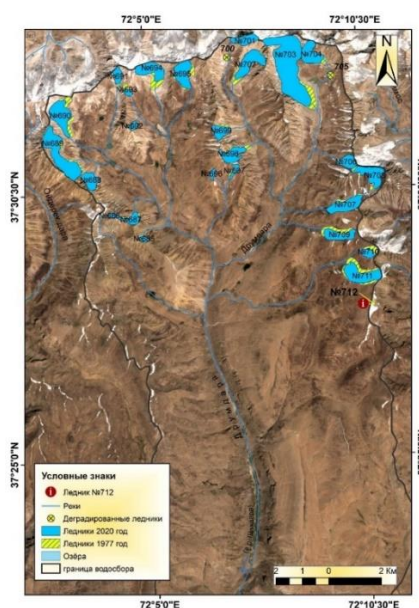
Установлено, также, что за период космических исследований с 1977 по 2019 годы языки ледников отступили до 607 метров или 13,2 м ежегодно [1-А].

### **3.4.3. Исследования и оценка современного состояния ледников притока Друмдара**

Река Друмдара находится в 65 км от города Хорога и 50 км от села Джавшангоз. Река Друмдара – правый приток Шахдары – формирует сток в ледниковом бассейне южного склона Шугнанского хребта и является одним из больших долин бассейна реки Гунт протяженностью с юга на север в 38,2 км. Площадь водосбора Друмдара составляет 299 км<sup>2</sup>, со средним уклоном 45,4 %. Основным источником питания реки Друмдары, являются талые воды ледников, сезонные снега и подземные воды. В данном бассейне находятся 28 ледников с общей площадью 10,5 км<sup>2</sup>. С преобладанием северной экспозиции, в тоже время наличие малых отрогов создают условия существования ледников южных и других экспозиций [56].

Ледниковая зона в бассейне реки Друмдара начинается с высоты 4660 метров, а высшая точка отдельных ледников превышает отметку 5400 м. По данным Каталога ледников СССР [56] в 1977 г в бассейне Друмдара были включены 28 ледников с общей площадью 10,5 км<sup>2</sup>. В 2020 году при обработке космических снимков нами были выявлены 25 ледников. В 2020 году были выявлены деградированные двух ледников, т.е. №700 и №705.

Следует отметить, что ледник №712, который находится за хребтом бассейна реки Друмдара, на пологом месте внесённый в Каталог ледников СССР, при детальном дешифровании нами был исключён, так как он находится за хребтом (рисунок 3.27), что подтверждено в ходе экспедиционных работ. Ледник №712 расположен в бассейне реки Нимос. Таким образом в бассейне реки Друмдара в 2020 году расположены 25 ледников.



**Рисунок 3.27. - Карта ледников бассейна реки Друмдара по данным космических снимков 1977 и 2020 гг.**

Площадь ледников бассейна Друмдара в 1977 составляла 11,8 км<sup>2</sup>, а в 2020 этот показатель был равен 10,5 км<sup>2</sup>, что на 1,28 км<sup>2</sup> меньше чем в 1977 году, за исключением ледника №712. В бассейне данной реки располагаются малые ледники площадью меньше 1 км<sup>2</sup> и только два ледника с площадью более 1 км<sup>2</sup>. Установлено, что ледники притока Друмдара за период с 1977 по 2020 гг. потеряли 1,28 км<sup>2</sup> или 10,9% своей площади и языковые части больших ледников в среднем отступали на 260 метров, с ежегодным сокращением до 10,8 м [9-А].

### 3.4.4. Исследования и оценка динамики оледенения бассейна реки Токузбулак (1970 по 2020 гг.)

Река Токузбулак вторая по величине река длиной 62 км, бассейна реки Гунт с площадью 1110 км<sup>2</sup>, является левым её притоком и вытекает из южной части оз. Аккуль, расположенного на южном склоне Бакчигирского хребта на абсолютной высоте 4485 м. В верховьях на протяжении первых 15 км, река протекает по широкой ледниковой долине в южном направлении, через ряд озер со средним падением русла 33 м/км. Описав дугу и изменив направление течения на северо- западное, река принимает слева р. Южный Токузбулак, вытекающую из восточной части оз. Турумтайкуль. Далее долина реки суживается, переходя местами в глубокое ущелье; уклоны русла увеличиваются; в пойме, там, где выклиниваются грунтовые воды, появляется кустарниковая и древесная растительность - ивняки, тополь. В районе пос. Джиланды долина Токузбулака расширяется, с многочисленными выходами серных термальных источников. Ниже этого поселка водность реки увеличивается, а русло расширяется до 18 м [56].

Автором с использованием цифровой модели рельефа (ЦМР) высотности, была разработана карта (рисунок 3.28). Бассейн реки Токузбулак выделен красным цветом.

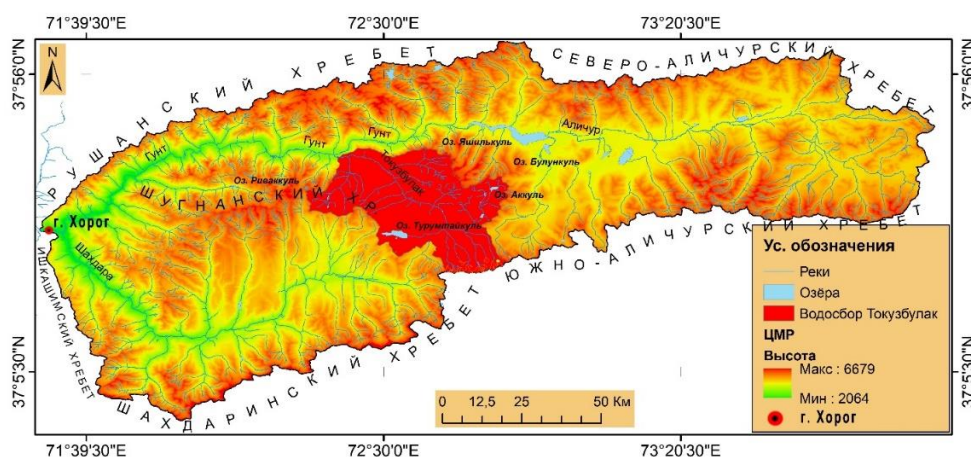


Рисунок 3.28. - Расположение реки Токузбулак на карте бассейна реки Гунт.

Карта подготовлена Наврузшоевым Х.Д.

«Зона формирования (верховья) реки Токузбулак («Девять родников») расположена на 140 км от г. Хорога - административного центра Горно-

Бадахшанской автономной области (ГБАО) и является «переходной зоной» между Западным и Восточным Памиром. Долинная часть реки расположена на высоте 4271 м, а гребни хребтов поднимаются до 6700 м над ур.м. Этот регион является отгонным пастбищем для сельскохозяйственных животных Шугнанского, Рошткалинского и Ишкашимского районов. Общая площадь этого региона насчитывает около 42840 га, горы и озера здесь занимают около 14045 га, а пастбищные угодья составляют 28495 га» [127].

Проблемы связанные с кризисом в экономике в конце XX века, вынудили местное население Западного Памира массово вырубать лесные и плодовые насаждения, облепиховые плантации, в том числе и особо редкие исчезающие породы деревьев [128]. Естественно это отрицательно отразилось на условия формирования водных ресурсов.

Бассейн реки Токузбулак очень богат геотермальными источниками (Таблица 3.6). Здесь, в частности в поселке Джелонди, на базе источников созданы государственные и частные лечебные центры.

**Таблица 3.6. - Геотермальные источники на реке Токузбулак [129]**

№	Источник, скважина	Температура, С°	Дебит, л/с	Ресурсы тепло- и электроэнергии			
				Ккал/сек	Гкал/год	кВт.ч/сек	млн. кВт.ч/год
Памир							
1.	Джиланды	67,5	5,60	294,00	9271,58	0,342	10,78
2.	Токузбулак	66	2,00	102,00	3216,67	0,119	3,74
3.	Койтезак	33	1,50	27,00	851,47	0,031	0,99
<b>Сумма</b>				<b>423,0</b>	<b>13339,99</b>	<b>0,492</b>	<b>15,51</b>

Метеорологические данные для анализа и сравнения с другими областями бассейна реки Гунт включали в себя алгоритм интерполяции данных автоматизированных станций всего мира располагающие данными температуры воздуха (рисунок 3.29), атмосферных осадков (рисунок 3.30), суточного диапазона температур, а также атмосферное давление [130].

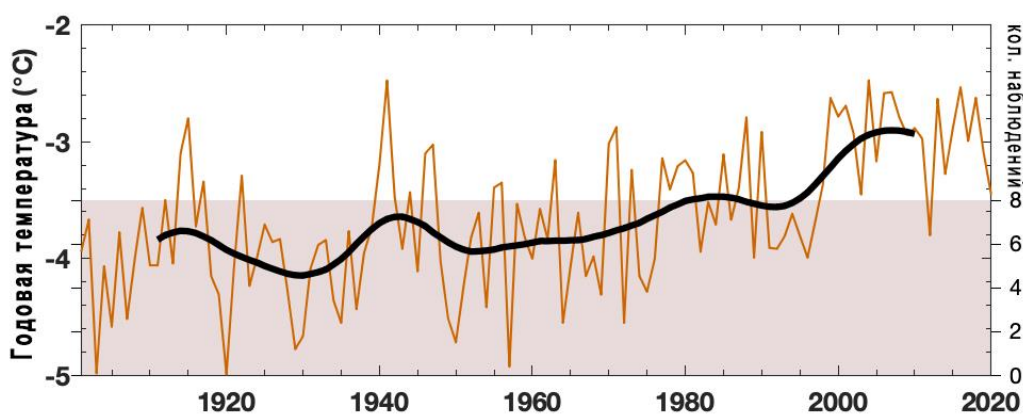


Рисунок 3.29. - Температура воздуха в верховье реки Токузбулак

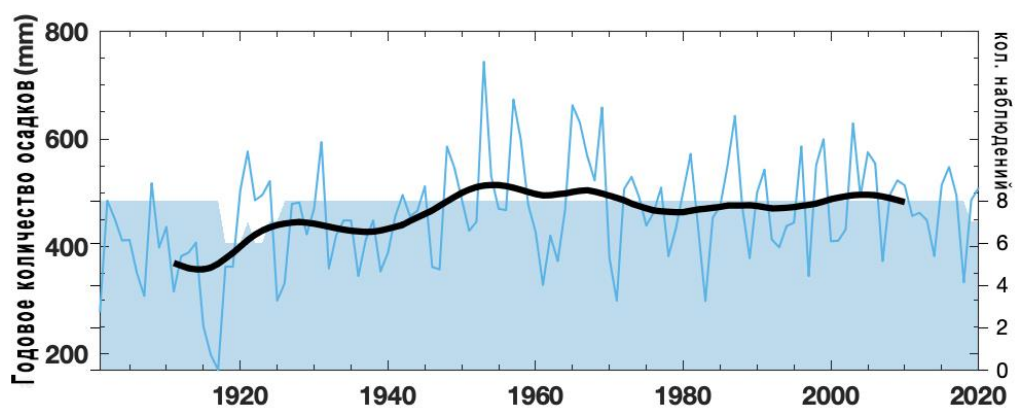


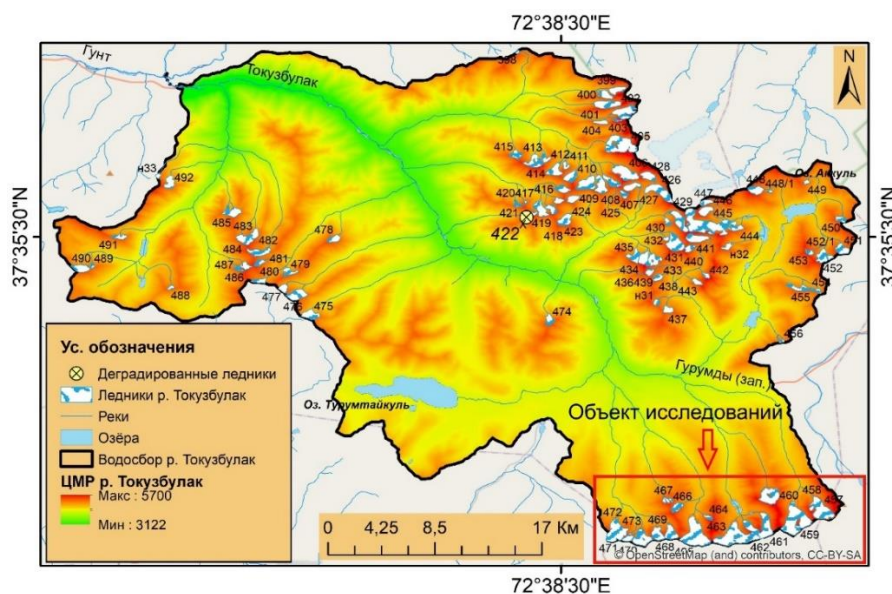
Рисунок 3.30. - Атмосферные осадки в верховье реки Токузбулак

Единичные измерения стока произведенные А.О. Кемерихом 10 августа 1967 г., на реке Токузбулак у пос. Джиланды показали, что сток реки невелик и составляет всего  $8,53 \text{ м}^3/\text{сек}$ , что соответствует модулю стока  $14 \text{ л/сек км}^2$ . Низкий сток Токузбулака связан с тем, что значительная часть бассейна реки находится в пределах Восточного Памира, с незначительным выпадением осадков, а также зарегулированностью стока озерами Турумтайкуль и Аккуль [63].

Относительно снежного покрова в этой зоне следует отметить, что в долине реки Токузбулак, до 90-ых годов прошлого столетия функционировали несколько снегомерных пунктов, установленные в верховьях реки на высотах 3600-3900 м. Результаты снегосъемок, в долине, указывали на значительную высоту снежного покрова, достигающую в среднем 40-50 см, а в отдельных местах до 120 см [56].

В бассейне реки Токузбулак находятся 94 ледника (№398-492) с общей площадью  $50,3 \text{ км}^2$ .

На основе данных Каталога ледников СССР [56], нами подготовлена карта данной территории с указанием ледников (рисунок 3.31).



**Рисунок 3.31. - Карта водосбора реки Токузбулак**

На северном склоне Южно-Аличурского хребта расположены 131 ледника, 10 из которых с площадью от 1 до 3 км<sup>2</sup>. Присутствуют также долинные и карово-долинные ледники (около 49% от общей площади оледенения) с короткими языками, оканчивающиеся выше отметки 4660 м. Но наиболее многочисленны мелкие склоновые ледники (51% ) [56]. Для выявления деградированной площади ледников бассейна реки Токузбулак были выбраны ледники северного склона Южно-Аличурского хребта (№457-472) (рисунок 3.31).

Основопологающей задачей регионального спутникового мониторинга является одновременная оценка текущего состояния оледенения в пределах речных бассейнов, ранее выделенных в Глобальном Каталоге WGMS и сравнение морфометрических параметров с аналогичными предыдущими данными [60].

«Картографирование и анализ динамики ледников также входит в перечень важнейших задач космического мониторинга снежно-ледовых объектов суши. Для дешифрирования ледников в основном используется синтез каналов *SWIR-NIR-RED*, позволяющего отображать ледники ярко-голубым цветом с четкими границами, предоставляющие возможность с высокой точностью очертить границы ледников как в ручном режиме, так и в автоматическом, используя при

этом, ГИС программы. Горным ледникам характерны наличие двух зон: зона питания (выше снеговой линии, где накопление снега и льда превышает его потери на таяние и испарение, аккумуляция) и зона абляции (ниже снеговой линии, где потери снега и льда превышают объем накопления). На снимках во вторую половину лета и начало осени, оптимальные для изучения ледников периоды, зоны выделяются очень четко» [75].

Для ручного вычисления размеров деградированной площади за анализируемый период принимались космические снимки со спутников Landsat и Sentinel 2A, а для проверки точности проведенных границ использовались снимки высокого разрешения базы данных ArcMap Online.

Для автоматической идентификации границ и вычисления площади ледников использовались стандартизированные методики Нормализованный относительный индекс снежного покрова *NDSI* (*Normalized Difference Snow Index*) и Нормализованный относительный индекс ледника *NDGI* (*Normalized Difference Glacier Index*) с целью идентификации снежного покрова и ледники при игнорировании облачного покрова по формулам [131, 132]:

$$NDSI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR) \quad (3.3)$$

Для снимков Sentinel 2 MSI:

$$NDSI (Sentinel 2 MSI): Green=B3, SWIR=B11$$

$$NDSI = \frac{B2-B11}{B2+B11};$$

Для снимков Sentinel 2 MSI:

$$NDGI = (NIR-Green)/(NIR+Green) \quad (3.4)$$

$$NDGI (Sentinel 2 MSI): NIR=B3, Green=B4$$

$$NDGI = \frac{B3-B4}{B3+B4};$$

Здесь:

Green = значения пикселей из зеленого канала;

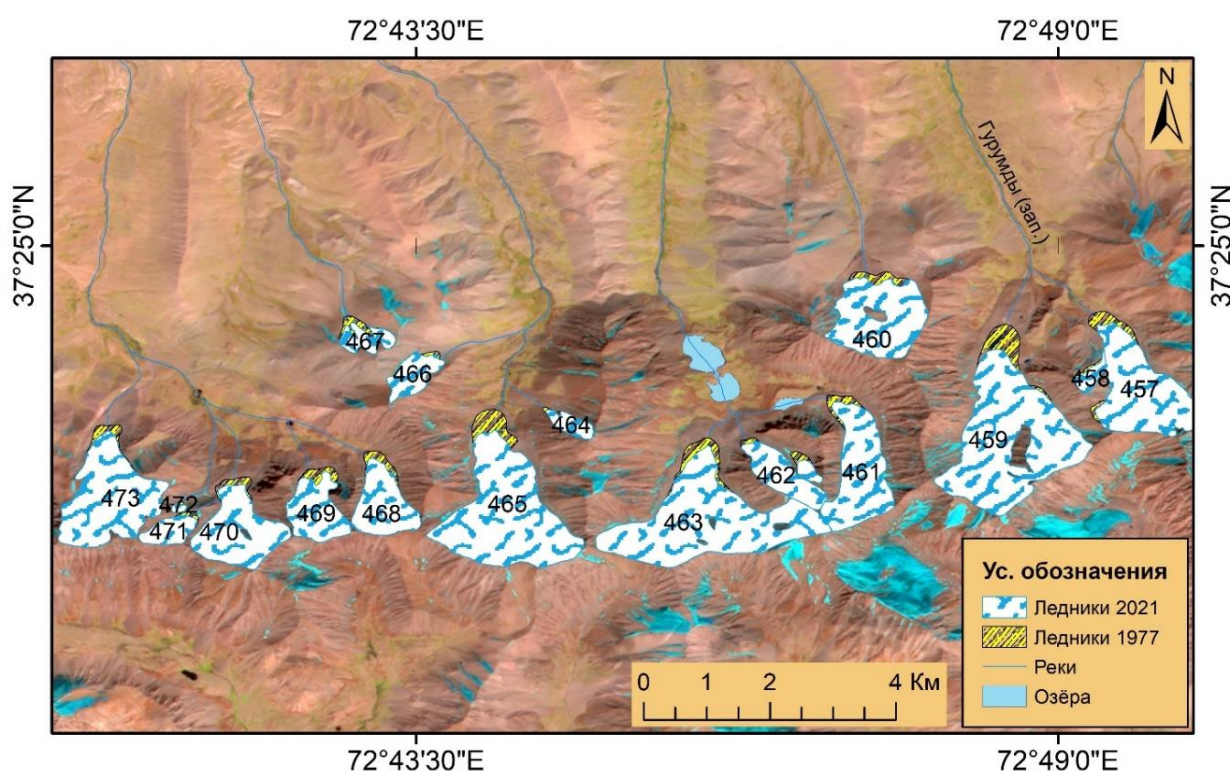
SWIR = значения пикселей из коротковолнового инфракрасного канала.

NIR = ближний инфракрасный диапазон.

В ходе полевых работ выполненных в 2020 и 2021 годах отступление ледника за год определялось с помощью GPS Garmin 60CSx, нарисованная треком и снятыми точками языковой части ледника №457.

Полученные данные являются результатами современных наблюдений ледников бассейна реки Гунт, приведенные в Каталоге ледников СССР [54].

Исследованиями установлено, что за период (1977- 2021 гг.) ледники северного склона Южно-Аличурского хребта, питающие реку Токузбулак потеряли 1,4 км<sup>2</sup> (8,3 %) своей площади (рисунок 3.32), а ледник №422 деградировал полностью.



**Рисунок 3.32. - Отступление языковых частей ледников северного склона Южно-Аличурского хребта**

В процессе полевых работ, выполненных в 2020 года, у языковой части ледника № 459 нами было выявлено отсутствующее на космических снимках 1977 года и в Каталоге ледников СССР образовавшееся озеро (рисунок 3.33) с площадью 19941 м<sup>2</sup>, который был выявлен на онлайн платформах, соответствующие данным 1990 годов. Образовавшееся озеро ускорило таяние ледника, при этом, сокращение составило 405 метрам, что является наибольшим сокращением среди исследованных ледников. Фронтальная морена ледника



очень велика и своим морфологическими характеристиками и на его ложе, при отступании, образовалась зона место для образования выявленного озера в языковой части ледника № 459.

Установлено, что поверхность ледника с правой части около языка покрыта мореной, которая при дешифрировании космических снимков и анализа снимков разных ГИС платформ не считается как часть ледника.

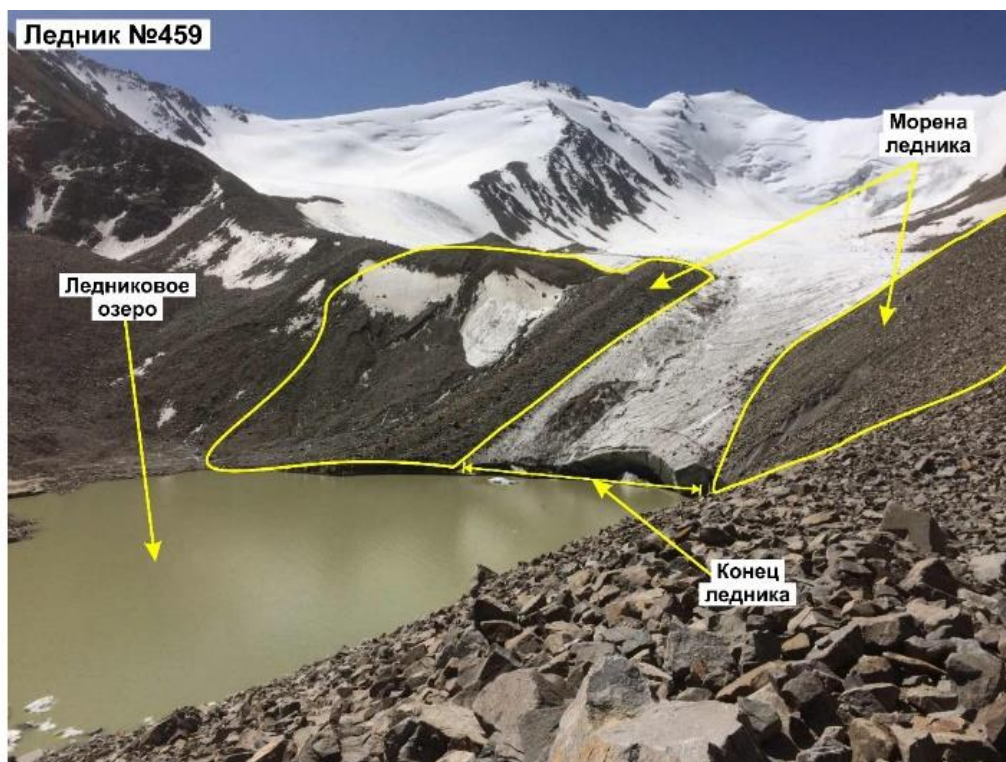
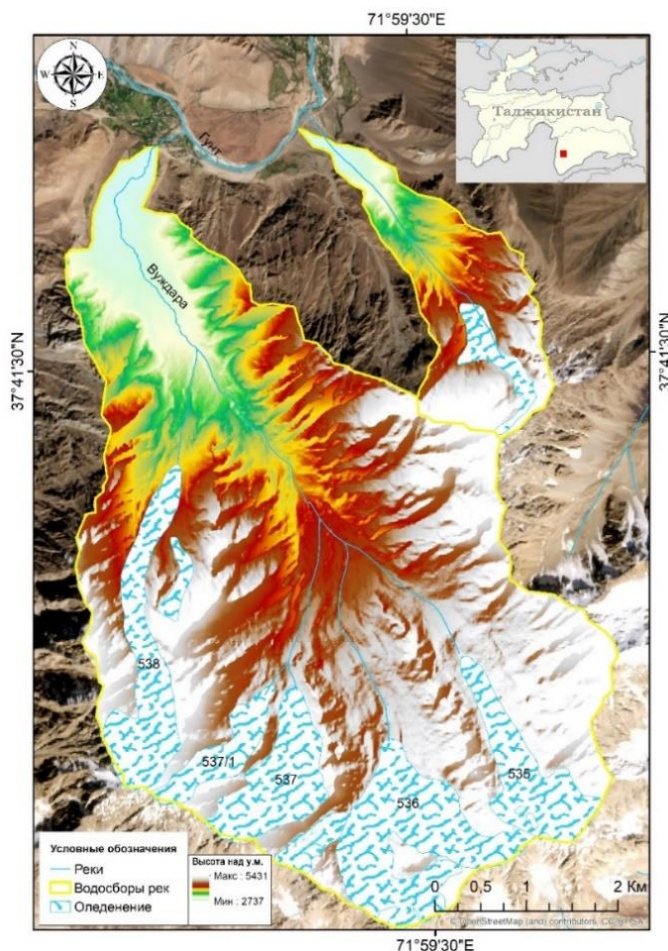


Рисунок 3.33. - Озеро у языковой части ледника №459. Фото Наврузшоева Х.Д.

Река Вуждара левый приток реки Гунт (Длина - 8,2 км, площадь водобора - 29,7 км<sup>2</sup>) расположена на 55 км от города Хорога. Исток реки на высоте 4400 м над у. м. от ледников № 535-537 и впадает в реку Гунт у кишлака Вуж расположенная на высоте 2717 м над у. м.

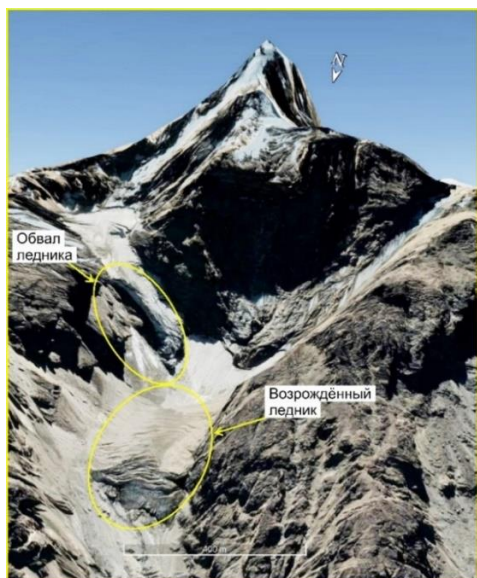
Оледенение Вуждары развито не очень сильно и в её верховьях находятся 3 ледника с общей площадью 4,1 км<sup>2</sup> [56]. Здесь же расположен пульсирующий ледник № 538 (0,8 км<sup>2</sup>) русло реки которой, в Каталоге ледников СССР проведена прямо к главной реке Гунта. Но на основе современных данных ДЗЗ позволили нам определить притоки всех ледников и выявить, что данный ледник тоже находится в долине Вуждара. По данным ДЗЗ 2020 года в верховье Вуждара находятся 6 ледников (> 0,1 км<sup>2</sup>) с площадью 6,3 км<sup>2</sup>. Сложно - долинный ледник

№ 537 разделился на две части (рисунок 3.34) и сейчас состоит из двух долинных ледников, которые нумерованы как 537 и 537/1.



**Рисунок 3.34. - Водосборы рек с высотным рельефом местности с указанием оледенения подготовленная Наврузшоевым Х.Д.**

При дешифрировании ледников бассейна реки Гунт с правой стороны от долины Вуждара внутри цирка хребтов идентифицирован ещё один висячий ледник с расколенной языковой частью (0,345 км<sup>2</sup>). Ледника можно виден невооружённым глазом с главной автодороги Памирского тракта М-41. Данный ледник, представляет опасность, для окружающей территории, заключающийся в том, что при ледопаде происходит удар по нижележащей части уже образовавшего возрождённого ледника [133] ведущий к обрушению части ледника и он вместе с обломочным материалом будет двигаться вниз по долине разрушая международную автомобильную дорогу (рисунок 3.35). Камнепады в свою очередь могут перекрыть русло реки Гунт и образовать озеро, которое может затопить жилые дома, находящиеся выше по течению.



(А)

(Б)

**Рисунок 3.35. - Идентифицированный висячий ледник.**

**А - Фото Google Earth 2021 года, Б – фотография автора [10-А]**

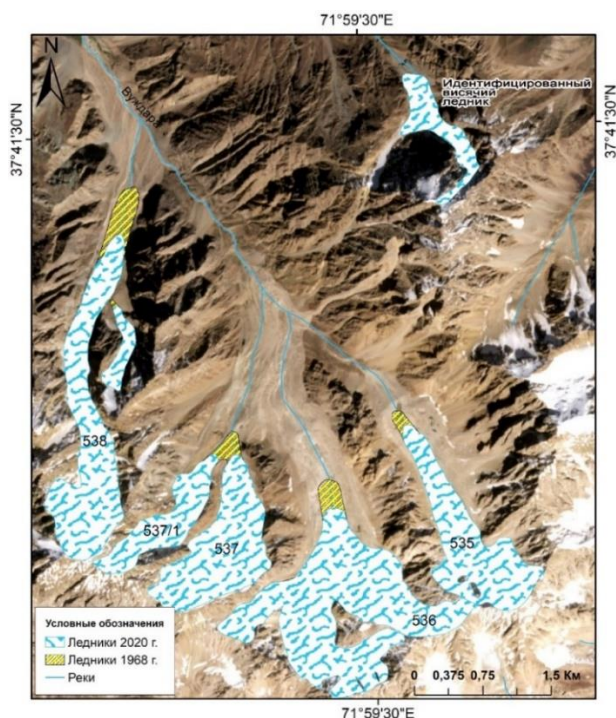
Следует отметить что данный ледник отсутствует в Каталоге ледников СССР, связанное видимо из-за расположение склона который не был идентифицирован при облёте и на аэрофотоснимках. Ещё один фактор который затрудняет его идентификацию - это покрытие его поверхности обломочным материалам лавин, камнепадов и ледопадов. Однако при геодезических съемах которые были произведены с целью создания топографических карт местности данный ледник был идентифицирован и добавлен на топокарту.

Ледники № 526 и 538 являются пульсирующими [134] и ледопады внутри этих ледников очень заметны на космических снимках, например, зигзагообразные гряды морен, фотографируя которых можно судить об основных чертах поведения пульсирующих ледников. Как известно, ледниковые пульсации имеют периодический характер и обусловлены динамической неустойчивостью самих ледниковых систем. Периодические автоколебания ледников приводят к скачкообразному перераспределению вещества без изменения его общей массы [38].

Для оценки современного состояния и динамики ледников верховье реки Вуждара были использованы спутниковые снимки разного пространственного разрешения в период с 1968 по 2020 гг. Пространственное разрешение

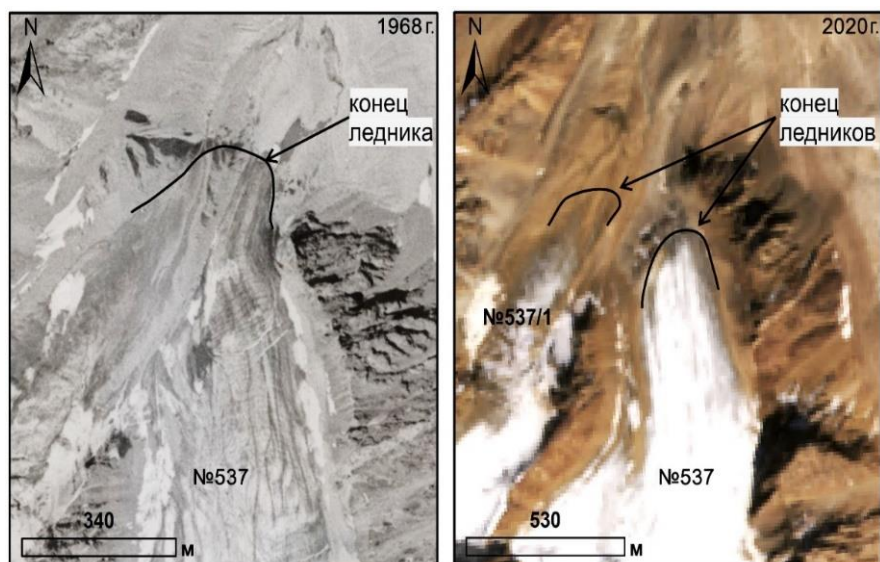
использованных снимков со спутника CORONA KH-4B составляет 2 метра (1968 г), со спутника LANDSAT 7 ETM+ с применением комбинации каналов с привлечением панхроматического канала 15 метров (2000 г) [2-А] и со спутника Sentinel 2A с разрешением 10 метров (2020 г). Указанные снимки переводились к единой координатой системе WGS 1984 UTM Zone 43N, анализировались в программе ArcMap 10.5 и использовались для расчёта изменения площадей открытых частей ледников и оценки положения их концов в период с 1968 и 2020 гг. Контуры ледников обрабатывались вручную с привлечением контура ледников базы GLIMS.

Результаты исследований и обработки космических снимков позволили установить, что в 1968 году площадь ледников изучаемой местности составляла 7 км<sup>2</sup>, а в 2020 году данная площадь уменьшилась на 0,329 км<sup>2</sup> (↓4,9 %) и составляет 6,67 км<sup>2</sup> (с учётом идентифицированного ледника) (рисунок 3.36). В 2000 году площадь данных ледников составляла 6,8 км<sup>2</sup>.



**Рисунок 3.36. - Деградация ледников верховье р. Вуждара в период с 1968 по 2020 гг.**

По данным космического снимка высокого разрешения 1968 года со спутника CORONA KH-4B ледник № 537 не отчленён на части, а на снимках со спутника Sentinel 2A 2020 в результате отступление его языковой части ледник разделён на две части (рисунок 3.36, 3.37).



**Рисунок 3.37. - Деградация ледников верховье р. Вуждара  
в период с 1968 по 2020 гг. [10-А]**

Пульсирующий ледник № 538 в период наблюдений отступил на 534 метров, а его площадь сократилась на 0,149 км<sup>2</sup>, также за этот период резких подвижек не наблюдается. Идентифицированный висячий ледник в соседнем притоке справа от долины Вуждара является очень опасным и его обвал может привести к серьёзным последствиям и ущербам социального и экономического характера. Стоит отметить, что данный ледник в период наблюдений не менялся и его языковая часть находится на очень неблагоприятном месте, после которого начинается обрыв с высотой падения 150 метров. Полученные результаты ещё раз позволили подтвердить факт ускоренной деградации и обвали ледников, а также отступление их языковых частей что для ледника № 538 притока Вуждары составляет более 500 метров. Выявлено что за период исследований площадь оледенения притока Вуждары сократилась на 4,9 % что привело к большими изменениями в структуре оледенения верховье этой реки.

С учетом опасности данного ледника, на наш взгляд, необходимо мероприятия по превентивному снижению уровня риска ледопада до начало капитальной реабилитации автомобильной дороги Душанбе - Кульма являющаяся частью международной автомагистрали соединяющей Таджикистан с Китаем и Кыргызстаном и имеющей для нашей республики очень важное экономическое и стратегическое значение.

### **Выводы по третьей главе**

На территории бассейна реки Гунт были проведены следующие гляциологические работы и сделаны соответствующие выводы:

1. Прямым гляциологическим предающимся методом, для изучения ледников был получен баланс массы ледника №457.

2. Произведена съемка с целью последующего вычисления геодезического баланса массы ледника.

3. На протяжении трех лет были реализованы полевые работы для оценки состояния ледников современными и классическими методами, а также собран большой фотоматериал для сравнительных анализов и оценок.

4. Современными методами дистанционного зондирования с использованием космических снимков, были анализированы все ледники бассейна реки Гунт, рассчитана их деградация с начала 1970 годов, по настоящее время.

5. Выявлены опасные объекты создающие риски стихийных бедствий бассейна реки Гунт и рекомендовано разработать превентивные меры для смягчения и предотвращения риска их возникновения.

6. Обоснованы применение современных технологий и дистанционное зондирование Земли удобные в использовании и дающие возможность получить данные о труднодоступных зонах бассейна реки Гунт а также возможность получения снимков разного разрешения и т.д.

7. Отмечено, что полевые данные, собранные в ходе экспедиционных работ, остаются очень важными составляющими исследований, существенно дополняющие и повышающие уровень достоверности полученных результатов, для ввода в современные модели расчета и прогнозирования деградации ледников.

## **Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОРЫВООПАСНЫХ ГОРНЫХ ОЗЁР БАССЕЙНА РЕКИ ГУНТ**

Прорывы горных и ледниковых озер, представляющие серьезную природную, экологическую и гидрологическую опасность, характерны для многих высокогорных регионов мира, в том числе и для Республики Таджикистан (РТ).

В Таджикистане насчитывается 1449 озер общей площадью 716 км<sup>2</sup>, 80 % из которых находятся в горных и высокогорных районах, на абсолютных высотах 2300–5100 м н.у.м.

В странах Центральной Азии, в том числе и в РТ, наряду с освоением горно-предгорных зон, строятся и эксплуатируются автомобильные дороги международного, стратегического значения, подверженные рискам стихийных бедствий, связанных с водой и другим опасным природным явлениям. Следовательно, при проектировании этих объектов необходимо учитывать зоны вероятного схода лавин, селей, паводков и возникновения других стихийных бедствий. Одним из опасных и разрушительных явлений в высокогорной зоне считаются прорывы высокогорных озер.

### **4.1. Анализ и оценка состояния прорывоопасных озёр бассейна реки Гунт**

Исследования распространения высокогорных гляциальных озер в верховьях р. Амударья, в том числе бассейна реки Гунт, в основном организованы для защиты территории и поселений, подверженных воздействию стихийных бедствий, связанных с прорывами горных озер. В общей системе объектов воспринимающими влияние последствий прорыва озер являются ГЭС, созданные на территории бассейна р. Гунт, а также город Хорог – столица Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО) РТ [135].

Необходимо констатировать, что проявления подобных рисков стихийных бедствий во многом сдерживают развитие гидроэнергетики в высокогорных зонах. В частности, построенные в русле р. Гунт две большие ГЭС («Памир-1» и «Хорог»), обеспечивающие ГБАО электроэнергией, также

подвержены опасным гидрологическим процессам и требуют постоянного мониторинга и обеспечения безопасной эксплуатации этих жизненно важных для экономики ГБАО объектов.

Следует отметить, что для территории Памира характерно возникновение селепроявлений, 22 % которых составляют гляциальные сели, отличающиеся, наиболее разрушительными последствиями [53].

Селевые потоки и прорывные паводки также являются потенциально опасными источниками, приводящими к значительному, невосполнимому ущербу социального и экономического характера, и нередко, к сожалению, нередко сопровождаются человеческими жертвами.

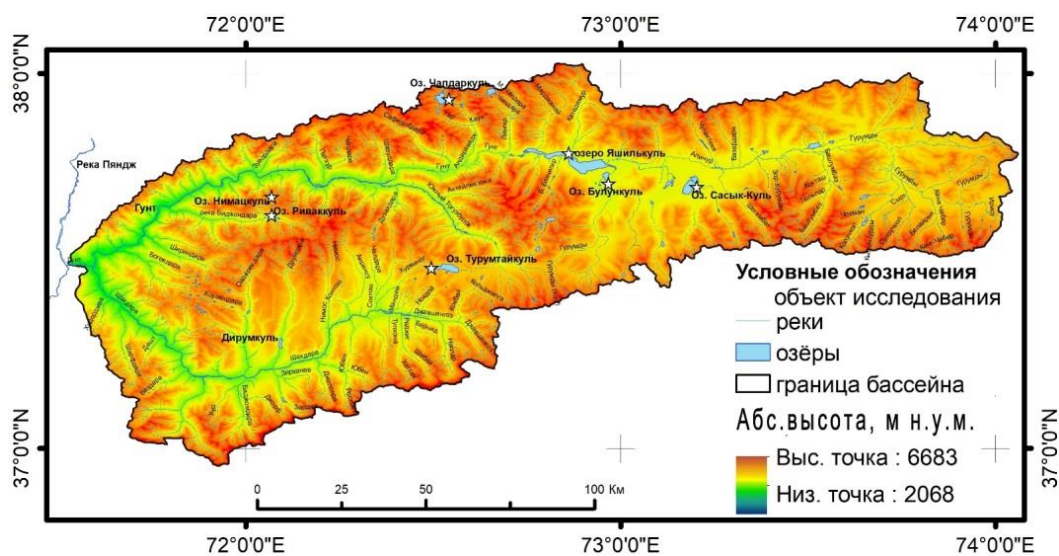
«В бассейне реки Гунт существуют более 270 озер, с площадью 90 км<sup>2</sup>, при озерности всего 0,7%. Основные озера, преимущественно ледникового происхождения, сосредоточены в бассейне реки Гунт ниже устья Аличура - 120 озер общей площадью 67,83 км<sup>2</sup>, а 103 озера, занимающие площадь всего 6,39 км<sup>2</sup>, - расположены в бассейне Шахдары. Самое крупное из них оз. Яшилькуль (35,6 км<sup>2</sup>) - завального происхождения, являющийся истоком реки Гунт. В бассейне Аличура 48 озер площадью 15,7 км<sup>2</sup>, в том числе горько-соленое бессточное оз. Сасыккуль (8,9 км<sup>2</sup>)» [63].

Естественно в современных 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.

Использование технологии дистанционного зондирования представляет собой наиболее оптимальный и целесообразный метод проведения исследований в труднодоступных высокогорных зонах, каковым является также и бассейн реки Гунт, обеспечивающий возможность комплексной оценки опасности на значительных по площади территориях. Проблема исследования горных озер в значительной степени актуальна для территорий, заселенных по речным долинам [136, 137].



На основе существующих фондовых материалов, а также с использованием собственных исследований, нами впервые разработана карта горных озер бассейна реки Гунт (рисунок 4.1).



**Рисунок 4.1. - Карта горных озер бассейна реки Гунт.**

**(Разработал Наврузшоев Х.Д.)**

Многочисленные исследования, проведенные специалистами ближнего и дальнего зарубежья, подтверждают тезис о том, что большинство высокогорных озер достаточно легко идентифицируется на мультиспектральных спутниковых снимках Landsat, Sentinel-2A и др. В частности, в большинстве стран Южной Азии (в Индии, Непале, Бутане, Пакистане), а также в Китае реализованы исследования современного оледенения; при этом для ряда речных бассейнов проведена сплошная каталогизация высокогорных озер и собрана базовая информация. Результаты исследований высокогорных озер Центральной Азии, подтверждают вышеизложенный тезис Виноградова (1977, 1980) [138]; Тукеева (2002) [135]; Батырова, Яковлева (2004) [139]; Черноморца (2007а, 2007б) [140, 141]; Коновалова (2009) [142], Шафиева (2018) [143]; Докукина (2019) [144], Ерохина, Загинаева (2020а, 2020б) [144, 146]; Пирмамадова (2020) [147] и др.

#### **4.2. Методология и современная технология исследования состояния прорывоопасных горных озёр бассейна реки Гунт**

«Среди стихийных разрушительных процессов в горах особое место занимают гляциальные сели. Они отличаются большими объемами выноса

грязекаменного материала и внезапностью схода. В основном гляциальные селевые катастрофы происходят в результате прорывов ледниковых озер» [147].

На территории Республики Таджикистан существуют 542 озер гляциального происхождения [148]. Наиболее опасными из них являются ледниковые озера, переполнение которых ведет к их прорыву и, как следствие образованию селей. Так, вследствие прорыва гляциального озера в Даштдаре, (Западный Памир) возникла прорывная волна образовавшая крупный селевой поток объемом 1.2 млн. м<sup>3</sup> осадков, который полностью разрушил населенный пункт Дашт и стал причиной гибели 24 чел [149].

Гляциальные сели, как известно, являются производной как процесса деградации оледенения, вызванного глобальным изменением климата, так и интенсивности, и направленного развития современной тектоники. Наиболее высокая их активность свойственна этапам отступления ледников, когда в концевой части ледника образуются озёра.

#### **4.2.1. Дистанционный мониторинг прорывоопасных ледниковых озёр бассейна реки Гунт**

Высокогорная зона Памира является территорией с высокими рисками схода селевых потоков, устанавливаемая ежемесячными анализами и мониторингами основных долин программой Google Earth. Почти в 80% долин Памира наблюдались сходы селей, подтверждающиеся смывом обломочных материалов и лотками долин. Население Памира проживает в основном, в узких долинах по берегам рек и сходы селевых потоков наносят значительный ущерб социального и экономического характера и, к сожалению, могут стать причиной человеческих жертв.

С учетом вышеизложенного, нами одним из объектов исследований была выбрана река Даштдара с площадью бассейна 31,5 км<sup>2</sup> (без учёта селевого конуса выноса), длиной основного русла - 10,2 км и суммарной площадью ледников в верховьях 1,6 км<sup>2</sup> является притоком р. Шахдара -

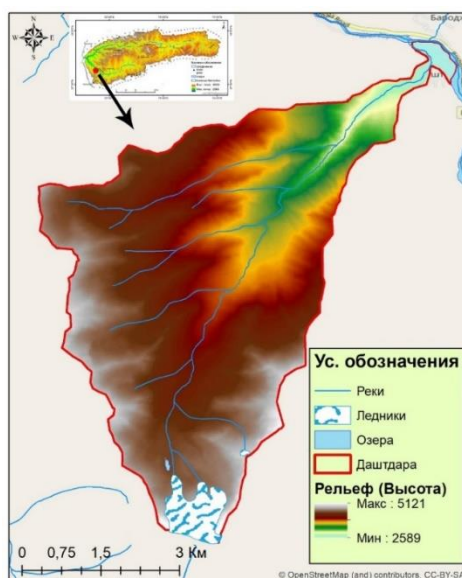
притока р. Гунт [56, 147].

Днище ледникового цирка в верховьях долины р. Даштдара заполнено ледосодержащей моренной массой, представленная двумя крупными каменными глетчерами, на которых до 2002 г. располагались 2 сравнительно крупных термокарстовых озера. В результате прорыва (7 августа 2002 г.) правого, сформировался катастрофический гляциальный селевой поток, приведший к человеческим жертвам и значительным разрушениям ниже по долине самой Даштдары и далее по долине Шахдары [147, 150-152]. Правительство Таджикистана приняло решение о переселении пострадавшего от селей населения кишлака Дашт на Памире, в Хатлонскую область на юге страны. По информации Министерства иностранных дел республики, кишлак восстановлению не подлежит и для его жителей будет построен поселок в безопасном месте [3-А].

Село Дашт находится в 30 километрах от города Хорог, в долине реки Шахдара. Река Даштдара берёт начало на северном склоне горы Вез, с одноимённым пиком высотой 5121 м. В цирке хребтов на высоте 5090 м находится долинный ледник №902 площадью 1,4 км<sup>2</sup> и длиной 2,4 км [56]. Правый борт долины разделяется горами Вез, протяженностью 9 км, от которых отходить отрог до верховья кишлака Дашт и снижается до 2700 м над ур. моря, а левый борт расчленён отрогами, с тремя большими притоками. Верховья притоков, с благоприятными условиями для образования ледников где наблюдаются следы древнего оледенения.

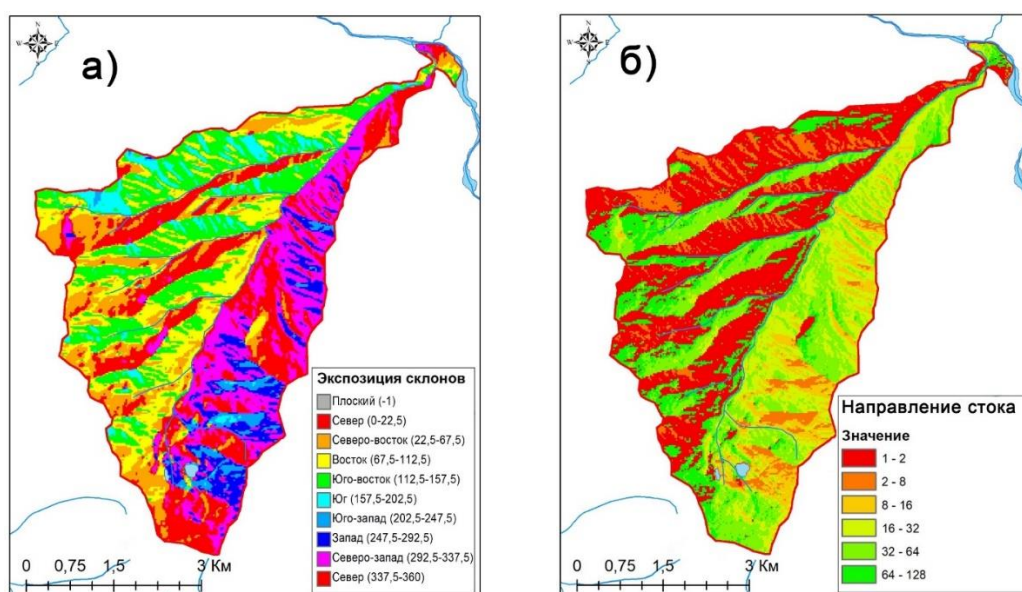
Исследования проведены на основе дешифрирования космических снимков с различных Интернет-ресурсов: Google Earth, OpenStreetMap, ERSI. С сайта <http://earthexplorer.usgs.gov> скачивались спутниковые снимки Landsat 7 ETM+ (разрешением 30 м) и Sentinel 2A (разрешением 10 м) [154].

Нами на основе ЦМР ALOS World 3D создана карта высотности долины Даштдара (рисунок 4.2) [3-А].



**Рисунок 4.2. - Карта высотности Даштдара по данным ALOS World 3D-30m**

Для анализа уклонов, экспозиции отрогов и направления стока долины была использована ЦМР ALOS World 3D-30m [155], а полученные результаты представлены на рисунке 4.3.

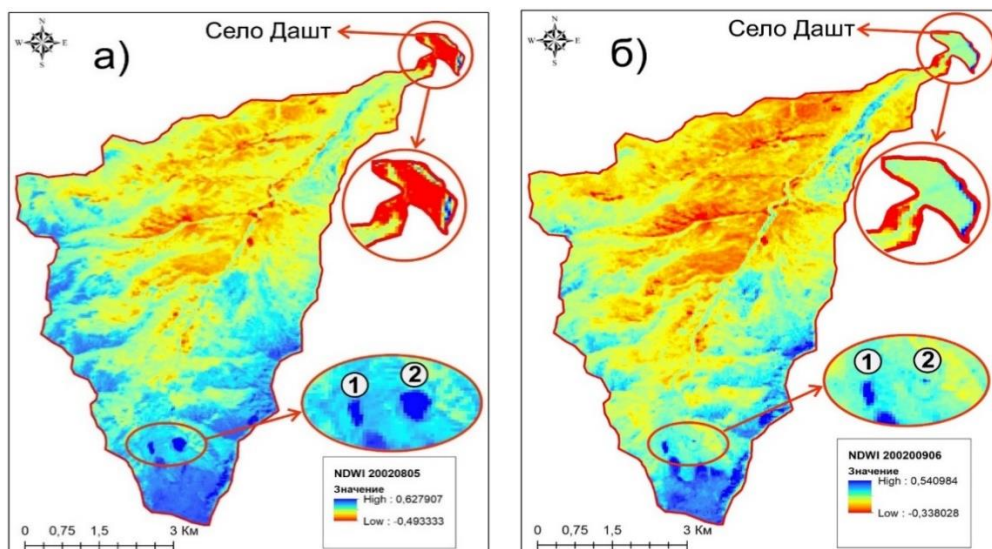


**Рисунок 4.3. - Экспозиция склонов (а) и направление стока (б) рек по данным ЦМР ALOS World 3D-30m**

При синтезе каналов GREEN, NIR по методике NDWI [156, 157] получены результаты до и после схода сели в село Дашт (Рисунки 4.4а, б).

На рисунке 4.4а отчётливо видны два ледниковых озера (обозначены цифрами 1 и 2) с площадью  $\sim 0,059$  км<sup>2</sup>. Озера увеличены и показаны отдельно, а также увеличено и показано село Дашт, который весь покрыт красным цветом,

что показывает здоровую растительность и свидетельствует о присутствии деревьев, кустарников, также садов и огородов местных жителей. Этот результат был получен при обработке снимка Landsat 7 ETM+ от 05.08.2002, за два дня до схода селея (рисунок 4.4а).



**Рисунок 4.4. - Результаты синтеза каналов GREEN, NIR по методике NDWI:**

**а) до схода селея; б) после схода селея**

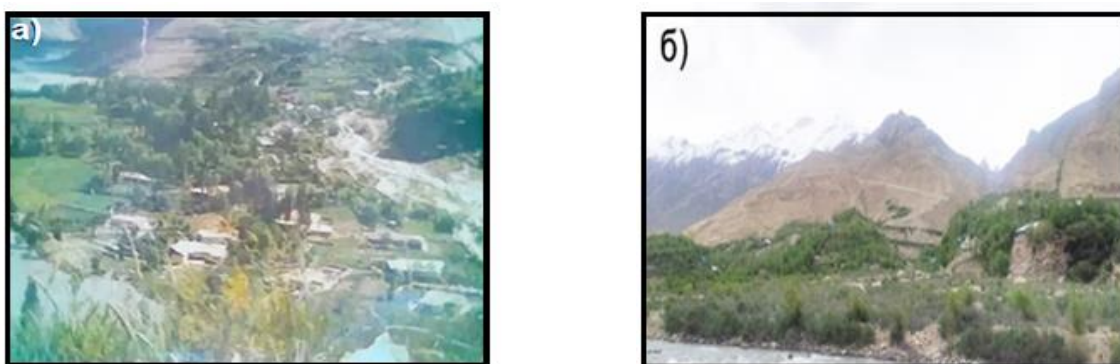
На рисунке 4.4б показана картина после схода селея. Установлено, что в верховьях долины отсутствует озеро 2, прорыв которого стал причиной схода селевого потока 07.08.2002 года. После схода селея, село Даштдара было размыто полностью, что очень отчетливо наблюдается на рисунке 4.4б. Данный факт подтверждается исчезновением красного цвета, отображающий растительность. Рисунок был получен при обработке снимка Landsat 7 ETM+ от 06.09.2002 года по методике NDWI.

На рисунке 4.5 представлено состояние кишлака Дашт после схода селея [158].



**Рисунок 4.5. - Гляциосель в кишлаке Дашт (07.08.2002г.)**

Для определения современного состояния гляциальных озер в верховьях реки Даштдара по методике NDWI был обработан спутниковый снимок Sentinel 2A от 10.09.2020 года с пространственным разрешением 10 м. На рисунке 4.6а где расположено село Дашт наблюдается красный цвет, что говорит о восстановлении растительности в конусе выноса селя. В центральной части - зона прохождения основного потока селя, наблюдается желтый цвет, отражающий почву. Полученный результат изображен в виде схемы на рисунке 4.6а и б, а также отдельно приводится фотография кишлака Дашт которая была снята автором 29.05.2020 года.



**Рисунок 4.6. - Фотографии кишлака Дашт до и после прохождения селя.**

**а) фото Юсуфбекова Н.Ш. б) фото Наврузшоева Х.Д. 2020 год**

Таким образом, подтверждено, что использование данных дистанционного зондирования могут оказать неоценимый вклад для изучения горных приледниковых озер в труднодоступных местах, а современные методики и синтезы каналов космоснимков можно широко применить в геологических, гидрологических и гляциологических наблюдениях.

Приведенная методика, являясь одним из методов управления стихийными бедствиями связанные с прорывоопасными горными озёрами, позволяет проводить мониторинг изменения площади водных объектов с космических аппаратов Landsat-7, 8 Sentinel-2, и может быть использована для решения фундаментальных и прикладных задач, а данные ЦМР помогут радикально анализировать долины рек.

#### **4.2.2. Исследования динамики зеркальной площади озёр бассейна реки Гунт**

Одним из существенных элементов комплексных научно-практических

исследований является мониторинг динамики зеркальной площади горных озер и колебания уровня воды в них, позволяющие судить о тенденциях, и разработать рекомендации способствующие усовершенствованию технологий оценки вероятности их потенциальных прорывов [137, 159].

Специфична в этом плане долина Ривак, с большим горным озером Риваккуль, подпруженный комбинированной плотиной (моренным валом).

Следует отметить, что в верховьях существовало несколько ледниковых озер меньшего размера, но в настоящее время их размеры и объемы постепенно увеличиваются, создавая опасность их прорыва. В данном конкретном случае, возникновение критической ситуации оз. Риваккуль (Рисунок 4.7. А), способно сыграть роль гасящего бассейна, позволяющего уменьшить опасность критической волны, провоцирующая возникновение наводнения. В тоже время оз. Нимацкуль относится к потенциально опасному природному объекту (Рисунок 4.7. Б) [143].

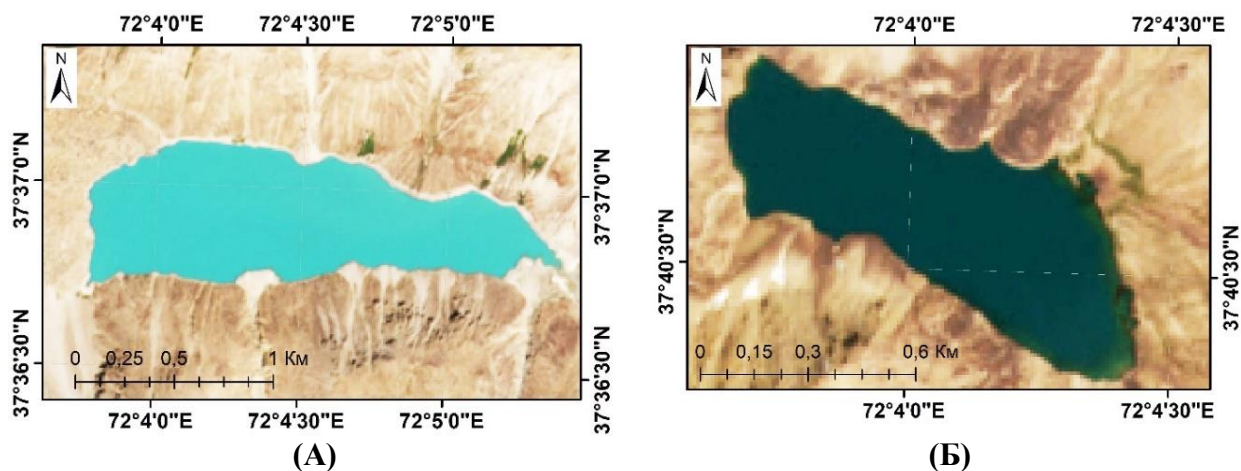


Рисунок 4.7. - Фотография озер Риваккуль (А) и Нимацкуль (Б).

#### Космический снимок со спутника Sentinel 2A

Следует отметить, что водность озер и рек напрямую зависит от колебания климатических параметров. Для определения взаимосвязи изменения площади водного зеркала озер необходимо осуществить анализ их взаимосвязи с метеорологическими данными.

Для определения изменения зеркальной площади озёр Риваккуль и Нимацкуль использованы космические снимки, имеющие разное спектральное и пространственное разрешение со спутников Landsat 7 ETM+ и Landsat 8 OLI.

Спутниковые снимки, находящиеся в открытом доступе, скачивались с портала Геологической службы США (USGS) [160].

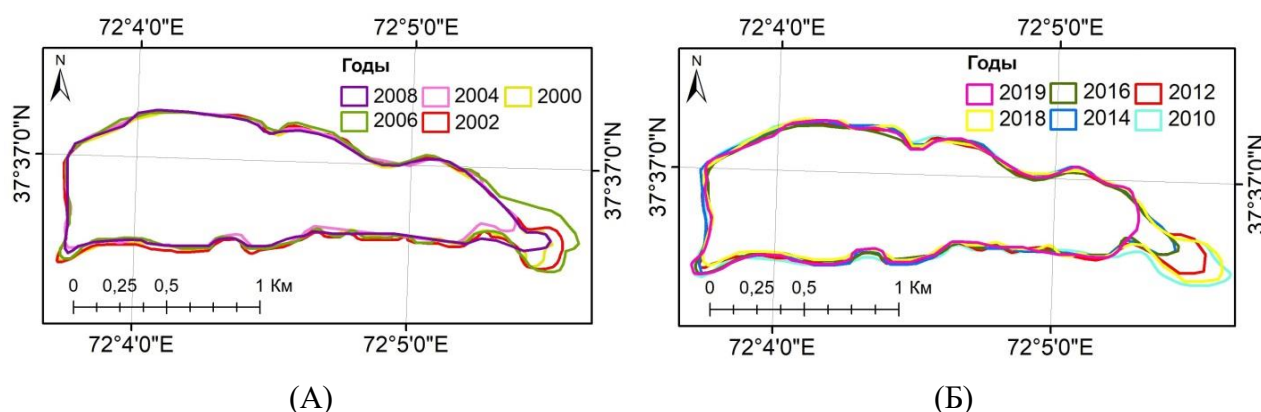
В процессе обработки спутниковых снимков, из-за неисправности камеры ETM+, были выявлены аппаратные искажения, однако ручной интерактивный режим дешифрирования, позволил исключить влияние регулярных помех на качество интерпретации.

Данные снимки состоят из каналов многозональных изображений с пространственным разрешением 30 м с добавлением панхроматического канала, разрешение которого составляет 15 м [124]. В виду того, что в конце лета и начале осени, тает весь снежный покров и можно подсчитать питание озера, то именно в этот период, осуществлялся подбор спутниковых снимков за год. Всего нами было обработано более 10 разновременных изображений для района исследования с 2000 по 2019 г. (таблица 4.1) с интервалом через год [14-А].

**Таблица 4.1. Спутниковые снимки Landsat по годам**

Дата	Спутник	Дата	Спутник
24.08.2000	Landsat 7 ETM+	25.08.2012	Landsat 7 ETM
30.08.2002	Landsat 7 ETM+	14. 08.2014	Landsat 8 OLI
0409.2004	Landsat 7 ETM+	28.08.2016	Landsat 8 OLI
30.08.2008	Landsat 7 ETM+	29.08.2018	Landsat 8 OLI
20.08.2010	Landsat 7 ETM+	03.09.2019	Landsat 8 OLI

Полученные нами, результаты исследований динамики озер Риваккуль и Нимацкуль приведены на рисунках 4.8 и 4.9, с указанием контуров озер (обозначенные в легенде разными цветами) по исследованным годам, а также в таблице 4.2.

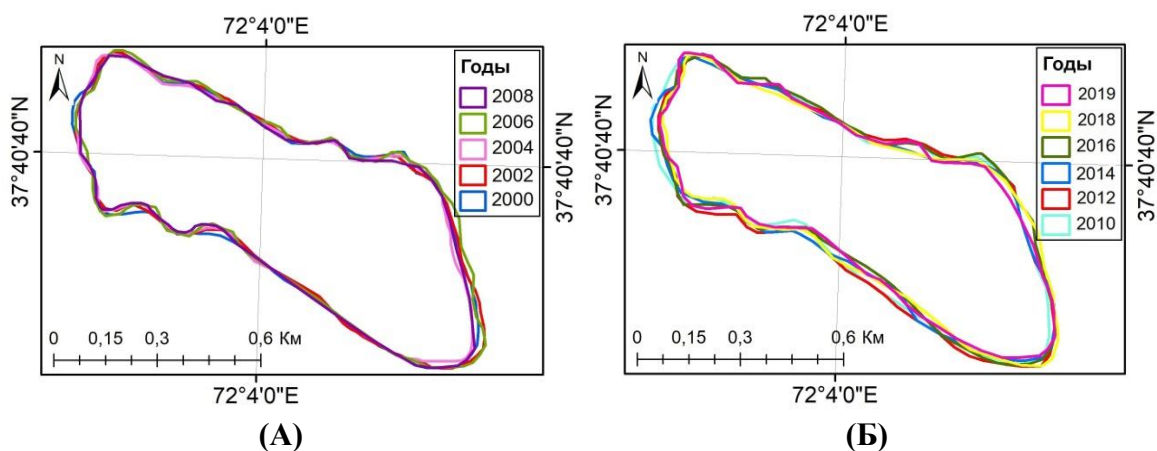


**Рисунок 4.8. - Озеро Риваккуль: А) с 2000 по 2008 г.; Б) с 2010 по 2019 г.**



Результаты исследований, представленные на рисунке 4.8, позволяют утверждать о том, что уменьшение площади оз. Риваккуль наблюдается с правой его оконечности. Данный процесс можно объяснить тем, что глубина озера в этой части небольшая и в зависимости от метеорологических параметров уменьшение зеркальной площади озера происходит в летнее время. Выявлено, что подобное уменьшение площади зеркала оз. Нимацкуль и оз. Риваккуль наблюдалось в период с 2000 по 2019 г. Вместе с тем, установлено также наличие в этих озерах подземных стоков.

Установлено, что погрешность наших расчетов площади зеркала оз. Нимацкуль составила  $0,05 \text{ км}^2$ , а по оз. Риваккуль -  $0,009 \text{ км}^2$ . На основе полученных данных (см. таблицу 4.2) в 2006 г. в озере Нимацкуль выявлено максимальное увеличение площади, а в оз. Риваккуль аналогичный процесс характерен для 2010 г. Установлено, что в оз. Нимацкуль постепенное уменьшение площади акватории с 2000 по 2019 г. составило от  $0,462 \text{ км}^2$  до  $0,513 \text{ км}^2$  соответственно.



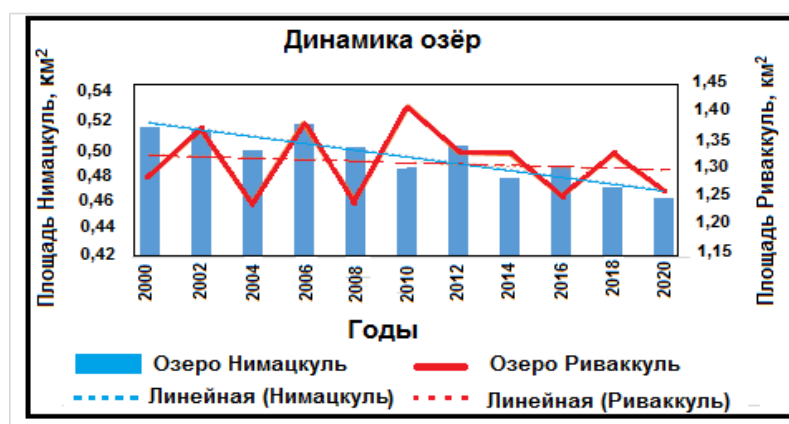
**Рисунок 4.9. - Озеро Нимацкуль: А) с 2000 по 2008 г.; Б) с 2010 по 2019 г.**

Установлено, что погрешность наших расчетов площади зеркала оз. Нимацкуль составила  $0,05 \text{ км}^2$ , а по оз. Риваккуль -  $0,009 \text{ км}^2$ . На основе полученных данных (см. таблицу 4.2) в 2006 г. в озере Нимацкуль выявлено максимальное увеличение площади, а в оз. Риваккуль аналогичный процесс характерен для 2010 г. Установлено, что в оз. Нимацкуль постепенное уменьшение площади акватории с 2000 по 2019 г. составило от  $0,462 \text{ км}^2$  до  $0,513 \text{ км}^2$  соответственно.

**Таблица 4.2.** - Динамика зеркальной площади озёр Нимацкуль и Риваккуль с 2000 по 2019 г.

Озеро/год	Динамика зеркальной площади озёр (Спутник Landsat), км <sup>2</sup>										
	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2019
<b>Нимацкуль</b>	0,513	0,511	0,496	0,515	0,499	0,484	0,500	0,477	0,485	0,470	0,462
<b>Риваккуль</b>	1,295	1,378	1,246	1,390	1,251	1,419	1,337	1,333	1,260	1,265	1,267

Уменьшение площади зеркала обоих озёр обосновывается трендовыми линиями, на диаграмме (Рисунок. 4.10) построенная на основе данных таблицы 4.2, в соответствии с данными изменения зеркальной площади озёр за период с 2000 по 2019 г. Достоверность полученных нами результатов корреспондируют с результатами полученные другими исследователями [137, 140, 141].



**Рисунок 4.10.** - График динамики площади зеркала озёр Нимацкуль и Риваккуль с 2000 по 2019 г.

Полученные результаты позволяют подтвердить тезис о том, что отсутствие поверхностных стоков или изменения внутриледниковых, фильтрационных каналов стока ведут к серьёзным изменениям водного баланса озера, провоцирующие возникновения их прорыва.

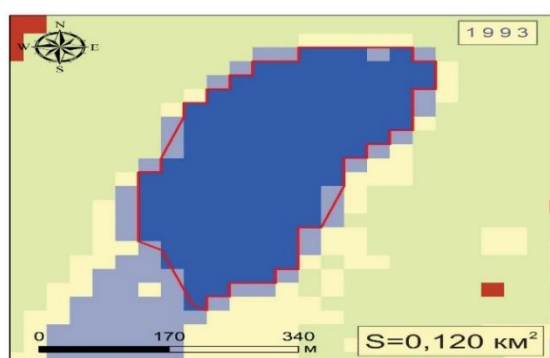
На основе анализа показателей (изменение температуры воздуха и количества атмосферных осадков), влияющие на увеличение или уменьшение площади зеркала озёр можно сделать вывод о том, что в годы увеличения количества осадков площадь зеркала озёр также увеличивается и, наоборот, при уменьшении количества осадков площадь зеркала озёр также уменьшается.

Результаты исследований динамики озера Варшезкуль Нижнее за 1993г., 2002г., 2010г., 2020г., приведены на рисунке 4.11.

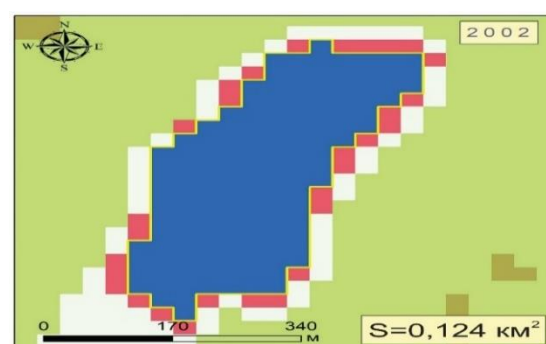
Реализованные исследования озера Варшезкуль Нижнее, позволили установить, что её зеркальная площадь интенсивно увеличивается. Следует отметить, что исследованное озеро отсутствует на снимке высокого разрешения со спутника Corona KH-4B от 1968 года (рисунок 4.11а). Появление озера наблюдается на снимках 1977 года со спутника Landsat 2. Для анализа также использовались спутниковые снимки Sentinel 2A и Landsat 5-8. В период с 1993 по 2020 гг. площадь озера увеличилась на 0,041 км<sup>2</sup> и составляла 0,161 км<sup>2</sup> (рисунок 4.11д).



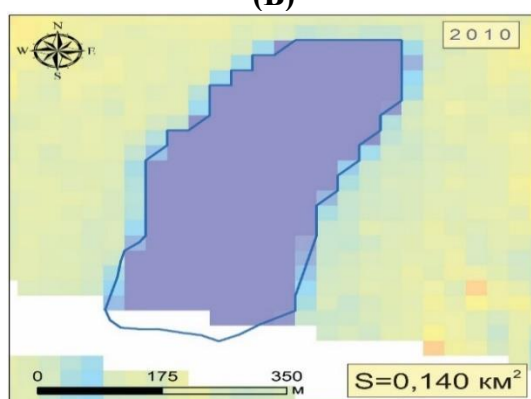
(А)



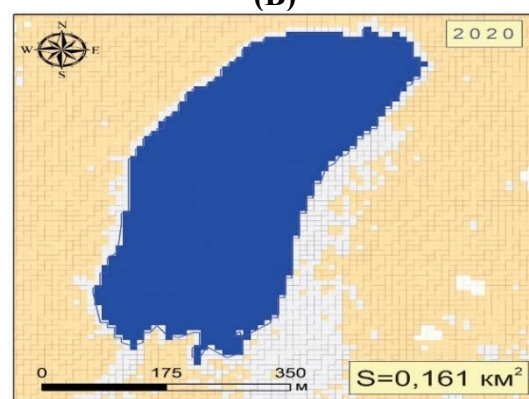
(Б)



(В)



(Г)

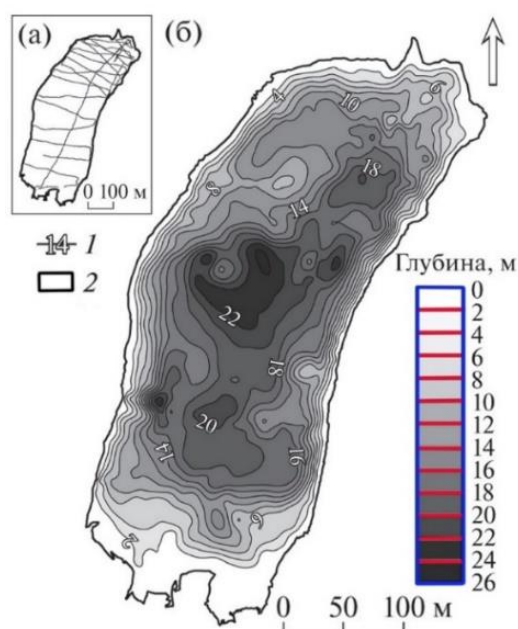


(Д)

Рисунок 4.11. - Динамика зеркальной площади озера Варшезкуль Нижнее. А) – 1968 год снимок со спутника Corona KH-4B, Б) – 1993 год снимок со спутника Landsat 5, В) – 2002 год снимок со спутника Landsat 5, Г) – 2010 год снимок со спутника Landsat 7 и Д) – 2020 год снимок со спутника Sentinel 2A

Интенсивное увеличение зеркальной площади горных озер является одним из основных параметров идентификации уровня их прорывоопасности. В последние десятилетия многими исследователями, с целью определения основных параметров (максимальная глубина, объем воды), востребованные при моделировании произведены батиметрические съемки большинства озёр бассейна реки Гунт [161, 162].

«Параметры озера Варшезкуль Нижнее по состоянию на 25 июля 2018 г. составили: длина 750 м, ширина в средней части 227 м, максимальная глубина 24,5 м (рисунок 4.12), средняя глубина 11,4 м, площадь акватории в летний период 173 тыс. м<sup>2</sup>, периметр 2290 м. Объем воды составил 1,94 млн м<sup>3</sup>» [161].



**Рисунок 4.12. - Батиметрическая карта озеро Варшедзкуль нижнее.**

**(а) - промерные галсы, выполненные с моторной лодки, (б) - изобаты**

Таким образом, собственные результаты и результаты других исследователей, применяющие дистанционное зондирование, подтверждают тезис о том, что данная технология может и должна служить основой методов оперативного контроля состояния динамики зеркальной площади горных и ледниковых озерах, в том числе параллельно с проведением полевых работ. Доступная информация о динамике зеркальной площади и глубины прорывоопасных озёр, позволить, на основе передовых технологий и программных обеспечений, осуществлять моделирование процесса прорыва

### 4.3. Моделирование прорыва озеро Варшезкуль Нижнее

RAMMS (RApid Mass Movements Simulation) - это современная численная имитационная модель для расчета геофизических движений масс (снежные лавины, сели, камнепады) от инициации до продвижения в трехмерной пространстве. Программное обеспечение RAMMS было разработано специально для того, чтобы предоставить специалистам-практикам инструмент, применяемый для анализа проблем, которые не могут быть решены с помощью одномерных моделей. RAMMS - это надежный пакет численного моделирования, позволяющий определять дальность прохождения, высоту потока, скорость потока и давление снежных лавин, оползней, паводков от прорыва ледниковых озер (ППЛО) и селевых потоков.

Программное обеспечение RAMMS дает возможность всесторонне изучить прорыв ледниковых озер и при удачной симуляции можно получить данные о высоте селевого потока, скорость, давление потока, количество эрозий, добавление гидрографа, добавление дамбы, добавление селерегулируемых лотков и др.

Программное обеспечение RAMMS способствует всестороннему изучению процесс прорыва ледниковых озер и при удачной симуляции позволяет получить данные о высоте, скорости, давления селевого потока, объема эрозий, а также симуляцию можно проводить с добавлением гидрографа, дамбы и селерегулируемых лотков.

Установлено, что наиболее часто для моделирования процесса прорыва горного озера производится с применением программных комплексов FLO-2D, IBER, RAMMS и др. [161]. В виду того, что озеру Варшезкуль Нижнее характерна наличием необходимых входных данных для моделирования, то данное озеро было и принята для дальнейших исследований.

Физическая модель RAMMS: Debris Flow использует закон трения Вельми. Эта модель делит сопротивление трения на две части: трение с сухим кулоновским типом (коэффициент  $\mu$ ), которое масштабируется с нормальным

напряжением и квадратичным сопротивлением или вязко-турбулентным трением (коэффициент  $\xi$ ). Сопротивление трения  $S$  (Па) тогда

$$S = \mu\rho Hg\cos(\varphi) + \frac{\rho g U^2}{\xi},$$

где  $\rho$  - плотность,  $g$  - гравитационное ускорение,  $\varphi$  - угол наклона,  $H$  - высота потока и  $U$  - скорость потока.

Для моделирования требуются два растровых файлов: первый ЦМР (цифровая модель рельефа) (рисунок 4.13) может быть создаваться непосредственно на основе полевых измерений (например, данные наземного или воздушного лазерного сканирования) или другие цифровые модели рельефа как ALOS PALSAR. Разрешение ЦМР должно составлять от 5 м до 25 м. Конечно, ЦМР с более высоким разрешением обеспечивают более точное моделирование. Однако модели местности с разрешением менее 5 м не значительно улучшают результаты моделирования. Более того, время расчета модели увеличивается и может оказаться непосильным для разрешения ЦМР [154, 163].



**Рисунок 4.13. - Необходимые и получаемы данные моделирования в программе RAMMS**

Второй файл - ортофото - экспортируется из программы QGIS, из онлайн карты Google Hybrid используя плагин Quick Map Services путем создания шейп-

файл полигон для зоны интереса, а полигон используется как маска для извлечения ортофото из программы.

Для зоны исследования были подготовлены необходимые данные и смоделирован прорыв озера Варшедзкуль ниже. Результаты моделирования прорыва озера Варшедзкуль Нижнее представлены на графиках (рисунок 4.14). При этом, высота прорывного паводка в начальной зоне составляет 21 метров, а максимальная скорость, при этом, достигает до 24 м/с. Следует отметить, что максимальное давление потока, в начальной зоне, при прорыве составляет 1200 кПа что приводит к эрозии достигающая до 5 метров.

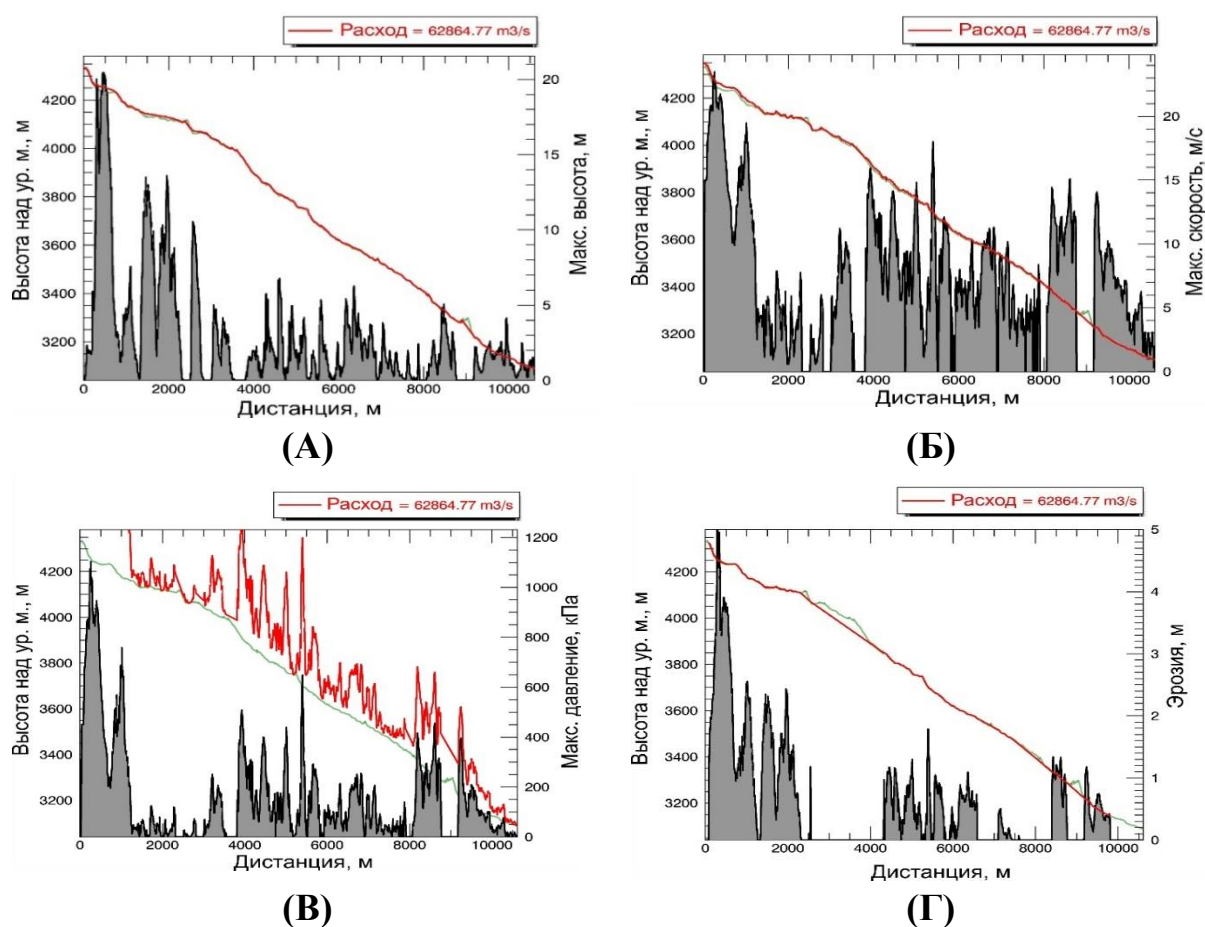
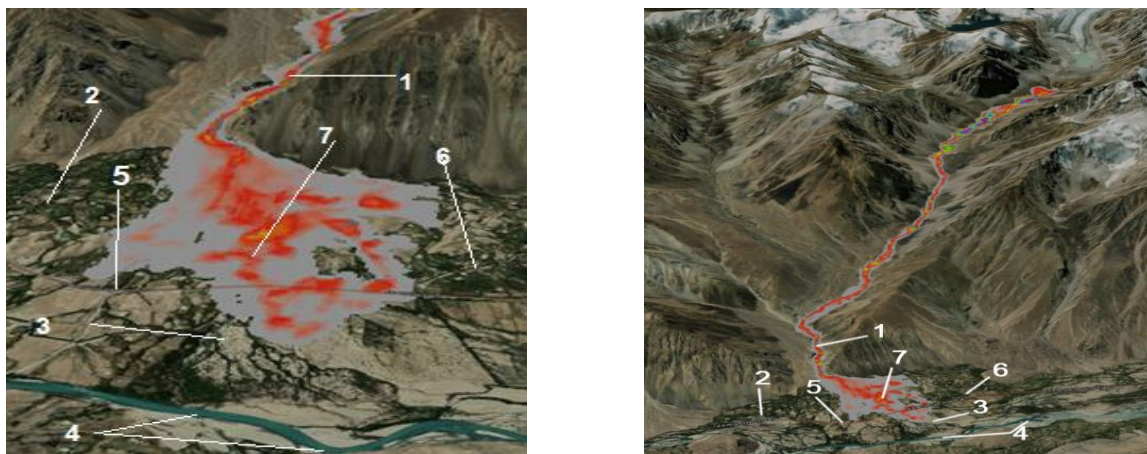


Рисунок 4. 14. - Результаты моделирования прорыва озеро Варшедзкуль ниже.

А) – максимальная высота потока, Б) – максимальная скорость потока,

В) – максимальное давление потока, Г) – глубина эрозии

Осуществление экспорта данных в программу Google Earth Pro позволил нам визуализировать полученные данные, создать 3D карты, а также анимацию схода селевого потока (рисунок 4.15).



**Рисунок 4.15. - Визуализация полученных данных в программе Google Earth Pro.**

**1 - селевого поток, 2- Село Варшедз, 3 - осадочные материалы исторических прорывов, 4 – р. Гунт, 5 - автодорога, 6 - школа, 7 - максимальный поток селевого потока.**

Таким образом, моделирование процесса прорыва горного озера и возможного образования селевого потока, позволяет не только прогнозировать сам прорыв, но также прогнозировать территории подверженные риску стихийного бедствия и возможные зоны затопления при прорывных паводках ледниковых озер (ППЛО). Полученные данные способствуют выбору оптимального места установки противоселевых сооружений, осуществить подбор типа и конструкции этих сооружений, а также разработать превентивные меры по снижению и предотвращению прорывоопасности озера возможного ущерба от него.

Именно такой подход позволяет осуществлять управление стихийными бедствиями связанные с прорывоопасностью горных озёр.

#### **4.4. Идентификация и каталогизация горных озер бассейна реки Гунт с применением современных методов дистанционного зондирования**

Как и во многих других частях Центральной Азии, ледники Таджикистана тоже отступают с высокой скоростью, ведущие к переполнению чаши ледниковых озер находящейся на их языковой части [164].

Наличие ледниковых озер провоцируют откол языковой части ледников, повышая тем самым риск образования паводка от прорыва ледникового озера (ППЛО), нанеся вред горному сообществу и экономике территорий, а также



создают реальную угрозу населению и хозяйственной инфраструктуре, расположенных в поймах рек и районах, ниже по течению.

В 2018 г., в бассейне реки Гунт было выявлено 644 горных озера площадью более 500 м<sup>2</sup>. Установлено, что прорывы ледниковых озер в высокогорьях ГБАО часто приводили к катастрофическим последствиям, в частности прорывы ледниковых озёр в верховьях рек Хидоржевдара (1991 г.), Даштдара (2002 г., Рошткалинский район), Кофарендара (2008 г., Ишкашимский район), сопровождавшиеся, в долинной зоне, значительным ущербом для населения, хозяйственной инфраструктуре, а также к сожалению приведшие к человеческим жертвам [147].

«Аналогично, в 2015 г. (Барсемдара) селевой поток, прокатившийся по долине, перегородил русло р. Гунт и стал причиной образования подпрудного озера. В результате было затоплено около 70 хозяйств, более 2 км автодороги, соединяющей Таджикистан с Китаем и Киргизией, 5 мостов (из них 3 автомобильных и 2 пешеходных), медицинский пункт, школа, торговые точки, сады и плодородные земли, десятки километров оросительных сетей. Также была разрушена основная высоковольтная линия подачи электроэнергии от ГЭС Памир-1» [165].

Несмотря на то, что горные озера бассейна реки Гунт за последние столетия изучались как в период Советского Союза, а в период Независимости РТ отечественными специалистами, однако следует отметить, что до настоящего времени для этого бассейна и для всего Таджикистана отсутствует единый каталог горных озер с полноценными данными - высотное расположение, количество, типизация озер, зеркальная площадь и т.п. Следовательно, наблюдение над ледниковыми озерами, их инвентаризация и оцифровка остается актуальной задачей современных реалий.

Одним из наиболее перспективных технологий, решения вышеизложенных задач являются мультиспектральные космические снимки. Это практически, идеальное средство для изучения и наблюдения за ледниками

и ледниковыми озерами на значительных территориях, к которым можно отнести и территорию бассейна реки Гунт.

Геоморфометрический анализ и моделирование позволяют, в частности, оценить потенциальную опасность возникновения наводнений, вызванных прорывом ледниковых озер. Выявление и мониторинг ледниковых озер проводилось нами полуавтоматическим методом с использованием нормализованного разностного водного индекса (NDWI) на основе мультиспектральных космических снимков со спутника Landsat 8 и 9 OLI. Для снимков со спутника Landsat 8 и 9 OLI применялись каналы (Green - 3, NIR-5).

Для визуальной интерпретации водных объектов обычно применяется ближний инфракрасный (NIR) диапазон, поскольку NIR сильно поглощается водой и сильно отражается от наземной растительности и сухой почвы [166].

Спутниковые снимки скачивались с портала Геологической службы США (USGS) от 07.09.2022 (Landsat 8) и от 06.09.2022 (Landsat 9) которые были объединены (mosaic) и вырезаны по контуру водосбора в программе ArcMap 10.5 для полного охвата территории исследования. Особое внимание было уделено снимкам, на которых отсутствуют облака или туман над исследуемой территорией. Данные снимки состоят из каналов многозональных изображений с пространственным разрешением 30 м с добавлением панхроматического канала, разрешение которого составляет 15 м [14-A].

Для получения водной поверхности с применением метода NDWI [156] был получен растровый файл, который был переклассифицирован и далее конвертирован от растра в полигон, что позволило получить контуры озер и других поверхностей. Всего было получено более 400 тыс. полигонов и при полуавтоматической обработке были удалены ненужные файлы и остались только контуры водных поверхностей.

Ниже приводится реализованный алгоритм (методология) и результаты идентификации и каталогизации горных озер бассейна реки Гунт, приведенные на картах и диаграммах.

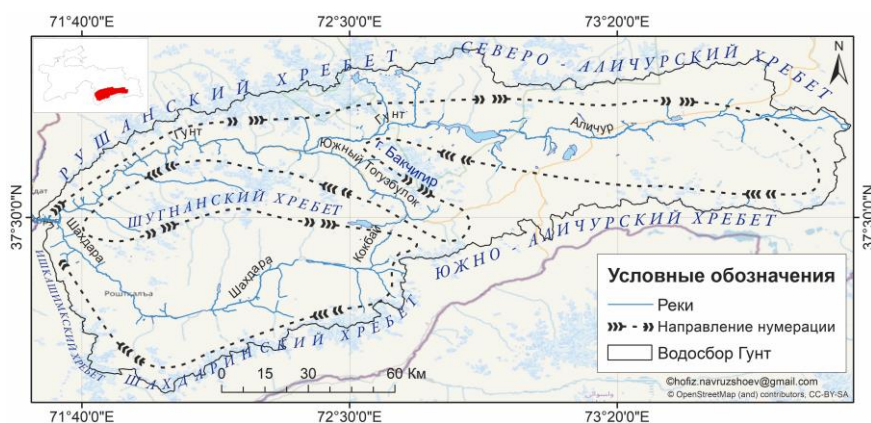
Идентификации и каталогизации горных озер дистанционным методом

[167] посвящены много научных трудов.

В частности, в каталог были занесены водные объекты всего бассейна реки Гунт с зеркальной площадью от 0,001 км<sup>2</sup> (1000 м<sup>2</sup>) и более, расположенное на высоте более 2000 м над уровнем моря, остальные объекты (полигоны в шейп-файле) были удалены полуавтоматическим методом [168].

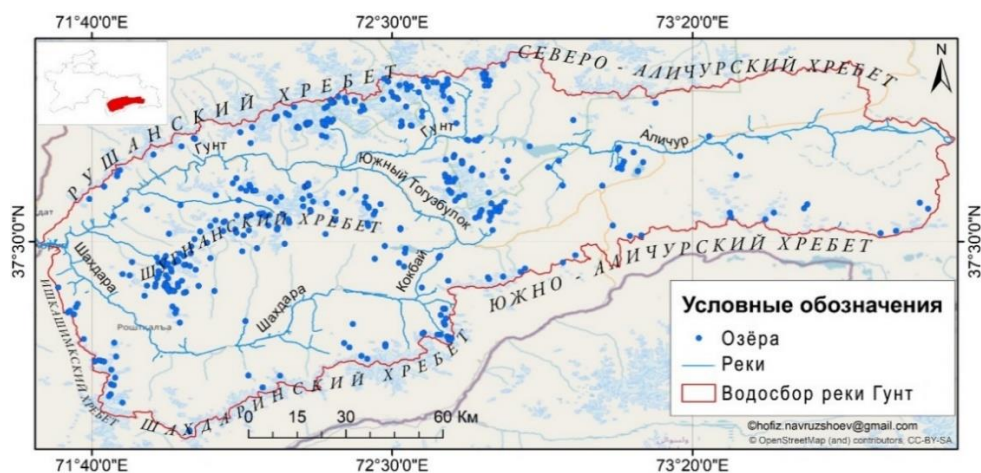
В дальнейшем, в ручном режиме, удаляются затененные места, также идентифицируемые как водные объекты, создающие сложности при обработке. При этом, дополнительно, нами были дорисованы контуры всех существующих нераспознанных озер, проверенные на разных онлайн снимках (Google Earth, Land Viewer, Zoom Earth и др.) и офлайн платформах (спутниковые снимки Sentinel 2A, топографические карты). В автоматическом режиме контуры озер выделяются в квадратах соответствующих пикселях, которые в последующем были смягчены в программе ArcGIS функцией сглаживание многоугольника (smooth polygon) и были также скорректированы в ручном режиме.

Нумерация озер производилась вручную по методологии используемой при создании Каталога ледников бассейна реки Гунт [56] и осуществлена от города Хорог, начало Рушанского хребта, по часовой стрелки, для каждой долины с последовательностью: Северо-Аличурский хребет, Южно-Аличурский хребет, северный склон горы Бакчигир далее южный склон горы Бакчигир до озера Оккуль, северный склон Шугнанского хребта со всеми притоками далее южный склон Шугнанского хребта и в конце южный склон Шахдаринского и Ишкашимского хребтов (рисунок 4.16).



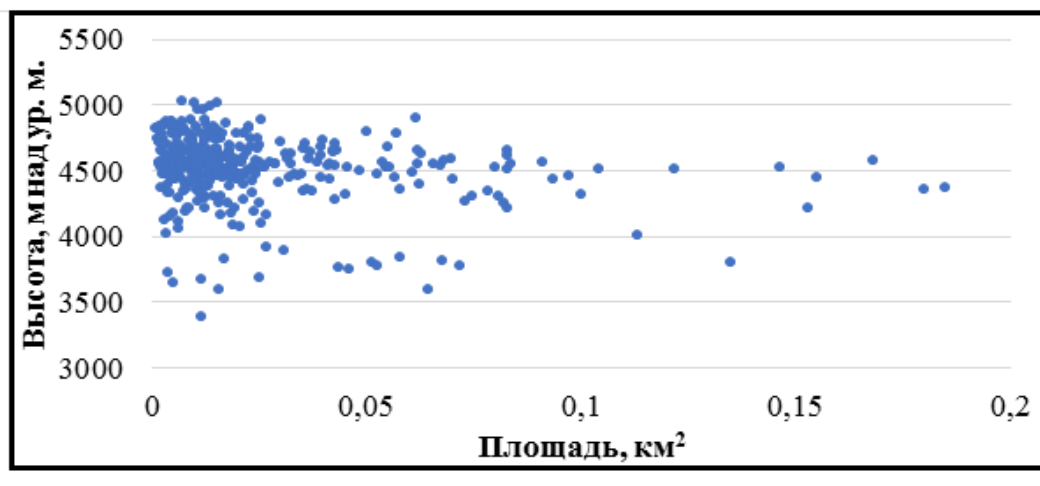
**Рисунок 4.16. - Карта направления нумерации горных озер бассейна р. Гунт. [Разработано Наврузшоевым Х.Д.]**

Всего на территории бассейна реки Гунт автоматическим методом с ручной коррекцией и добавлением неопознанных водных объектов были идентифицированы и пронумерованы 378 горных озёр с общей зеркальной площадью в 85,5 км<sup>2</sup> (в результате ручной доработки были добавлены озеро с площадью до 0,1 км<sup>2</sup>). Распространение озера больше всего наблюдается в западной и центральной части Шугнанского хребта, после Шугнанского на южном склоне Рушанского хребта также наблюдается большое количество горных озёр (рисунок 4.17). Далее на склонах горы Бакчигир присутствуют приличное количество горных озёр особенно у языковых частей одноименных ледников зеркальной площади которых увеличивается очень быстро [2-А]



**Рисунок 4.17. - Распространение горных озёр на территории бассейна р. Гунт  
(Разработано Наврузшоевым Х.Д.)**

Распределение горных озёр бассейна реки Гунт по высоте очень разное начиная от 2370 м для водохранилищ в низовье и до 5030 м для ледниковых озёр, расположенные в непосредственной близости от языка ледников или же на теле ледника. Больше всего озёр распложены на высотах от 4300 до 4800 м над ур. м (рисунок 4.18). Озера, расположенные ближе к ледникам и на больших высотах, особенно те, которые связаны с фронтом ледника увеличиваются в площади и более значительно подвергаются изменениям. Именно такие озёра характерны для всей территории бассейна реки Гунт. Озёра, питаемые ледниками, доминируют как по количеству, так и по площади и демонстрируют более быстрые тенденции расширения по сравнению с озерами без ледникового питания.



**Рисунок 4.18. - Распределение горных озер бассейна р. Гунт по высотам и площади (озера с большими площадями были исключены из графики для лучшего отображения полученных результатов)**

Полученные результаты позволили нам создать база данных горных озер бассейна реки Гунт, включающая в себя следующие параметры: нумерация озер, географические координаты и т.д.

Включенные в базу данных параметры о глубине и объеме озёр взяты из ранее осуществленных исследований другими специалистами [147].

Созданная база данных ежегодно будет пополняться и в дальнейшем планируем исследования по выявлению сезонной динамики ледниковых озер и расчета их глубины по существующим методикам.

Таким образом, наш вывод о том, что озёра питаемые ледниками, значительно увеличиваются по площади, а озёрам без ледникового питания свойственны стабильность по размерам площади подтверждают, результаты ранее проведенных исследований [144, 169, 170], в странах Центральной и Южной Азии.

Основным выводом наших исследований является то, что полученные результаты дают возможность осуществлять мониторинг состояния прорывоопасных озёр и идентифицировать их по присвоенным им номерам, включенные в каталог (база данных).

В таблице 4.3 приведены основные характеристики горных озер бассейна реки Гунт.

Таблица 4.3. - Основные характеристики горных озер бассейна р. Гунт

Номер по каталогу	Название	Зеркальная площадь, км <sup>2</sup>	Высота, м над ур.м.	Максимальная глубина, м [147]	Объём, млн. м <sup>3</sup> [147]
4	Танг	0,10	2460	-	-
69	Зарошкуль	5,16	4510		
88	Чапдара	2,91	4520		
96	Яшилькуль	35,80	3720	51	
112	Колучкол	1,215	4180	-	-
120	Ак-Балык	0,03	3890	-	-
123	Сасыккуль	8,04	3820		
126	Чукуркуль	0,74	3950		
127	Чукуркуль	0,41	3810		
128	Туз-Куль	1,40	3800	-	-
129	Кум-Мойнон	0,07	3810	-	-
140	Булункуль	2,79	3740		
176	Оккуль	1,74	4460	38,7	29,48
180	Чукуркуль	0,57	4410	-	-
198	Мал. Кулен	0,27	4390	-	-
199	Куленкуль	0,55	4290	27,4	8,26
203	Варшезкуль Верхнее	0,33	4790	-	-
205	Варшезкуль Нижнее	0,15	4520	24,5	1,94
214	Нимацкуль	0,44	4420	54,6	11,34
218	Риваккуль	1,11	3820	16	7,77
308	Дурумкуль	1,63	3340	72,2	52,62
322	Басиккуль	0,08	4210	-	-
324	Турумтайкуль	8,73	4210	28,3	119,48
328	Кокбай	0,22	4220	-	-
356	Зардивкуль	0,66	3610	16,5	4,79

Таким образом, наш вывод о том, что озёра питаемые ледниками, значительно увеличиваются по площади, а озёрам без ледникового питания свойственны стабильность по размерам площади подтверждают, результаты ранее проведенных исследований [144, 169, 170], в странах Центральной и Южной Азии.

Основным выводом наших исследований является то, что полученные результаты дают возможность осуществлять мониторинг состояния прорывоопасных озёр и идентифицировать их по присвоенным им номерам, включенные в каталог (база данных).

Ошибки, связанные с выделением ледниковых озер на снимках дистанционного зондирования с использованием ручного визуального

оконтуривания обычно связаны с компонентами качества снимков (например, пространственно-временное разрешение, облачность и горные тени), следовательно, теоретическая максимальная ошибка площади выделения границы ледникового озера равна половине площади краевых пикселей [171].

Исследования с использованием снимков более высокого пространственного разрешения позволяют повысить достоверность полученных результатов. Дальнейшие исследования оценки сезонной и межгодовой динамики горных озер бассейна реки Гунт, позволять выявить закономерности их распространения и осуществить прогноз по наиболее прорывоопасным озёрам.

Инвентаризация горных озер бассейна реки Гунт была выполнена на основе данных спутникового дистанционного зондирования с применением ГИС и методике NDWI. В целом, в 2022 году по данному бассейну было каталогизировано 378 горных озёр с общей площадью 85,5 км<sup>2</sup>. Но вместе с тем, следует констатировать факт ускоренное увеличение зеркальных площадей, требующие организации постоянного мониторинга и анализа.

***На наш взгляд наиболее рациональным и целесообразным решением было бы создание мониторинговых стационаров на территории бассейна реки Гунт.***

Впервые для бассейна реки Гунт, нами составлен подробный каталог горных озер с указанием основных характеристик и была создана база данных, в которая ежегодно будут пополняться новыми данными о состоянии, типе плотины и будет осуществлена классификация озёр бассейна реки Гунт по расположению и степени прорывоопасности.

Разработанная нами база данных, с идентификационным номером каждого озера позволит с лёгкостью определить на картах Google Earth добавлением подготовленных шейп-файлов с необходимыми данными и ежегодно будет пополняться результатами наших исследований по выявлению сезонной динамики ледниковых озер и расчета их глубины.

Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что целесообразно, в перспективе создать базу данных горных озер Таджикистана озер Таджикистана

на онлайн платформе и открыть доступ всем заинтересованным учреждениям и специалистам занимающиеся вопросами стихийных бедствий и совместно осуществлять управление рисками стихийных бедствий, в том числе по повышению эффективной работы установленных систем раннего оповещения и расширения сети по всей республики, на основе результатов оценки и предварительного анализа состояния прорывоопасности ледниковых озер.

На наш взгляд именно такой подход позволит применить не только превентивные меры (снижение уровня воды в ледниковых озерах путём искусственного сброса воды) непосредственно в озёрах, но также разработать рекомендации выбору, проектированию инженерных сооружений для защиты населения и инфраструктуры от возможных губительных воздействий прорывов горных озерах.

Большинство горных озер бассейна р. Гунт труднодоступны, и проведение полевых работ практически становится невозможным, кроме того, отсутствие аппаратуры для анализа горных озер также усложняет работу, т. к. требуется больше времени для получения каких-либо данных. Вместе с тем следует однозначно отметить, что проведение полевых работ не должно быть исключено из общей системы реализации всего комплекса исследований.

Таким образом, изложенные результаты исследований позволяют утверждать, что актуальность использования технологий дистанционного зондирования для исследования современного состояния прорывоопасных горных озёр бассейна реки Гунт, в том числе изучение динамики площади зеркала горных озер однозначна.

Полученные результаты исследований позволяют утверждать, что использование данных дистанционного зондирования может внести значительный вклад в изучение динамики горных озер и может быть рекомендовано для применения в геологических, гидрологических и гляциологических наблюдениях.

Результаты проведенного анализа разновременных, многозональных, космических снимков в районе исследования показали прямую связь изменения



площади озер в зависимости с их питанием.

Дистанционные методы зондирования дают большие возможности исследовать труднодоступные высокогорья, но пространственное разрешение спутниковых снимков Landsat в 90-х годах составляет 30 м, и исследование малых озер становится невозможным или вычисляется с большой погрешностью. Доступ к спутниковым снимкам с более высокими качествами и использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) значительно упростили бы эти задачи.

### **Выводы по четвертой главе**

1. На территории бассейна реки Гунт были проведены работы по каталогизации, дистанционный мониторинг и моделирование прорыва горных озер и сделаны соответствующие выводы:

2. На основе данных дистанционного зондирования с применением методики NDWI подготовлен каталог горных озер бассейна реки Гунт, где приводятся данные о площади, географические координаты, высотное расположение, глубина и др.

3. Смоделирован прорыв горных озер бассейна реки Гунт в программе RAMMS.

4. Современными методами дистанционного зондирования с использованием космических снимков изучены лотки сходящих селевых потоков и выявлен прорыв ледниковое озеро в долине реки Даштдара.

5. Наиболее рациональным и целесообразным решением является создание мониторинговых стационаров на территории бассейна реки Гунт.

## **Глава 5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **5.1. Рекомендации по организации и проведению полевых (мониторинговых) исследований водных объектов высокогорья**

Необходимо уделить особое внимание наблюдению за динамикой размеров и формы ледников, являющиеся чуткими индикаторами как местных так и глобальных климатических изменений, формирующиеся за счет изменения внутреннего режима и собственно климата.

Как известно ледники, это прежде всего источники чистой пресной воды. В периоды похолодания или увлажнения они накапливают снег и лед, а в период потепления отдают его в виде талого стока, что естественным образом ведет к изменению их размеров и форму. Используя существующие фондовые и архивные материалы, а также применяя современные технологии и технические средства, новые методики и методологию, можно проследить динамику ледников за весь период инструментальных наблюдений, изучить механизм взаимосвязи климата и оледенения.

Следует отметить, что наиболее старым, простым и распространенным способом наблюдений за колебаниями ледников является применение метода маркировка их концевых участков. Вместе с тем, в настоящее время источником информации динамики ледников являются данные космических съемок. Однако наиболее объективным информативным показателем колебаний ледников служит изменение их массы или объема, определяемое на основе установления изменения его площади и высоты поверхности. Единственным способом получения данной информации, в частности изменения высоты поверхности ледников с приемлемой точностью (в пределах нескольких сантиметров) являются топогеодезические работы [172].

Для мониторинга объектов в бассейне реки Гунт применены дистанционные методы зондирования и полевые работы проведенные непосредственно на объектах исследования.

Для организации и проведения полевых работ рекомендуются реализация следующих, обязательных работ (алгоритм реализации):

### **5.1.1. Выбор объекта исследования**

Выбор объекта исследования сопровождается прежде всего выполнением дистанционного анализа типа ледника. При этом наиболее оптимальным считается ледник долинный, с доступной зоной аккумуляции, с размерами в пределах от 2 до 5 км<sup>2</sup>. Нами, к примеру, для проведения полевых исследований был выбран ледник с площадью 1,3 км<sup>2</sup>. При этом следует отметить, что другие ледники данного бассейна не соответствовали многим параметрам по выбору объекта исследования. Необходимо отметить, что выбор в качестве объекта опорной сети ледников площадью более 5 км<sup>2</sup> нецелесообразен, поскольку данные ледники требуют существенного увеличения материальных и трудовых затрат. Во время полевой рекогносцировки окончательно решаются вопросы о пригодности выбранного для наблюдений ледника, выясняются степень его доступности в разных частях и другие основные параметры ледника [173].

При выборе объекта исследования рекомендуется в основном использовать, в основном, данные дистанционного зондирования, спутниковые снимки, топографические карты местности, онлайн карты, а также очень широко используемая программа Google Earth позволяющая изучить расстояние от главной дороги до объекта исследования, возможности прохождения вьючных животных для транспортировки груза, а также анализ продольной профили дороги - долины.

Рекомендуется всесторонне изучить долину с использованием данной программы, но следует учитывать, что в этой программы сглажены пиксели в некоторых местах и расстояние измеренной с использованием данной программы не всегда совпадает с реальной ситуацией на объекте исследований.

### **5.1.2. Дистанционное зондирование**

«Одной из важнейших задач космического мониторинга снежно-ледовых объектов суши является картографирование и анализ динамики ледников. Для дешифрирования ледников также в основном используется синтез каналов

SWIR-NIR-RED. Горные ледники всегда имеют две зоны: зону питания (выше снеговой линии, где накопление снега и льда превышает его потери на таяние и испарение) и зону абляции (ниже снеговой линии, где потери снега и льда превышают объем накопления). На снимках за вторую половину лета и начало осени, оптимальных для изучения ледников, эти зоны выделяются очень четко. В зоне питания лед чаще всего покрыт снегом (фирном), в основном именно снег определяет спектральные характеристики, поэтому преобладает ярко-голубой цвет. В зоне абляции снежный покров в этот период обычно отсутствует, спектральные характеристики определяет лед и морена. Поэтому эта зона имеет цвет переходный от темно-синего к темно-зеленому. Граница зон по высоте примерно соответствует снеговой линии» [75].

Успешное выполнение экспедиционных работ на опорной сети ледников в значительной мере зависит от планирования и организации гляциологических наблюдений. Планирование экспедиционных работ включает этапы предварительного выбора ледников и полевая рекогносцировка.

### **5.1.3. Предварительная подготовка**

Полевые работы это совокупность видов работ включающие в себя: выбор маршрута; организацию экспедиционных работ (пропитание, транспорт, доставка грузов, предварительный выбор места установки базового лагеря, доступ к питьевой воды, установка палаток, подготовка временных помещений и т.д.).

Основной целью экспедиционных работ на ледниках заключаются в регулярных получениях массовых данных об ежегодном изменении водных ресурсов оледенения; определение изменений форм и размеров оледенения за двухлетние интервалы времени; измерение годовых сумм осадки в бассейнах ледников и мониторинг аномальных и катастрофических проявлений режима ледников (прорыв моренных и внутрiledниковых озер, внезапные подвижки ледников) [173].

Наиболее ответственным составляющим организации и проведения производительных полевых работ является проверка, наличия и

работоспособности необходимого и достаточного, в том числе и запасного оборудования, специальной одежды, лекарства и др. При выходе на зону ледника необходимо брать собой достаточное количество воды желательна кипячёную горячую (не менее одного литра в теплоизоляционной посуде). Настоятельно рекомендуется использовать солнцезащитные очки, солнцезащитный крем, специальную обувь и теплую одежду.

#### **5.1.4. Полевые работы**

Во время полевых работ на ледниках необходимо контролировать и обеспечить сохранность и пригодность для измерений, реперов опорной геодезической сети и профилей, осадкомеров, пункта речных измерений и годового баланса массы.

Полевые экспедиционные работы и состав исполнителей, исходя из соображений выполнения в соответствии с программой исследований, а также безопасного ведения работ, целесообразно формировать в составе 3-5 человек, а наиболее оптимальным сроком проведения работ рекомендуется определить от начала августа до середины сентября.

Необходимо строго соблюдать следующее требование и рекомендацию: состав команды для работы в зоне аккумуляции ледника не должен быть сформирован из 3 человек (при составе менее 3 человек полевые работы отменяются); обязательно наличие специального обмундирования, обеспечивающее безопасное ведение работ - страховочные веревки, канаты, кошки, ледоруб, ледобур и др. При не возможности оснащения всеми средствами безопасности полевые работы также отменяются.

При этом этапы работ рекомендуется спланировать в следующем порядке: в первый год проводится рекогносцировочное обследование на объекте исследования и по возможности устанавливаются абляционные рейки в зоне абляции ледника с целью последующего расчета потребности его массы.

#### **5.2. Методика идентификации и каталогизации горных озер**

Для идентификации горных озёр рекомендуется применять различные методики - от ручной до полуавтоматической и автоматической с

использованием космических снимков разного пространственного разрешения и разными комбинациями каналов.

Наиболее оптимальным методом оцифровки горных озер рекомендуется использовать автоматическую методику NDWI (Нормализованный разностный водный индекс) с использованием космических снимков Landsat 9 с комбинациями каналов Green и NIR. Подробная формула приведена ниже:

$$NDWI = (Green - NIR)/(Green + NIR) \text{ или}$$
$$NDWI = (Band 3 - Band 5)/(Band 3 + Band 5).$$

Где *Green* это третий канал снимка Landsat 9, а *NIR* это пятый канал Landsat 9 с длинами волн в 0.53 - 0.59  $\mu\text{m}$  и 0.85 - 0.88  $\mu\text{m}$  с пространственным разрешением 30 м.

Нами на основе описанной методики были идентифицированы и пронумерованы 378 горных озер бассейна реки Гунт. Полученные результаты подтвердили достоверность и точность данного метода.

Следует отметить, что по космическим снимкам в большинстве случаев, можно определить происхождение озерной котловины, классифицируемые по происхождению на: тектонические, ледниковые, ледниково-тектонические, старичные, пойменные, болотные, карстовые, термокарстовые, вулканические. Каждый тип озер имеет свои характерные дешифровочные признаки, в основном контекстные (косвенные, основанные на положении в пространстве и относительно других объектов). При этом индикатором может быть рельеф прилегающей территории, наличие водотоков или особенности растительности. Прямые признаки информативны только для некоторых типов озер. Например, озера тектонического происхождения (расположенные в разломах) часто имеют протяженность, в несколько раз превышающую максимальную ширину, в то время как крупные озера ледникового происхождения обычно квазиокруглые. Дешифровочным признаком горных озер ледникового происхождения является близость ледников или их положение в цирках, карах [75].

Такие свойства водной поверхности позволяют достаточно легко выделять границу воды и суши или затопленные участки территории по снимкам в

автоматическом режиме, используя для этого специальные спектральные индексы. Наиболее эффективные из них основаны на разности спектральной яркости в видимой и средней ИК зонах спектра, например модифицированный нормализованный разностный водный индекс *mNDWI*, предложенный в работе [75].

Данный индекс рассчитывается с использованием космических снимков Landsat 9 по формуле:

$$mNDWI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR) \text{ или} \\ NDWI = (Band 3 - Band 6) / (Band 3 + Band 6).$$

Где *Green* это третий канал снимка Landsat 9, а *SWIR* это пятый канал Landsat 9 с длинами волн в 0.53 - 0.59  $\mu\text{m}$  и 1.57 - 1.65  $\mu\text{m}$  с пространственным разрешением 30 м.

Рекомендуется использовать подготовленные данные оцифровки и каталогизацию горных озера бассейна реки Гунд для дальнейших исследований, а в перспективе необходимо совершенствовать методы исследований и планомерно дополнять информацию (базу данных) за счет новых результатов.

### **5.3. Экономическая эффективность применения результатов исследований**

**Стихийные бедствия** (опасные явления геофизического, геологического, гидрологического, атмосферного и другого происхождения) - разрушительное природное и (или) природно-антропогенное явление, в результате которого возникает угроза жизни и здоровью людей, разрушение или уничтожение материальных ценностей и элементов окружающей природной среды [175, 176].

В частности бассейн реки Гунт специфичен наличием селевых потоков, схода снежных лавин, камнепадов, а также прорыва высокогорных озер.

**В частности причиной возникновения селя являются:** интенсивные и продолжительные ливни, быстрое таяние снега или ледников, прорыв высокогорных озёр, а также обрушение в русло рек большого количества рыхлого грунта. Обладая большой массой и высокой скоростью передвижения, сели разрушают здания, дороги, гидротехнические и другие сооружения,

выводят из строя линии связи и электропередач, уничтожают сады, заливают пахотные земли, приводят к гибели людей и животных. Все это продолжается 1-3 часа. Время от возникновения селя в горах до момента выхода его в предгорье часто исчисляется 20-30 минутами [175].

В горных районах широко распространены современные экзогенные процессы. Среди катастрофических природных явлений особенно разрушительной силой обладают селевые потоки, образовавшиеся в результате прорыва гляциальных и завальных озер, а также внутриледниковых и внутриморенных емкостей [174].

Невозможность обеспечения стабильной работы ГЭС, в том числе и на территории ГБАО, из-за прорыва высокогорных озёр приводит к авариям, сопровождающиеся прекращением электроснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий.

По данным ОАО «Памирская Энергетическая Компания» ежемесячная суммарная выработка гидроэлектростанций «Памир-1» и «Хорог» по состоянию на декабрь 2022 составляет 21 452 376 кВт ч. (15 290 578 кВт ч для ГЭС «Памир-1», а для ГЭС «Хорог» этот показатель равняется 6 161 798 кВт ч) [177].

Выручка от поставки 6 161 798 кВт ч выработанной электроэнергии в месяц составляет 7 259 713 сомони и соответственно выручка за 1 час составляет 9758 сомони.

Следует отметить, что возникающие селевые потоки и сход снежных лавин на территории бассейна реки Гунт перекрывают русло реки, что становится причиной нарушения стабильной водоподачи и как следствие уменьшению поступления потока к агрегатам ГЭС «Памир-1» и «Хорог». В результате ЧС, из-за опасности выхода из строя агрегатов, работа ГЭС приостанавливается на период от нескольких часов до несколько суток.

Установлено, что ущерб компании, от отключения электроэнергии только на одни сутки может составлять до 234 192 сомони. Значительный ущерб также носить социальный характер - отсутствие электроэнергии в домохозяйствах, предприятиях, больницах и т.д. [178]



К опасным объектам стихийного бедствия на территории бассейна реки Гунт можно отнести висячий ледник находящейся в правой части от долины Вуждара [10-А], озеро у языковой части ледника Бакчигир [2-А] озеро Варшедзкуль Нижнее, снежные лавины на лавиноопасных участках Бидурд, Рахмонобод, Барсем, Вуж, Вер, Гоз, Окмамад и др.

Таким образом, рекомендуемые методы по применению превентивных мер по снижению и предотвращению возможных стихийных бедствий, а также предложенный метод моделирование процесса прорыва горного озера и возможного образования селевого потока, позволяют не только прогнозировать сам прорыв, но также прогнозировать территории подверженные риску стихийного бедствия и возможные зоны затопления при прорывных паводках ледниковых озер (ППЛО) и нарушения стабильной работы ГЭС.

Комплекс рекомендуемых мер позволяет осуществлять управление стихийными бедствиями связанные с прорывоопасностью горных озёр, а технико-экономический эффект от применения разработанных методов и технологий, только для ОАО “Памирская Энергетическая Компания” составляет 234 192 сомони за сутки.

### **Выводы по пятой главе**

1. Выявленные опасные объекты стихийного бедствия требуют тщательного анализа, изучения, разработки совершенных мер по предотвращению, уменьшению риска с использованием превентивных мер.

2. Полученные данные при анализе горных озер бассейна реки Гунт рекомендуются использовать в исследованиях, при моделировании и оценки опасности объектов, приводящие к возникновению рисков стихийных бедствий.

3. Применение разработанных мер, позволять предотвратить ожидаемый, возможный ущерб, за счет снижения риска и проведения мероприятий по смягчению последствий.

## ВЫВОДЫ

1. Подтверждено, территория Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО) является зоной аккумуляции водных ресурсов и формирования речного стока - ключевого национального и регионального ресурса стран Центральной Азии. В средний по водности год, на территории области формируется 409 км<sup>3</sup> водных ресурсов, в том числе 343 км<sup>3</sup> - воды ледников Памира. Таким образом, оледенение горных районов - это наиболее важная часть водных ресурсов являющаяся наименее изученной областью географической среды, связанная с труднодоступностью и высокогорными факторами [6-А].

2. По историческим данным за последние годы фундаментальные гляциологические исследования в том числе изучение деградация оледенения в условиях изменения климата для территории бассейна реки Гунт отсутствуют [1-А, 3-А, 4-А, 9-А].

3. Установлен, *впервые* суточный расход воды для притока Западной Гурумды с последующим получением годового расхода воды, обеспечивающий подпитывание притоком водохранилища Яшилькуль, являющийся необходимым источником для удовлетворения водопользования и обеспечения стабильного работы ГЭС [4-А].

4. Обоснованы востребованность применения современных технологий и дистанционное зондирование Земли при мониторинге труднодоступных горных территорий, в том числе бассейна реки Гунт [1-А, 3-А, 4-А, 14-А].

5. Отмечено, что полевые данные, полученные в ходе экспедиционных работ, остаются очень важными составляющими исследований, существенно дополняющие и повышающие уровень достоверности полученных результатов, для ввода в современные модели расчета и прогнозирования деградации ледников [3-А].

6. Выявлены опасные объекты создающие риски стихийных бедствий бассейна реки Гунт и рекомендовано разработать превентивные меры для смягчения и предотвращения риска их возникновения, а также на основе анализа

и оценки состояния горных и ледниковых озер Таджикистана [3-А, 4-А].

7. Разработанные меры и способы прогноза прорывов ледниковых озер, являющиеся самими уязвимыми и опасными горными объектами, приводящие к большому ущербу социального и экономического характера, позволять уменьшить или предотвратить риски возникновения опасных гидрологических явлений (сели, наводнения и т.д.) [3-А, 4-А].

## **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ**

1. Реализация результатов проведенных исследований по использованию данных ДЗЗ, в частности, космических снимков Landsat 1 – 9 и Sentinel 2A, рекомендуются для мониторинга динамики оледенения Таджикистана, которые находятся в открытом доступе. Выявленная деградация ледников бассейна реки Гунт за последние 50 лет следует использовать в дальнейших исследованиях.

2. Методология изучения ледников и полученные данные баланса массы прямым гляциологическим методом являются передающимися в области гляциологии и рекомендуются для продолжения мониторинга с целью получения ряда данных с сопоставлением с климатическими компонентами в условиях глобального потепления.

3. Разработанные практические рекомендации по проведению гляциологических наблюдений на поверхности ледника, в зонах аккумуляции и абляции ледника, маркировки и установки абляционных реек, копанье шурфа для определения плотности и водности снежного покрова в зоне аккумуляции ледника, могут быть использованы как для организации полевых исследований так и могут использоваться на занятиях в ВУЗах соответствующего профиля.

4. На основе анализа стихийных бедствия для территории бассейна реки Гунт и определения потенциально опасных объектов разработаны рекомендации по проведению превентивных мер по снижению возникновения вероятного риска.

5. Рекомендуется разработанный алгоритм применения нормализованных индексов для определения водной поверхности (NDWI), снега (NDSI) и льда (NDGI), растительности (NDVI) и другие с помощью которых получены достаточно ценные и важные данные на территории бассейна реки Гунт, для практического применения.

6. Подготовленный каталог горных озёр бассейна реки Гунт, с данными о площади, географических координатах, высотного расположения, глубины и др. рекомендуется использовать при создании общей базы данных по горным озёрам Республики Таджикистан.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Второе национальное сообщение РТ по рамочной конвенции ООН об изменении климата / Б.У. Махмадалиев, А.К. Каюмов, А.В. Новиков. – Душанбе, - 2003г. - 114 с.
2. Каюмов А.К., Сафаров М.Т., Бахтибекова Н.О. Цитаты из выступлений Основателя мира и национального единства – Лидера нации, Президента Республики Таджикистан уважаемого Эмомали Рахмона о ледниках в условиях изменения климата. – Душанбе, «Фаридунзода», - 2022. - 103 с.  
Режим доступа: <https://cryosphere.tj/wp-content/uploads/2022/11/suhanronihoi-Peshvoi-Millat-06052022.pdf>
3. Амирзода О.Х., Курбанов Н. Лидер нации: вопросы воды и экологии. Душанбе, - 2022. - 47 с.
4. Национальная стратегия Республики Таджикистан по снижению риска стихийных бедствий на 2019-2030 годы. Режим доступа: <https://khf.tj/sites/default/files/pdf/Natsionalnaya-Strategiya.pdf> / Дата обращения: 21.05.2022
5. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.asiaplustj.info/ru/news/tajikistan/politics/20221215/genassambleya-oon-prinyala-rezolyutsiyu-2025-god-mezhdunarodnii-god-zatshiti-lednikov/> / Дата обращения: 25.12.2022.
6. Каюмов А., Новиков В. Третье национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Душанбе, - 2014. – 167 с. Режим доступа: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/tjknc3.pdf>
7. Агаханянц О. Е., Юсуфбеков А. Главные черты природы Памира. Страны и народы востока. вып. XVI. Наука. Москва 1975. - С. 26-40.
8. Агаханянц О.Е. Основные проблемы физической географии Памира. Часть 1. – Душанбе, 1965. – 239 с.
9. Стратегический план реформы водного сектора Республики Таджикистан, Третья редакция. 2012. Режим доступа: <https://unece.org/fileadmin/DAM/>

- [env/water/npd/Appendix\\_A\\_Second\\_Revised\\_Water\\_Sector\\_Reforms\\_Strategy\\_Plan\\_Update\\_2012-11-15\\_Rus.pdf](#)
10. Руководство по водным ресурсам и адаптации к изменению климата. Электронный ресурс. Режим доступа: [https://unece.org/DAM/env/water/publications/documents/Guidance\\_water\\_climate\\_r.pdf](https://unece.org/DAM/env/water/publications/documents/Guidance_water_climate_r.pdf) / Дата обращения – 17.12.2022
  11. Электронный ресурс. Режим доступа: [https://www.mewr.tj/?page\\_id=390](https://www.mewr.tj/?page_id=390)
  12. Интегрированное управление водными ресурсами. Режим доступа: [http://www.cawater-info.net/library/rus/sb\\_tr\\_03-1.pdf](http://www.cawater-info.net/library/rus/sb_tr_03-1.pdf)
  13. Махмадалиев Б.У., Новиков В.В., Каюмов А.К., Каримов У.Х., Пердамо М. Национальный план действий Республики Таджикистан по смягчению последствий изменения климата) – Душанбе: Таджикглавгидромет. – 2003. – 264 с.
  14. Программа Реформы Водного Сектора Таджикистана на период 2016-2025. Режим доступа: [http://www.adlia.tj/show\\_doc.fwx?Rgn=126214](http://www.adlia.tj/show_doc.fwx?Rgn=126214)
  15. Шульц В.Л. – Реки Средней Азии. Гидрометеиздат, Ленинград. - 1965 г. - 691 с.
  16. Мухаббатов Х. Водные ресурсы Таджикистана и проблемы водопользования в Центральной Азии // Проблемы постсоветского пространства, 2016. - №3. - С. 29-45.
  17. Управление водными ресурсами в сельскохозяйственном секторе Таджикистана. Режим доступа: <https://www.osce.org/files/f/documents/2/8/413231.pdf> / Дата обращения – 15.11.2022.
  18. Ледники – водные ресурсы Таджикистана в условиях изменения климата. Режим доступа: [http://www.cawater-info.net/library/rus/water\\_resources\\_tj.pdf](http://www.cawater-info.net/library/rus/water_resources_tj.pdf) / Дата обращения – 13.08.2022.
  19. Электронный ресурс. Режим доступа: [https://www.best-country.com/ru/asia/tajikistan/water\\_source](https://www.best-country.com/ru/asia/tajikistan/water_source) / Дата обращения – 10.12.2022.

20. Влияние изменения климата на систему взаимосвязей между водными ресурсами, энергией и сельским хозяйством в Центральной Азии. Режим доступа: [https://www.adelphi.de/en/system/files/mediathek/bilder/osce\\_central\\_asia\\_scenario\\_workshop\\_paper\\_ru\\_final.pdf](https://www.adelphi.de/en/system/files/mediathek/bilder/osce_central_asia_scenario_workshop_paper_ru_final.pdf) / Дата обращения – 24.12.2022.
21. Аминов Д. О. Качество водных ресурсов в бассейне Р. Сырдарья / Д. О. Аминов // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная: Материалы V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 30-летию аварии на Чернобыльской АЭС, Брянск, 27–29 апреля 2016 года / Брянский государственный инженерно-технологический университет. – Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет, - 2016. – С. 4-8. – EDN XFBKEV.
22. Бартольд В.В. Сочинения. Т. III. М.: Восточная литература, Наука, 1964. 711 с.; Т. VIII. М.: Восточная литература. Наука, - 1973. - 725 с.
23. Атыгаев Н.А., Канай О. Некоторые сведения о реке Сырдарья в историко-географической литературе XV–XIX вв. // Золотоордынское обозрение. 2020. Т. 8, № 1. С. 167–184. DOI: 10.22378/2313-6197.2020-8-1.167-184
24. Балыкбаева Г.Т. Экология Сырдарьинского бассейна // «Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук», 2012. № 7 (42). С. 16-18.
25. Материалы Республиканской научно-технической конференции «Проблемы мелиорации и водных ресурсов Республики Таджикистан» - 2010. Электронный ресурс. Режим доступа: [http://cawater-info.net/library/rus/sb\\_tr\\_tj\\_2\\_2010.pdf#1](http://cawater-info.net/library/rus/sb_tr_tj_2_2010.pdf#1) / Дата обращения: 29.09.2022.
26. Ресурсы поверхности вод СССР. Т. 14. Вып 3. Басейна Амударьи. Л.:Гидрометеиздат, - 1971. -543 с. Режим доступа: <http://www.cawater-info.net/library/rus/hist/resources-amudarya/index.htm>
27. Мухаббатов Х.М. Проблемы природопользования в горных регионах Таджикистана, Душанбе «Дониш», -2015, -565 с.

28. Сирожидинов К.Ш. Оценка водных ресурсов ГБАО Республики Таджикистан. Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. -2016, №2-4 (42), -С. 82-86.
29. Электронный ресурс. Режим доступа: [https://www.mewr.tj/?page\\_id=614](https://www.mewr.tj/?page_id=614)  
Дата обращения: 03.05.2019.
30. Курбонализода С. Ш. Повышение энергоэффективности гидроэлектростанций на реке Варзоб с учетом особенности её гидрологического режима и изменения климата: дисс. ... канд. технич. наук. – Душанбе, 2018. Режим доступа: <https://imoge.tj/shuroi-dis/eloni-himoya/> / Дата обращения: 11.05.2019.
31. Гордон Янг. Элементы высокогорной гидрологии со специальным упором на Центральную Азию. Снежно-ледовые и водные ресурсы высоких гор Азии. Алматы, - 2007. - С 7-21. Режим доступа: <http://www.unesco.kz/publications/sci/Proceedings.pdf> / - Дата обращения: 23.04.2022.
32. Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2017 году. -Режим доступа: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4457](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4457) / - Дата обращения: 20.04.2022.
33. Карамхудоев, Х. Е. Эффективность развития экотуризма в условиях глобального изменения климата (на примере Таджикистана) / Х. Е. Карамхудоев, Б. А. Алидодов, М. А. Амонатова // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. – 2020. – № 1. – С. 50-56.
34. Обзоры результативности экологической деятельности Таджикистана // 2-ой обзор. – Колл. авторов. -Нью-Йорк: ООН, - 2012. – 182 с. - Режим доступа: [https://unece.org/DAM/env/epr/epr\\_studies/Synopsis/ECE\\_CEP\\_180\\_Tajikistan\\_Synopsis\\_rus..pdf](https://unece.org/DAM/env/epr/epr_studies/Synopsis/ECE_CEP_180_Tajikistan_Synopsis_rus..pdf) / Дата обращения: 22.04.2020
35. Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2019 году. -Режим доступа: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10229](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10229) / - Дата обращения: 30.05.2021.



36. Ибатуллин, С.Р. Влияние изменения климата на водные ресурсы в Центральной Азии [Текст] / С.Р. Ибатуллин, В.А. Ясинский, А.П. Мироненков // Отраслевой обзор. Евразийский банк развития, 2009 г. – Алматы, - 2009. – 44 с.
37. Забиров Р. Д. Оледенение Памира. М.: Географгиз, -1955. – 372 с.
38. Котляков В.М. Избранные сочинения в шести книгах. Книга 2. Снежный покров и ледники Земли. Наука, Москва, 2004 г., 448 с.
39. Dyurgerov, M.V.; Meier, M.F. Glaciers and the Changing Earth system: A 2004 Snapshot; Institute of Arctic and Alpine Research: Boulder, CO, USA, 2005; p. 58.
40. Котляков В. М., Северский И. В. Ледники Центральной Азии: современное состояние, изменения, возможное влияние на водные ресурсы // Снежно-ледовые и водные ресурсы высоких гор Азии: Материалы междунар. семинара «Оценка снежно-ледовых и водных ресурсов Азии. – 2006. – С. 28-30.
41. Альфред Дибольд. Таяние ледников в Центральной Азии: время действовать. Отчет по семинару, проведенному в г. Душанбе, Таджикистан, 11-12 ноября 2014 г. РЦПДЦА: Ашхабад, 2015, - 56 с.
42. Hoelzle, Martin; Barandun, Martina; Bolch, Tobias; Fiddes, Joel; Gafurov, Abror; Muccione, Veruska; Saks, Tomas; Shahgedanova, Maria (2019). The status and role of the alpine cryosphere in central Asia. In: Xenarios, Stefanos; Schmidt-Vogt, Dietrich; Qadir, Manzoor; Janusz-Pawletta, Barbara; Abdullaev, Iskandar. The Aral Sea basin: water for sustainable development in central Asia. Abingdon (UK): Routledge, 100-121. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780429436475-8>
43. Система взаимосвязей «климат – ледовый покров – вода» в Центральной Азии. - Режим доступа: <https://www.shareweb.ch/site/Climate-Change-and-Environment/Documents/NexusBrief-Cryosphere-RU-2019.pdf> / - Дата обращения: 24.12.2022

44. World Glacier Monitoring Service (2018): Global Glacier Change Bulletin No. 2 (2014-2015). Zemp, M., Nussbaumer, S. U., Gärtner-Roer, I., Huber, J., Machguth, H., Paul, F., and Hoelzle, M. (eds.), ICSU(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, 244 pp., based on database version: doi:10.5904/wgmsfog-2018-11.
45. Ледники Таджикистана. - Душанбе, - 2003. - 35 с. - Режим доступа: [http://www.cawater-info.net/library/rus/glaciers\\_tj.pdf](http://www.cawater-info.net/library/rus/glaciers_tj.pdf) / - Дата обращения: 31.10.2022
46. Мухаббатов Х. М. Значение ледников Памира в условиях изменения климата //Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ. – 2020. – С. 392-393.
47. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. М.: Ин-т географии РАН, 1997 б. Т. 2. Кн. 1. - 263 с.
48. Финаев А. Ф. Анализ гидрометеорологических наблюдений в Таджикистане за период 1990-2005 гг //Снежно-ледовые и водные ресурсы высоких гор Азии. Алма-Аты. – 2007. – С. 129-138.
49. Каюмов А.К. Деятельность Государственного научного учреждения «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана» за три года. – Криосфера. – 2021. – С. 140-159.
50. Ибатуллин С. Проблемы Бассейна Аральского моря и значение регионального сотрудничества. Режим доступа: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/SPECA/documents/ecf/2010/AralSea.pdf>.
51. Таджикистан: бедность в контексте изменения климата. Режим доступа: [https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/tj/UNDP\\_TJK\\_HDR\\_2012\\_Rus.pdf](https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/tj/UNDP_TJK_HDR_2012_Rus.pdf) / Дата обращения: 15.04.2020
52. Ибатуллин С.Р. Влияние изменения климата на водные ресурсы в Центральной Азии [Текст] / С.Р. Ибатуллин, В.А. Ясинский, А.П.

- Мироненков // Отраслевой обзор. Евразийский банк развития, 2009 г. – Алматы, - 2009. -44 с.
53. Гидрогеология СССР. Том ХLI. Таджикская ССР. Управление геологии Совета Министров Таджикской ССР. Редактор В. С. Самарина. М, изд-во «Недра», -1972. -472 с.
54. Оценочные доклады по возникающим экологическим проблемам Центральной Азии. Устойчивость горных озер Центральной Азии. Риски воздействия и принятия мер. (2006). Ашхабад, - С. 53–103. Режим доступа: <http://cawater-info.net/library/rus/icsd1-ru.pdf> / Дата обращения: 15.10.2019.
55. Реки и озера Таджикистана. - Душанбе, - 2003. Режим доступа: [http://www.cawater-info.net/library/rus/river\\_lakes\\_tj.pdf](http://www.cawater-info.net/library/rus/river_lakes_tj.pdf) / Дата обращения: 18.10.2022
56. Каталог ледников СССР. Т. 14 (Средняя Азия), вып. 3 (Бассейн р. Аму-Дарьи), ч. 15 (Бассейн р. Гунта), (авторы Г.М. Варнакова, О.В. Рототаева). Ленинград: Гидрометеиздат. -1979. -128 с.
57. Абалакова Е.М. Побежденные вершины. ОГИЗ Государственное издательство географической литературы. -1948. - С. 73-89.
58. Затуловский Д. М. Побежденные вершины. ОГИЗ Государственное издательство географической литературы. -1948. - С. 115-135.
59. Schetinnikov A.S. Glaciation of Hissaro-Alay. - Leningrad: Gidrometeoizdat, 1981. - 120 p.
60. Коновалов В. Г. Динамика оледенения Центральной Азии по материалам дистанционного зондирования //Соврем. проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – №. 1. – С. 281-288.
61. Сидоров Л. Ф. Природа Памира в четвертичное время. Л., -Наука. -1979. - 145 с.
62. Ниязов Д. Б. Влияние климатических изменений на сток реки Гунт (приток реки Пяндж, бассейн реки Амударья, Таджикистан) за период 1940-2016 гг. / Д. Б. Ниязов, О. Ю. Калашникова, С. О. Мирзохонова // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-

- математических, химических, геологических и технических наук. – 2019. – № 3(176). – С. 84-91. – EDN OQJOVN.
63. Мирзохонова С.О. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Влияние изменения климата на гидрологический режим бассейна реки Пяндж. – Душанбе, - 2019.
64. Норматов, П. И. Изменение гидрологических характеристик реки Гунт в зависимости от метеорологических условий / П. И. Норматов, К. Н. Одинаев, И. Ш. Норматов // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2020. – Т. 32. – С. 103-112. – DOI 10.26516/2073-3402.2020.32.103. – EDN NQRHOY.
65. Норматов, И. Ш. Сравнительная оценка формирования стока рек в климатических зонах Горного Памира / И. Ш. Норматов, Р. Армстронг, П. И. Норматов // Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. – Т. 12, № 3(45). – С. 366-372. – DOI 10.21177/1998-4502-2020-12-3-366-372. – EDN DLZBEJ.
66. Кеммерих А. О. Гидрография Памира и Памиро-Алая:(Водные ресурсы). – М.: Мысль, -1978. – 220 с.
67. Pohl, E., R. Gloaguen, C. Andermann, and M. Knoche (2017), Glacier melt buffers river runoff in the Pamir Mountains, *Water Resour. Res.*, 53, doi:10.1002/2016WR019431.
68. Pohl, E., M. Knoche, R. Gloaguen, C. Andermann, and P. Krause, 2015: Sensitivity analysis and implications for surface processes from a hydrological modelling approach in the Gunt catchment, high Pamir Mountains. *Earth Surf. Dyn.*, 3, 333–362, <https://doi.org/10.5194/esurf-3-333-2015>.
69. Курбоншо Е.К. Климатические особенности Памира [Текст] / Е.К. Курбоншо, Т. М. Краудцун, Х. М. Мухаббатов // Изв. АН Респ. Таджикистан. -2014. –№ 3. –С. 121–133.
70. Ниязов Д. Б. Использование снимков MODIS в оценке экологических рисков связанных с опасными гидрологическими явлениями / Д. Б. Ниязов,

- О. Ю. Калашникова // Известия ВУЗов Кыргызстана. – 2018. – № 11. – С. 55-59. – EDN DXXXJD.
71. Норматов И. Ш. Сравнительная оценка формирования стока рек в климатических зонах горного Памира / И. Ш. Норматов, Р. Армстронг, П. И. Норматов // Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. – Т. 12. – № 3(45). – С. 366-372. – DOI 10.21177/1998-4502-2020-12-3-366-372. – EDN DLZBEJ.
72. Геологическая служба США. Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/>  
Дата обращения: 20.19.2022.
73. Кокарев А.Л., Шестерова И.Н. Современные изменения горных ледников на южном склоне Джунгарского Алатау. – Лёд и Снег, - 2014, № 4 (128), - С. 54-62.
74. Десинов Л.В., Коновалов В.Г. Дистанционный мониторинг многолетнего режима оледенения Памира. – Материалы гляциологических исследований, - 2007, - №103, - С. 129- 133. Электронный ресурс. [https://docplayer.ru/39773492-Gidrometeorologicheskiy-monitoring-v-ekosistemah-oopt-  
altae-sayanskogo-ekoregiona.html](https://docplayer.ru/39773492-Gidrometeorologicheskiy-monitoring-v-ekosistemah-oopt-altae-sayanskogo-ekoregiona.html) / Дата обращения: 03.10.2022.
75. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения [Электронный ресурс]. А. Н. Шихов, А. П. Герасимов, А. И. Пономарчук, Е. С. Перминова; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2020. – 49,6 Мб; 191 с. / Режим доступа: [http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-  
posobiya/shikhov-gerasimov-ponomarchuk-perminova-tematicheskoe-  
deshifrovanie-i-interpretaciya-kosmicheskikh-snimkov.pdf](http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/shikhov-gerasimov-ponomarchuk-perminova-tematicheskoe-deshifrovanie-i-interpretaciya-kosmicheskikh-snimkov.pdf)
76. Каримов Ф.Х. Моделирование медленно движущихся и пульсирующих ледников. Вестник Таджикского национального университета. Серия Естественных Наук. – 2015 год, – №1-4. – С. 260-266.

77. Лурье, П. М. Изменение современного оледенения северного склона Большого Кавказа в XX в. и прогноз его деградации в XXI в / П. М. Лурье, В. Д. Панов // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 4. – С. 68-76.
78. Панов, В. Д. Ледниковый обвал в горах Северной Осетии в 2002 г / В. Д. Панов, Ю. Г. Ильичев, П. М. Лурье // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 12. – С. 94-98.
79. Han, X. A. The cubic trigonometric Bézier curve with two shape parameters [Text] / X. A. Han, Y. C. Ma, X. L. Huang // Applied Mathematics Letters. – 2009. – Т. 22, № 2. – С. 226–231.
80. Берлянт, А. М. Картографический метод исследования [Текст] / А. М. Берлянт. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 257 с.
81. Crapper, P. F. Errors incurred in estimating an area of uniform land cover using Landsat [Text] / P. F. Crapper // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1980. – Vol. 46, № 10. – P. 1295–1301.
82. Crapper, P. F. Geometric properties of regions with homogeneous biophysical characteristics [Text] / P. F. Crapper // Australian Geographical Studies. – 1981. – Vol. 19, №. 1. – P. 117–124.
83. Crapper, P. F. The relationship between region shape and error variance [Text] / P. F. Crapper // Proceedings of the Second Australasian Remote Sensing Conference (Canberra, August 31-September 4, 1981). – Canberra, 1981. – P. 6.3.1–6.3.5.
84. Crapper, P. F. An estimate of the number of boundary cells in a mapped landscape coded to grid cells [Text] / P. F. Crapper // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1984. – Vol. 50, № 10. – P. 1497–1503.
85. Crapper, P. F. Theoretical prediction of the effect of aggregation on grid cell data sets [Text] / P. F. Crapper, P. A. Walker, P. M. Manninga // Geo-Processing. – 1986. – Vol. 3, № 2. – P. 155–166.
86. Frolov, Y. S. The accuracy of area measurement by point counting techniques [Text] / Y. S. Frolov, D. H. Maling // The Cartographic Journal. – 1969. – Vol. 6. – № 1. – Pp. 2–35.

87. Lloyd, P. R. Quantisation error in area measurement [Text] / P. R. Lloyd // The Carto-graphic Journal. – 1976 – Vol. 13, №. 1. – Pp. 22–25.
88. Королева, Н. В. Оценка погрешности определения площадей ветровалов по космическим изображениям высокого пространственного разрешения LANDSAT-TM [Текст] / Н. В. Королева, Д. В. Ершов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 1. – С. 80–86.
89. Корниенко, С. Г. Оценка погрешности измерения площади водоемов в криолитозоне по данным космической съемки различного пространственного разрешения [Текст] / С. Г. Корниенко // Криосфера Земли. – 2014. – Т. 18. – № 4. – С. 86–93.
90. Электронный ресурс. [https://wikijaa.ru/wiki/Glacier\\_mass\\_balance](https://wikijaa.ru/wiki/Glacier_mass_balance) / Дата обращения: 03.10.2022.
91. Иванов Е. Н. Современные методы наземного изучения горных ледников юга Восточной Сибири // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. - 2018. Т. 25. - С. 54–65. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.25.54>
92. Всемирная служба мониторинга ледников. Режим доступа: [www.wgms.ch](http://www.wgms.ch) / Дата обращения: 04.11.2021.
93. Национальный центр данных о снеге и льде. Режим доступа: [http://nsidc.org/data/glacier\\_inventory](http://nsidc.org/data/glacier_inventory) / Дата обращения: 04.11.2021.
94. Глобальные измерения наземных льдов из космоса (GLIMS). Режим доступа: <http://www.glims.org/maps/glims> / Дата обращения: 04.11.2021.
95. Ледники и ледниковые системы. В кн.: Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / А. Н. Кренке, М. Д. Ананичева, П. Ф. Демченко и др. — Москва, ФГБУ Ниц ПЛАНЕТА, 2012. — 508 с. / Режим доступа: [http://downloads.igce.ru/publications/metodi\\_ocenki/09.pdf](http://downloads.igce.ru/publications/metodi_ocenki/09.pdf)
96. Østrem Gunnar et al. Glacier Mass-Balance Measurements. a Manual for Field and Office Work. Rev. ed. 1969. P. 66.

97. Электронный ресурс. [https://ozlib.com/1004112/geografiya/glyatsiologicheskie\\_nablyudeniya/](https://ozlib.com/1004112/geografiya/glyatsiologicheskie_nablyudeniya/) / Дата обращения: 03.10.2022.
98. Электронный ресурс. <http://www.cawater-info.net/bk/1-1-5.htm> Дата обращения: 03.10.2022.
99. Вилесов Е.Н. Основы ледниковедения: учебное пособие / Е.Н. Вилесов. – Алматы: Қазақ университеті, - 2015. – 244 с.
100. Электронный ресурс. [https://ingeo.kz/?page\\_id=4531](https://ingeo.kz/?page_id=4531) / Дата обращения: 03.10.2022.
101. Oerlemans, J.H. (2005). Extracting a Climate Signal from 169 Glacier Records. *Science*, 308(5722), 675–677. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1107046>
102. Marlene Kronenberg, University of Fribourg. From point measurements to glacier wide mass balance 2016. «[https://wgms.ch/downloads/CATCOS16\\_06\\_Kronenberg\\_point-to-glacierwide-massbalance.pdf](https://wgms.ch/downloads/CATCOS16_06_Kronenberg_point-to-glacierwide-massbalance.pdf)»
103. Global Glacier Change Bulletin No. 2 (2014–2015). (2017). Eds. M. Zemp, S.U. Nussbaumer, I. Gärtner-Roer, J. Huber, H. Machguth, F. Paul, M. Hoelzle. Zurich: World Glacier Monitoring Service. doi: <https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2017-10>
104. Hagg, W., Braun L.N., Uvarov V.N., Makarevich K.G. (2004). A comparison of three methods of mass-balance determination in the Tuyuksu glacier region, Tien Shan, Central Asia. *Journal of Glaciology*. 50(171), 505–510. DOI: <https://doi.org/10.3189/172756504781829783>
105. Hoelzle, M., Barandun, M., Bolch, T., Fiddes, J., Gafurov, A., Mussione, V., Saks, T., & Shahgedanova, M. (2020). The status and role of the alpine cryosphere in Central Asia. In Book: *The Aral Sea Basin: Water for Sustainable Development in Central Asia*. Eds. Xenarios, S., Schmidt-Vogt, D., Qadir, M., Janusz-Pawletta, B., & Abdullaev, I., Chapter 8, 100–121. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780429436475-8>
106. Jackson, M., Tenzin, S., & Tashi, T. (2014). Glacier Mass Balance measurements in Bhutan. 16(c), 16069.



107. Kenzhebaev, R., Barandun, M., Kronenberg, M., YaningChen, Usabaliev, R., Hoelzle, M. (2017). Mass balance observations and reconstruction for Batysh Sook Glacier, Tien Shan, from 2004 to 2016. *Cold Regions Science and Technology*, 135, 76-89. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2016.12.007>
108. Kronenberg, M. (2016). From point measurements to glacier wide mass balance. Дата обращения 15.05.20210. [https://wgms.ch/downloads/CATCOS16\\_06\\_Kronenberg\\_point-to-glacierwide-mass-balance.pdf](https://wgms.ch/downloads/CATCOS16_06_Kronenberg_point-to-glacierwide-mass-balance.pdf)
109. Kronenberg, M., Barandun, M., Hoelzle, M., Huss, M., Farinotti, D., Azisov, E., Usabaliev, R., Gafurov, A., Petrakov, D., & Käab, A. (2016). Mass-balance reconstruction for Glacier No. 354, Tien Shan, from 2003 to 2014. *Annals of Glaciology*, 57(71), 92–102. <https://doi.org/10.3189/2016AoG71A032>
110. Электронный ресурс. <https://polarpedia.eu/ru/паровое-бурение> / Дата обращения: 22.10.2021.
111. Ледники. Термины и определения. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827974.pdf> / Дата обращения: 24.12.2021.
112. Farinotti, D., Huss, M., Fürst, J.J., Landmann, J., Machguth, H., Maussion, F., Pandit, A., 2019a. A consensus estimate for the ice thickness distribution of all glaciers on Earth. *Nat. Geosci.* 12 (3), 168–173. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0300-3>.
113. Электронный ресурс. <https://www.silkadv.com/ru/node/9241> / Дата обращения: 6.10.2022.
114. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. *Природа Мира. Ледники.* – М.: Мысль. -1989. – 447 с.
115. Новый Каталог ледников России по спутниковым данным (2016–2019 гг.) / Т. Е. Хромова, Г. А. Носенко, А. Ф. Глазовский и др. // *Лед и снег.* — 2021. — Т. 61, № 3. — С. 341–358.

116. Щетинников, А.С. Морфология и Режим Ледников Памиро-Алая [Текст] / Ред. Г.Е. Глазырин. САНИГМИ. Ташкент. 1998. -220 с.
117. Barandun, M., Pohl, E., Naegeli, K., McNabb, R., Huss, M., Berthier, E., et al. (2021). Hot spots of glacier mass balance variability in Central Asia. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL092084. <https://doi.org/10.1029/2020GL092084>
118. Пирмамадов У.Р., Новейшие подходы оценки высокогорных водных ресурсов на примере озера Яцилькуль на территории Восточного Памира. Материалы Республиканской научно-практической конференции «Водные ресурсы: состояние, новые подходы и перспективы развития» посвященной 30 –летию Государственной независимости Республики Таджикистан. Душанбе, - 2021. – С. 68-85.
119. Ниятбеков Т.П. Альгофлора озера Яшилькуль (Восточный Памир). Доклады Академии наук Республики Таджикистан. -2008, -Том 51, №12, - С. 844-847.
120. Хакимов Ф.Х., Мирзохонова С.О., Мирзохонов О.В. Изменение температурного режима на территории Восточного Памира. – Докл. АН РТ. 2006, Т. 49, № 10-12, – С. 948-954.
121. Носенко, Г.А., Хромова, Т.Е., Рототаева, О.В., Шахгеданова, М.В. Реакция ледников Центрального Кавказа в 2001 – 2010 гг. на изменения температуры и количества осадков. – Лёд и Снег, - 2013, № 1, – С. 26–33.
122. Ананичева М.Д., Капустин Г.А. Изменение ледников гор Сунтар Хаята и хр. Черского по данным Каталога ледников СССР и космическим снимкам 2001 – 2003 гг. – Материалы гляциологических исследований, - 2006, № 101, – С. 163-168.
123. Десинов Л.В., Коновалов В.Г. Дистанционный мониторинг многолетнего режима оледенения Памира. – Материалы гляциологических исследований, - 2007, № 103, – С. 129-133.

124. Ананичева М.Д., Капустин Г.А. Оценка изменений ледников гор Бырранга по космическим снимкам и Каталогу ледников СССР. – Лёд и Снег, - 2010, № 3 (111). – С. 19-26.
125. Тавасиев Р.А. Деградация ледника Караугом. Часть 1. Динамика отступления ледника. – Вестник Владикавказского научного центра, - 2017, - Т. 17, - № 4. – С. 19-27.
126. Адаменко М.М., Гутак Я.М., Антонова В.А. Изменение климата и размеров ледников в горах Кузнецкого Алатау в 1975-2015 гг. – Лёд и Снег, - 2017, - Т. 57, - № 3, – С. 334-342.
127. Акназаров Х. А. Продуктивность и емкость пастбищных угодий верховья реки Токузбулак (Западный Памир) / Х. А. Акназаров // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2011. – Т. 54. – № 1. – С. 67-70.
128. Акназаров Х.А. Современное состояние биоразнообразия Памира и вопросы его охраны. Русский орнитологический журнал. -2016, -Т. 25, Экспресс-выпуск 1295: – С. 2057-2060.
129. Петров Г.Н., Ахмедов Х.М., Кабутов К., Каримов Х.С. Ресурсы возобновляемых источников энергии в Таджикистане. Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. №3 (136), - 2009. – С. 82-91.
130. Harris, I., Osborn, T.J., P. et al. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. Sci Data 7, 109 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>
131. Patrick Burns, Anne Nolin. Using atmospherically-corrected Landsat imagery to measure glacier area change in the Cordillera Blanca, Peru from 1987 to 2010. Remote Sensing of Environment. Volume 140. 2014. P 165-178. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.026>.
132. Shafique, M., Faiz, B., Bacha, A.S. et al. Evaluating glacier dynamics using temporal remote sensing images: a case study of Hunza Valley, northern

- Pakistan. Environ Earth Sci 77, 162 (2018). <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7365-y>
133. Котляков В.М., Алексеев В.Р., Волков Н.В., Втюрин Б.И., Втюрина Е.А., Гросвальд М.Г., Донченко Р.В., Дюнин А.К., Канаев Л.А., Кренке А.Н., Лосев К.С., Перов В.Ф., Цуриков В.Л. Гляциологический словарь. Гидрометеиздат, Ленинград, - 1984 г., - 564 с.
134. Осипова Г.Б., Цветков Д.Г., Щетинников А.С., Рудак М.С. Каталог пульсирующих ледников Памира // Материалы гляциол. исследований. - 1998. Вып. 85. - С. 3–136.
135. Тукеев, О.В. Селевые явления Памира: катастрофы, закономерности, прогноз. М.: Научный мир. – 2002. – 176 с.
136. Huggel, C., Kääh, A., Haeblerli, W., Teysseire, P., & Paul, F. (2002). Remote sensing based assessment of hazards from glacier lake outbursts: a case study in the Swiss Alps. Canadian Geotechnical Journal, 39(2), 316–330. <https://doi.org/10.1139/t01-099>
137. Кидяева, В.М., Черноморец, С.С., Савернюк, Е.А., Крыленко, И.Н., Докукин, М.Д., Висхаджиева, К.С., Бобов, Р.А., Пирмамадов, У.Р., Мародасейнов, Ф.О., Раимбеков, Ю.Х., Курбонмамадов, Д.А. Моделирование прорывов горных озер и селевых потоков в Горно-Бадахшанской автономной области, Таджикистан. Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии: материалы междунар. научн. конф., - СПб. – 2018. –С. 897–902.
138. Виноградов Ю.Б. (1980). Этюды о селевых потоках. Л.: Гидрометеиздат. – 1980. – 144 с.
139. Батыров, Р.С., Яковлев, А.В. Использование цифровых космических снимков ASTER TERRA для определения гляциальных озер. Труды НИИ, Ташкент, Гляциология горных областей. -2004. - 3 (248), -С.14–21.
140. Черноморец, С.С., Петраков, Д.А., Крыленко, И.В., Крыленко, И.Н., Тутубалина, О.В., Алейников, А.А., Тарбеева, А.М. (2007а). Динамика

- ледниково-озерного комплекса Башкара и оценка селевой опасности в долине реки Адыл-Су (Кавказ). Криосфера Земли, XI, 1, - С. 72–84.
- 141.Черноморец, С.С., Петраков, Д.А., Тутубалина, О.В., Сейнова, И.Б., Крыленко, И.В. (2007б). Прорыв ледникового озера на северо-восточном склоне Эльбруса 11 августа 2006 г.: прогноз, событие и последствия. Материалы гляциологических исследований. -102. - С. 219–223.
- 142.Коновалов В. Г. Дистанционный мониторинг прорывоопасных озер на Памире / В. Г. Коновалов // Криосфера Земли. – 2009. – Т. 13. – № 4. – С. 80-89. – EDN KYRZIP.
- 143.Шафиев, Г.В. Анализ состояния прорывоопасных озер по долине реки Гунт в Юго-Западном Памире. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: труды 5-й Международной конференции. - 2018. Тбилиси: Изд-во «Универсал», - С. 631–638.
- 144.Докукин М.Д., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Запорожченко Э.В., Бобов Р.А., Пирмамадов У.Р., 2019. Барсемская селевая катастрофа на Памире в 2015 году и ее аналоги на Центральном Кавказе. Геориск, Том XIII, № 1,- С. 26–36, <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2019-13-1-26-36>
- 145.Ерохин, С.А., Загинаев, В.В. (2020а). Типизация горных озер Кыргызстана по степени их прорывоопасности. ГеоРиск, 14, 3, - С. 78-86. <http://doi.org/10.25296/1997-8669-2020-14-3-78-86>
- 146.Ерохин, С.А., Загинаев, В.В. (2020б). Тенденции прорывоопасности в развитии горных озер Кыргызстана. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Труды 6 Международной конференции (Душанбе–Хорог, Таджикистан), том 1, Душанбе: ООО «Промоушн», - С. 194–207.
- 147.Пирмамадов, У.Р., Бобов Р.А., Раимбеков Ю.Х., Мародасейнов Ф.О., Зикиллобеков И.И., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Кидяева В.М., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Висхаджиева К.С. Риск и последствия прорывов высокогорных озёр Таджикистана. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции (Душанбе–Хорог, Таджикистан). Том 1. – Отв. ред. С.С.

- Черноморец, К.С. Висхаджиева. – Душанбе: ООО «Промоушн», - 2020, -С. 1–24.
148. Опасные природные явления в Таджикистане. Режим доступа: <https://www.osce.org/files/f/documents/f/c/408011.pdf> / Дата обращения: 25.12.2019
149. Фазылов А.Р. Риски стихийных бедствий связанные с дегляциацией (Памир) / М.С. Саидов, А.Р. Фазылов, С.М. Саидов// Материалы Международной научной конференции, посвященной 15-летию со дня образования ЦАИИЗ/ Дистанционные и наземные исследования Земли.– Бишкек,- Б.: МоЮОР, - 2019. – 268с. -С. 214-218.
150. Шнайдер Ж.Ф. Удалённые геологические угрозы на Юго-Западном Памире, ГБАО, Таджикистан: краткий отчёт, составленный Швейцарским Управлением по Развитию и Сотрудничеству (SDC) для МЧС Республики Таджикистан. - 2005. – 139 с.
151. Mergili M., Müllebner B., Kopf C., Schneider F. Changes in the glacial and periglacial environment of the European Alps and the Central Asian mountains and their socio-economic implications: a comparison. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, Vol. 94, No. 1, Concepts and implications of environmental change and human impact: studies from Austrian geomorphological research (MARCH 2012), pp. 79-96
152. Mergili M., Schneider J.F. Regional-scale analysis of lake outburst hazards in the southwestern Pamir, Tajikistan, based on remote sensing and GIS. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 1447–1462, 2011.
153. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.dw.com/ru/пострадавшие-от-стихийного-бедствия-в-таджикистане-будут-переселены-в-безопасный-район/a-608570> / Дата обращения: 25.05.2021.
154. Докукин М.Д., Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Савернюк Е.А., Черноморец С.С. Подземные прорывы озёр и другие проявления селей в каменных глетчерах. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита.

- Труды 6-й Международной конференции (Душанбе–Хорог, Таджикистан).  
Том 1. – Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. – Душанбе: ООО  
«Промоушн», - 2020. - С. 371–387.
155. Цифровая модель рельефа ALOS. Режим доступа:  
<https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm> / Дата обращения:  
10.06.2021
156. McFeeters S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in  
the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*,  
1996, 17(7), 1425-1432
157. Rai P. K., Mishra V. N. Changes of Glacier Lakes Using Multi-Temporal  
Remote Sensing Data: A Case Study from India. *Geographica Pannonica* •  
Volume 21, Issue 3, 132–141. DOI: 10.5937/GeoPan1703132K
158. Фазылов А.Р., Изменение климата и гидроэкологическая безопасность //  
Сб. докладов Международного Второго Совместного семинара проектов  
TEIN-CC и CAREN. - Ташкентский Университет информационных  
технологий /. –Ташкент, - 2017. –С. 85-96.
159. Bolch, T., Peters, J., Yegorov, A., Pradchan, B., Buchroithner, M.,  
Vlagoveshchensky, V. (2011). Identification of potentially dangerous glacial  
lakes in the northern Tien Shan. *Natural Hazards*, 59(3), 1691–1714.  
<https://doi.org/10.1007/s11069-011-9860-2>
160. Пиотровский А.А., Зенгина Т.Ю. Изменение водного зеркала акватории  
Ангарского Сора в связи с природными и антропогенными колебаниями  
уровня воды в Байкале. - 2018. Проблемы региональной экологии, 2, - С.  
102–108. DOI: 10.24411/1728-323X-2018-12102
161. Кидяева В. М., Крыленко И. В., Черноморец С. С. [и др.] Реакция  
высокогорных озер Западного Памира на изменение климата (на примере  
озера Варшезкуль Нижнее, Горно-Бадахшанская автономная область,  
Таджикистан) / Геоморфология. – 2021. – Т. 52. – № 3. – С. 90-104. – DOI  
10.31857/S0435428121030068. – EDN AFQECZ.

162. Раимбеков Ю.Х., Пирмамадов У.Р., Мародасейнов Ф.О., Зикиллобеков И.И., Гуломайдаров А.Г., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Кидяева В.М., Куровская В.А., Висхаджиева К.С., Бобов Р.А. Оценка потенциального прорыва озера Варшезкуль Нижнее (Памир, Таджикистан) по результатам батиметрической съемки и моделирования. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции (Душанбе–Хорог, Таджикистан). Том 1. – Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. – Душанбе: ООО «Промоушн», - 2020, -С. 303–312.
163. Christen, M., Bartelt, P., Kowalski, J., Stoffel, L., 2008. Calculation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain with the numerical simulation program RAMMS. In: Proceedings Whistler 2008 International Snow Science Workshop September 21-27, 2008, pp. 709–716. URL. <https://arc.lib.montana.edu/snow-science/item/119>
164. Семакова Э.Р., Семаков Д.Г. О возможности использования методов дистанционного зондирования Земли при расчётах гляциологических показателей для горных районов Узбекистана. Лёд и Снег. - 2017;57(2): - С. 185-199. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-2-185-199>
165. Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Бобов Р. и др. Селевые потоки в долине реки Барсемдара в июле 2015 г. и подпрудное озеро Барсемкуль на реке Гунт (Горно-Бадахшанская автономная область, Таджикистан) // Междунар. науч. конф. Вторые Виноградовские чтения. Искусство гидрологии (Санкт-Петербург, 18–22 нояб. 2015 г): сб. докл. СПб., С.-Петербург. гос. ун-т, - 2015, - С. 261–264.
166. Rokni K, Ahmad A, Selamat A, Hazini S. Water Feature Extraction and Change Detection Using Multitemporal Landsat Imagery. Remote Sensing. 2014; 6(5):4173-4189. <https://doi.org/10.3390/rs6054173>
167. Вахнина И.Л., Носкова Е. В., Голятина М.А. Особенности изменения площадей водного зеркала и количества озер степной зоны Восточного Забайкалья // Вестник Воронежского государственного университета.



- Серия География. Геоэкология, - 2020, - №3, - С. 13-23. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2020.3/3019>
168. Petrov, M.A., Sabitov, T.Y., Tomashevskaya, I.G., Glazirin, G.E., Chernomorets, S.S., Savernyuk, E.A., Tutubalina, O.V., Petrakov, D.A., Sokolov, L.S., Dokukin, M.D., Mountrakis, G., Ruiz-Villanueva, V., Stoffel, M., 2017. Glacial lake inventory and lake outburst potential in Uzbekistan. *Sci. Total Environ.* 592, 228–242. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.068>
169. Zhang, G., Yao, T., Xie, H., Wang, W. & Yang, W. An inventory of glacial lakes in the Third Pole region and their changes in response to global warming. *Global. Planet. Change* 131, 148–157 (2015).
170. Hussain A., Nasab N., Bano D., Karim D., Anwar W., Hussain K., Uddin N. Glacier lake outburst flood modeling of Khurdopin glacier lake using HEC-RAS and GIS. In: Chernomorets S.S., Viskhadzhieva K.S. (eds.) *Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 6th International Conference (Dushanbe–Khorog, Tajikistan). Volume 1.* Dushanbe: “Promotion” LLC, 2020, – P. 208–220.
171. Wang X. et al. Glacial lake inventory of high-mountain Asia in 1990 and 2018 derived from Landsat images // *Earth System Science Data*. – 2020. – Т. 12. – №. 3. – P. 2169-2182.
172. Самойлова С. Ю. Мониторинг горных ледников: задачи, новые методы, перспективы // *Вестник Кемеровского государственного университета*. – 2012. – Т. 4. – №. 2. – С. 131-135.
173. *Руководство по наблюдениям на горных ледниках.* РД 52.25.315-92. – «Гидрометеиздат» Санкт – Петербург, - 1994, – 132 с.
174. Волосухин В.А., Титоренко А.И. Проблемы селевой активности на горных реках Черноморского Побережья *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки.* 2011. № 4. – С. 103-106.

- 175.Классификация и характеристика чрезвычайных ситуаций природного характера. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://admdausuz.ru/2019/10/5194/> Дата обращения: 25.12.2022.
- 176.GARHAZ 2017: Оценка опасных явлений, связанных с ледниками и мерзлотой, в горных районах – Технический руководящий документ. Подготовлен: Аллен, С., Фрей, Х., Хуггел, К. и др. Постоянная группа по вопросам ледников и многолетней мерзлоты (GARHAZ) Международной ассоциации криосферных наук (IACS) и Международной ассоциации по мерзлотоведению (IPA). Цюрих, Швейцария/Лима, Перу, - 72 с.
- 177.Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.pamirenergy.com/> -Дата обращения: 27.12.2022.
- 178.Денисов В.В., Волосухин В.А., Чижов А.Ю. Экономический ущерб от стихии. ТComm: Телекоммуникации и транспорт. 2012. № S2. - С. 30-34.

## **СПИСОК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ**

*Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и других зарубежных рецензируемых журналах.*

[1-А]. **Наврүзшоев Х.Д.** Деградация ледников южного склона Рушанского хребта по космическим снимкам и каталогу ледников СССР / Х. Д. Наврүзшоев // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2020. – № 4(181). – С. 137-147.

[2-А]. **Наврүзшоев Х.Д.** Мониторинг и оценка современного состояния оледенения водосбора озера Яшилькуль (Таджикистан, Юго-Западный Памир) / Х. Д. Наврүзшоев, А. Р. Фазылов // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2021. – № 4(42). – С. 139-147. [https://www.dongau.ru/nauka-i-innovatsii/vestnik-universiteta/2021/Vestnik\\_Donской\\_ГАУ\\_42.pdf](https://www.dongau.ru/nauka-i-innovatsii/vestnik-universiteta/2021/Vestnik_Donской_ГАУ_42.pdf)

[3-А]. **Наврүзшоев, Х. Д.** Дистанционный мониторинг прорывоопасных ледниковых озёр бассейна реки Гунт (Таджикистан) / Х.Д. Наврүзшоев, А. Р.

Фазылов // Вестник Хорогского университета. Естественные науки – 2021. – № 3(19). – С. 129-138.

[4-А]. **Наврुшоев Х.Д.** Динамика изменения оледенения бассейна реки Сарыгун в районе озера Каракуль / А. Каюмов, Х. К. Кабутов, Х. Д. Наврушоев // Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2022. – № 3(188). – С. 165-173. – EDN MFAZYR.

#### **Опубликованные статьи в других изданиях**

[5-А]. **Наврुшоев Х.Д.** Особенности формирования водного стока реки Бартанг (Пяндж) / Н. М. Неккадамова, Х. Д. Наврушоев, С. О. Мирзохонова, З. У. Эшонкулова // Наука и инновация. Таджикский национальный университет. – 2020. – № 4. – С. 90-98. – EDN QXXAFW.

[6-А]. **Наврुшоев Х.Д.** Крупные ледники бассейна реки Гунт, (Памир Таджикистан). Каюмов А., Наврушоев Х.Д., Кабутов Х.К. Водные ресурсы, энергетика и экология. №1(1). Душанбе, - 2021. -С. 43-50.

[7-А]. **Наврुшоев Х.Д.** Оценка деградации ледников притока реки Иштансалды бассейна реки Сурхоб дистанционным методом. / Каюмов А.К., Амиров У., Кабутов Х., Наврушоев Х.Д. // Криосфера. - Том 1. - №1-2. - 2021. Душанбе. - С. 62-71.

[8-А]. **Наврुшоев Х.Д.** Текущее состояние ледников бассейна реки Ситарги в ходе изменения климата. / Каюмов А.К., Гозиев С.Т., Убайдуллоев У.Р., Кабутов Х.К., Наврушоев Х.Д. // Криосфера. - Том 1. - №1-2. - 2021. Душанбе. - С. 79-87.

[9-А]. **Наврुшоев Х.Д.** Современное состояние оледенения притока Друмдара бассейна реки Гунт. Каюмов А.К., Наврушоев Х.Д. // Криосфера. – 2021. – Том 1. – №1. – Душанбе. – С. 32-42.

[10-А]. **Наврुшоев Х.Д.** Изучение состояния оледенения верховье реки Вуждара дистанционным методом. / Каюмов А.К., Наврушоев Х.Д. // Криосфера. –2021. – Том 1. – №3-4. – Душанбе. – С. 36-44.

[11-А]. **Наврүшоев Х.Д.** Современное состояние ледников бассейн реки Батрут в условиях изменения климата. / А.К.Каюмов, А.Х.Давлятова, Х.К.Кабутов., Х.Д.Наврүшоев, Х.Саидзода. // Криосфера. –2021. – Том 1. – №3-4. – Душанбе. – С. 91-100.

[12-А]. **Наврүшоев Х.Д.** Опасные природные процессы экзогенного характера бассейна реки Зеравшан (Пенджикент, Таджикистан) / М. С. Сафаров, А. Р. Фазылов, М. Ш. Гулаезов, Х. Д. Наврүшоев // Endless Light in Science. – 2022. – № 5-5. – С. 218-227. – DOI 10.24412/2709-1201-2022-218-227. – EDN UJLLWR.

[13-А]. **Наврүшоев Х.Д.** Баланс массы ледника № 139 бассейна озера Каракуль Восточного Памира. / Кабутов Х., Каюмов А., Сакс Т., Наврүшоев Х., Восидов Ф., Неккадамова Н., Халимов А. // Центральноазиатский журнал исследований водных ресурсов. – 2022. – 8(2). – С. 70–84. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2022-R1.v8-2/70-84.rus>

[14-А]. **Наврүшоев Х.Д.** Динамика площади зеркала горных озер бассейна реки Гунт (Памир, Таджикистан) / Наврүшоев Х.Д., Сагинтаев Ж., Кабутов Х., Неккадамова Н., Восидов Ф., Халимов А. // Центральноазиатский журнал исследований водных ресурсов. – 2022. – 8(2). – С. 85–101. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2022-R1.v8-2/85-101.rus>

### **Публикации в материалах научных конференций**

[15-А]. **Наврүшоев Х.Д.** Влияние метеопараметров на сток и прогноз половодья на реке Гунт (приток реки Пяндж, бассейн реки Амударья, Таджикистан). Ниязов, Д. Б., Калашникова, О. Ю., Мирзохонова, С. О., Наврүшоев, Х. Д. //Матер. межд. научн. конф., посв. – 2019. – С. 178-186.

[16-А]. **Наврүшоев Х.Д.** Термальные источники бассейна реки Гунт / А.Ш. Курбонмамадова, А.Р. Фазылов, Х.Д. Наврүшоев, Материалы юбилейной (70-ой) научно-практической конференции ГОУ "ТГМУ им. Абуали ибн Сино" "Современная медицина: традиции и инновации" с международным участием (Том 3), Душанбе. - 2022. - С. 235-237.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

КОРХОНАИ ВОҶИДИ  
ДАВЛАТИ  
«ПАЖЎҶИШГОҶИ ЛОИҶАКАШИИ  
ИНШООТИ НАҚЛИЁТӢ»



ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ  
ПРЕДПРИЯТИЕ  
«ИНСТИТУТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ»

STATE UNITARY ENTERPRISE «DESIGN INSTITUTE FOR TRANSPORT INFRASTRUCTURE»

734042 ш. Душанбе, кучаи Айни, 14  
тел /факс: +(992 37)221-20-20, 222-22-50  
e-mail: loikhakash@mail.ru

14 Ayni street, Dushanbe, 734042  
phone/fax: +(992 37)221-20-20, 222-22-50  
e-mail: loikhakash@mail.ru

734042 г. Душанбе, ул. Айни, 14  
тел/факс: +(992 37)221-20-20, 222-22-50  
e-mail: loikhakash@mail.ru

№ аз 2023 с.  
Ба аз 202 с.  
На от 202 г.  
On No. 07.1 from 06.01 2023г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ГУП «Институт проектирования  
транспортных сооружений»

Махсум В.



2023г.

### АКТ

*о внедрении научных результатов диссертационного исследования Наврузшоева Хофиза Довутшоевича на тему: «Влияние современного оледенения и высокогорных озёр на формирование стока бассейна реки Гунт (Юго-Западный Памир, Таджикистан)» представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.27- Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.*

Республика Таджикистан - горная страна подверженная рискам природных стихийных бедствий, негативно влияющие на различные сектора экономики, а также на жизни и благосостояние населения. Возможный, ожидаемый ущерб из-за схода снежных лавин, ледопадов, прорыва горных озёр приводит к: разрушению инфраструктуры и значительным финансовым и техническим затратам на их ремонт и восстановление; финансовым и человеческим затратам при проведении поисково-спасательных работ и реагирование на чрезвычайные ситуации; многочисленным человеческим жертвам; издержкам, связанные с перекрытием автодорог и нарушением ритмичного движения транспорта; социально-экономическим и моральным издержкам (включая потерю доходов).

Управлению рисками стихийных бедствий, в условиях изменения климата, с использованием методов дистанционного мониторинга и ГИС-

технологий способствующие возможному прогнозированию, предотвращению, смягчению последствий и исключения человеческих жертв посвящены исследования Наврузшоева Х.Д.

Результаты диссертационной работы **Наврузшоева Хофиза Довутшоевича** на тему: «Влияние современного оледенения и высокогорных озёр на формирование стока бассейна реки Гунт (Юго-Западный Памир, Таджикистан)» внедрены в практику проектирования ГУП «Научно – исследовательский и проектно - изыскательский институт» и с учетом рекомендаций автора по результатам исследований опасных участков, являющиеся источниками возникновения риска стихийных бедствий связанные с возможными, вероятными зонами ледопадов, прорывов опасных ледниковых озер, схода снежные лавины и др. применены в процессе подготовки планов дорожной эксплуатации.

**Внедрение результатов диссертационных исследований осуществлены:**

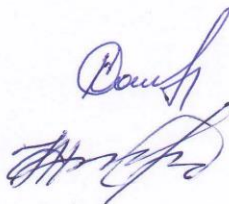
- При разработке проекта «Проектирование реабилитации 235 км автомобильной дороги от Рушанского района до кишлака Варшезд Шугнанского района (км 480 - км 715 автодороги Душанбе - перевал Кульма)»;

- При разработке гляциологического отчета территории исследования были внедрены рекомендации Наврузшоева Х.Д., об учете, в процессе проектирования, вероятных, опасных зонах, связанные с возникновением рисков от висячих и пульсирующих ледников. В частности, были использованы данные об опасном ледопаде в селение Вуж. Опубликованная ранее в статье автора «Изучение состояния оледенения верховье реки Вуждара дистанционным методом» результаты исследований, представляют собой ценную информацию для проектировщиков, строителей и эксплуатационников дорог данной территории;

- При подготовке гляциологических и гидрологических разделов проектных разработок, использованы результаты исследований и разработанные рекомендации автора, по прорывоопасным озерам (Риваккуль, Нимацкуль, Пишдара, Варшезкуль Нижнее и др.) высокогорья бассейна реки Гунт.

Начальник отдела  
искусственных сооружений

Главный инженер



Давлатбеков К. А.

Назришоев С. Т.

Комитет по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при  
Правительстве Республики Таджикистан  
Управление Комитета по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне  
по Горно Бадахшанской Автономной Области

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник УКЧС и ГО по ГБАО  
полковник Н.Мираков

«14» декабря 2022г.



**СПРАВКА**

о внедрении научных результатов диссертационного исследования Наврузшоева Хофиза Довутшоевича на тему: «Влияние современного оледенения и высокогорных озёр на формирование стока бассейна реки Гунт (Юго-Западный Памир, Таджикистан)» представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.27- Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Таджикистан является наиболее уязвимой к климатическим изменениям страной в регионе. Ежегодно в стране происходят многочисленные стихийные бедствия - сход лавин, землетрясения, оползни, прорывы горных озёр и др. наносящие значительный ущерб социального и экономического характера и, к сожалению, могут стать причиной человеческих жертв. Управление рисками стихийных бедствий, предотвращение и минимизация вероятного ущерба может быть достигнута за счёт постоянного мониторинга и создания системы прогнозирования возможных проявлений стихийных бедствий, позволяющие исследовать и выявить условия формирования и распространения этих явлений.

Население Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО), в том числе Шугнанского района, проживает в основном, в узких долинах по берегам рек, где присутствуют практически все виды опасных природных явлений. Наиболее опасными из них являются ледниковые озёра, переполнение которых ведёт к их прорыву и, как следствие образованию селей. Так, вследствие прорыва гляциального озера в Даштдаре, (Западный Памир) возникла прорывная волна, образовавшийся при этом, крупный селевой поток объёмом 1.2 млн. м<sup>3</sup> осадков, полностью разрушил населённый пункт Дашт и стал причиной гибели 24 чел. Подобных примеров, к сожалению на территории ГБАО очень много - селевой поток Хидорчев, Барсем и другие.

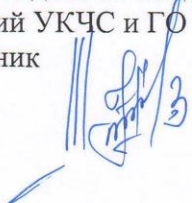
Отличительной особенностью диссертационных исследований Наврузшоева Х.Д. заключается в том, что рассматривая многие компоненты управления рисками стихийных бедствий, в условиях изменения климата, реализованы с использованием современных методов дистанционного мониторинга и ГИС-технологий.

Результаты диссертационной работы **Наврузшоева Хофиза Довутшоевича** на тему: «Влияние современного оледенения и высокогорных озёр на формирование стока бассейна реки Гунт (Юго-Западный Памир, Таджикистан)» использованы в системе деятельности КЧСи ГО Шугнанского района ГБАО:

1. На основе результатов исследований опасных объектов на территории бассейна реки Гунт, автором идентифицированы вероятные опасности от висячих и пульсирующих ледников, в частности на примере ледопада в селение Вуж и Дехмиёна. Внедрение полученных результатов осуществлено при разработке мероприятий по превентивному снижению уровня риска возникновения подобного явления.

2. При подготовке гляциологических и гидрологических отчетов использована информация результатах мониторинга выполненного о наличии прорывоопасных озер (Риваккуль, Нимацкуль, Пишдара, Варшезкуль Нижнее и др.) на высокогорье бассейна реки Гунт.

3. Результаты диссертационных исследований других опасных объектов создающие возможные риски стихийного бедствия, будут учтены при оповещении населения на территории бассейна реки Гунт Шугнанского района.

Начальник отдела по защиты населения  
и территориям УКЧС и ГО по ГБАО  
подполковник  Ш. Шоисматов



Открытое Акционерное Общество

"Памирская Энергетическая Компания" (ОАО "Памир Энерджи")

Директор "Памирская Энергетическая Компания"

Раимов А

« 12 / 12 2022г.



### СПРАВКА

**о внедрении результатов исследования диссертации Наврузшоева Хофиза Довутшоевича на тему: «Влияние современного оледенения и высокогорных озёр на формирование стока бассейна реки Гунт (Юго-Западный Памир, Таджикистан)» представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.27- Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.**

Таджикистан обладает огромными запасами гидроэнергетических ресурсов, оцениваемые в 527 млрд. кВт.ч. в год, а перспективы технико-эксплуатационного развития этих ресурсов огромны и составляют примерно 317 млрд. кВт.ч в год, из которых до настоящего времени используются только 4-5%. Гидроэнергетический потенциал Таджикистана имеет не только национальное значение, но что немаловажно, он востребован и в региональном масштабе, по обеспечению потребителей недорогой и экологически чистой энергией.

Территория Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО) является зоной аккумуляции водных ресурсов и формирования речного стока - ключевого регионального ресурса стран Центральной Азии. В средний по водности год, на территории области формируется 409063 млн. м<sup>3</sup> (409 км<sup>3</sup>) водных ресурсов, в том числе: 16032 млн. м<sup>3</sup> - речной сток (из них 30,7 млн. м<sup>3</sup> родниковый сток); 50000 млн. м<sup>3</sup> - ресурсы озер; 36 млн. м<sup>3</sup> - утвержденные эксплуатационные запасы пресных подземных вод и 343000 млн. м<sup>3</sup> - объем воды ледников Памира.

Территорией аккумуляции водных ресурсов и формирования речного стока стран Центральной Азии является Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО). Формирующиеся здесь водные ресурсы включают: речной сток - 16,0 км<sup>3</sup>; ресурсы озер - 0,50 км<sup>3</sup>; эксплуатационные запасы пресных подземных вод - 36 км<sup>3</sup>; и объем воды ледников Памира - 343,0 км<sup>3</sup>.

Главной задачей современности является обеспечение водной безопасности, в том числе гарантированное обеспечение населения и различных секторов экономики области дешевой стабильной энергией, вырабатываемая, за счет гидроэлектрических станций, построенные на горных реках.

Относительно рационального использования гидроэнергетических ресурсов реки Гунт (среднегодовая мощность выработка электроэнергии составляет 2260 мВт) следует отметить, что данная река является главным источником по выработке гидроэнергетического ресурса на территории ГБАО. Выработка на двух ГЭС общей мощности до 36,7 мВт, позволяет удовлетворить потребности до 80 % населения ГБАО.

И в этом плане проведение научно-исследовательских работ способствующие рациональному использованию водных ресурсов бассейна реки Гунт, в том числе и для нужд гидроэнергетики являются востребованными.

И в этом аспекте, результаты диссертационной работы Наврузшоева Х. Д. на тему: «Влияние современного оледенения и высокогорных озёр на формирование стока бассейна реки Гунт (Юго-Западный Памир, Таджикистан)» очень актуальны и внедрены для оценки запаса оледенения и влияние таяние ледников на сток реки Гунт.

**Основные результаты диссертации, внедренные в деятельность ОАО "Памир Энерджи":**

1. *Внедрены* в практику использования водных ресурсов озера Яшилькуль, подпитка которого осуществляется непосредственно водного потока, стекающего с ледника, результаты расчета баланса массы, произведенные соискателем позволяющие прогнозировать возможное влияние изменения климата как на оледенение так и на формирование стока реки. *Внедрение результатов способствуют прогнозированию и обеспечения стабильной работы ГЭС.*

2. В практике обеспечения стабильной эксплуатации ГЭС *используются результаты* гидрологических исследований расхода воды реки Западный Гурумды, полученные Наврузшоевым Х.Д. и приведенные в диссертации.

3. В виду того, что у языковой части ледника Бакчигир находится прорывоопасное горное озеро, Наврузшоевым Х.Д. на основе своих диссертационных исследований, *разработаны рекомендации внедряемые в практику работы нашей компании*, о необходимости производства полевых работ, по созданию батометрической карты для выявления глубины и объема воды в озере. Такой подход позволит предотвратить возможный прорыв озера и исключить возникновения опасного природного явления отрицательно влияющее как на формирование водных ресурсов так и на весь технологический процесс работы ГЭС и на жизнедеятельность населения.

4. В процессе эксплуатации ГЭС, *внедрены* также результаты исследований Наврузшоева Х.Д. об интенсивном увеличении зеркальной площади озера, ведущее к внезапному его прорыва и о необходимости проведения превентивных мероприятий по снижения уровня риска возникновения стихийного бедствия.

5. Проектирование и установка линий электропередачи на территории бассейна реки Гунт, *осуществляются с учетом рекомендаций* Наврузшоева Х.Д. о зонах с возможным возникновением непредвиденных опасных природных явлений изложенных в диссертации.

Считаем необходимым особо отметить, что результаты диссертационной работы Наврузшоева Х.Д. актуальны и востребованы для условий высокогорья Памира, которые необходимо продолжить.

Инженер гидротехник



Оджимамадов О.