

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН
ТАДЖИКСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УДК 551.576. 551.521.3(575.3)

На правах рукописи



ОДИНАЕВ Кодирджон Нодирович

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАССЕЙНА
РЕКИ ПЯНДЖ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени

кандидата технических наук

по специальности 25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология

Научный руководитель:
член-корреспондент НАНТ,
доктор химических наук, профессор,
Норматов Ином Шерович

Душанбе – 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	2
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ	9
ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ	13
I. I. Морфология реки Пяндж.....	13
I. I. Речная система	13
I.1.2. Уклон реки Пяндж.....	15
I.2. Описание топографической особенности бассейна реки Пяндж.....	16
I.2. Топографическая характеристика образования наносов в бассейне реки Пяндж.....	18
I.3. Гидрометеорологическая информация о бассейне реки Пяндж.....	18
I.3. Наблюдательные станции.....	18
I.3.2. Гидрологические наблюдательные посты.....	18
I.3.3. Станции бассейна реки Пяндж для наблюдения метеорологических условий.....	20
I.4. Атмосферные осадки. Распределение осадков в бассейне реки Пяндж.....	21
I.5. Температурный режим бассейна реки Пяндж по климатическим зонам.....	23
I.6. Снежно-ледовые ресурсы бассейна трансграничной реки Пяндж.....	25
1.7. Использование водных ресурсов реки Пяндж и ее притоков для ирригации сельскохозяйственных земель.....	30
ГЛАВА II. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БАСЕЙНА РЕКИ ПЯНДЖ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	33
2.1. Климатические зоны горного Памира.....	33
2.2. Динамика температурных условий климатических зон водосбора реки Пяндж за период 1940-2020 гг.....	34
2.3. Распределение снега по верховьям реки Пяндж.....	39
2.4. Пространственное распределение твердых осадков в бассейне реки Пяндж.....	44
2.5. Влияние орографии местности в распределение воздушных масс и осадки снега.....	47

2.6. Применение корреляции для определения взаимосвязи осадков и высоты.....	58
ГЛАВА III. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ ВАНЧ - ПРИТОКА РЕКИ ПЯНДЖ.....	60
3.1. Географическое расположение бассейна реки Ванч.....	60
3.2. Бассейн реки Ванч и его климат.....	61
3.3. Взаимосвязь климатических характеристик территории водосбора реки Ванч и климатические экстремумы.....	65
3.4. Метеорологические факторы изменения среднемесячного расхода воды реки Ванч с 1940 по 1970 и 1986 по 2016 гг.....	69
ГЛАВА IV. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРНЫХ РЕГИОНОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ ГУНТ.....	74
4.1. Влияние орографии местности на образование расхода воды.....	74
4.2. Метеорологические условия и гидрология рек Западной климатической зоны Памира.....	75
4.3. Динамика изменения температуры и атмосферных осадков в бассейне реки Гунт за период 1940-2020 гг.....	82
4.4. Динамика изменения стока реки Гунт за период 1940-2020 гг.....	87
4.5. Влияние изменения климата на пространственное распределение сезонных осадков и гидрологию бассейна реки Гунт.....	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	99
ВЫВОДЫ.....	100
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	101
СПИСОК ПУБЛИКАЦИИ СОИСКАТЕЛЯ.....	120

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

МГЭИК	Межправительственной группы экспертов по изменению климата
СССР	Союз Советских Социалистических Республик
ГБАО	Горно Бадахшанская Автономная Область
ООН	Организация Объединённых Наций
СНГ	Содружество Независимых Государств
ЕМСЕИ	Евро-Средиземноморская конференция по экологической интеграции (Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration)
UNEP	Программа ООН по окружающей среде (UN Environment Programme)
ВЭС	Водного эквивалента снега
ОСП	Область снежного покрова
ГЭС	Гидроэлектростанция
НИЦ	Научно-информационного центра
МКВК	Межгосударственной Координационной Водохозяйственной Комиссии
ПСП	Площадь снежного покрова

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. В XXI веке человечество входила с продолжающимися и более обостряющимися проблемами потепления климата пережив большие экономические, и даже человеческие потери. Глобальное изменение климата привело к значительному сокращению потенциальных запасов основы жизни всего живого существа – ледников и снежного покрова. Инициировало процессов наводнений, засухи и связанных с ними проблему продовольственной безопасности. На планете испытывают дефицит воды для питья более двух миллиардов человек. Ныне обостряется проблема качества воды водных артерий, которая пагубно влияет на жизнедеятельности флору и фауну и биоразнообразия. Горная экосистема не является исключением и как хранилище чистой воды также подвержен катаклизмам климата проявляющая в ощутимой деградации ледников, сокращении площадей снежных покровов. Современные тенденции развития природных явлений (потепление климата, чрезвычайные ситуации природного характера и др.) вызывает особую озабоченность у горных стран. Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 3 мая 2010 года № 209 утверждена государственная программа изучения и сохранения ледников Республики Таджикистан на 2010-2030 годы для постоянного мониторинга и изучения ледников Таджикистана. Необходимость утверждения такой программы обосновывается тем, что, несмотря на небольшую площадь территории (чуть более 10% от общей площади Центральной Азии), Таджикистан имеет более одиннадцати тысяч км² площади оледенения, охватывающей более четырнадцати тысяча ледников и формирующей более 65% водных ресурсов региона.

Повышение температуры во всем мире вызвало экологические изменения, которые ускорили водный цикл, усугубили экстремальные гидрологические явления, привели к сокращению водообеспеченности и повышению уязвимости водных ресурсов. Реки в засушливых регионах, которые в основном снабжаются осадками и талыми водами, особенно

чувствительны к изменениям глобального климата поскольку колебания температуры и осадков повышают сложность гидрологических процессов рек и водных ресурсов.

Современные элементы проявления и существующие прогнозы по глобальному изменению климата и его пагубное влияние на компоненты экосистемы вызывает особую тревогу не только у ученых, но и общественности, политических лидеров и руководителей государств.

В этом аспекте особое уважение и гордости вызывают ряд инициатив Президента Республики Таджикистан, Лидера нации, уважаемого Эмомали Рахмон по защите, сохранению и рациональному использованию водных ресурсов.

Выступая с высокой трибуны Генеральной Ассамблеи ООН Основатель мира и согласия, Лидер нации, Президент республики, уважаемый Эмомали Рахмон в частности отметил: "...Процессы изменения климата становится причиной быстрого таяния ледников, оказывая на объем воды в реках, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на ключевых областях национальной экономики-гидроэнергетике, сельском хозяйстве и промышленности. За последние тридцать лет в Таджикистане из 13 тысяч ледников полностью растаяли более одной тысячи из них". Далее утверждая решительность Таджикистана в реализации реальных шагов от подчеркнул: "Более того, в целях рассмотрения и обсуждения предложений и утверждения Плана действий Десятилетия мы намерены 22 марта 2018 года - во Всемирный день воды – провести в Нью-Йорке стартовый форум Международного десятилетия действий «Вода для устойчивого развития», 2018-2028», а в июне 2018 года в Душанбе провести Международную конференцию высокого уровня." Участвую на многочисленных встречах высокого уровня и используя трибун многих международных, региональных и республиканских организаций он всегда обращает внимание мирового сообщества на проблемах воды и экологии, к таянию ледников. Во имя защиты населения планеты и сохранения от исчезновения запасов основы

жизни народонаселения – воды ледников уважаемый Эмомали Рахмон предложил объявить 2025 годом сохранения ледников.

Оценив ледники как хранилище чистой воды, Лидер нации указал на отрицательное влияние их исчезновения на жизнедеятельности людей, экономического потенциала стран. Демографические факторы обостряет проблему питьевой воды. Увеличение объема воды мирового океана благодаря таянию ледников может привести к обострению жизненного уклада людей, проживающих на приграничных территориях к акваториям океанов.

Изменений температурного режима как зимой (преобладание дней с морозными температурами) так и летом (увеличение количество дней с максимальными температурами) требуют вовлечения больших объемов электроэнергии и воды. С сокращением оледенения на верховьях горных рек и изменения круговорота воды удовлетворение требований гидроэнергетики и сельского хозяйства на воду становится проблемой. В то же время страны региона в пик оросительного сезона столкнулись с нехваткой воды.

Своевременность и жизненно важность инициатив Президент Республики Таджикистан стимулировало широкие научные исследования, реализации прикладных работ по глубокому изучению водных ресурсов, метеорологических условий бассейнов рек Таджикистана, разработки научно-обоснованных механизмов адаптации к катаклизмам климата. С нарастанием проблемы продовольственной безопасности вопрос водообеспеченности сельского хозяйства, риски, связанные с климатическими природными явлениями, выходят на передний план научно-прикладных исследований. Достижения решений этих проблем главным образом определяется разработкой сценариев и моделей, прогнозирующих перспективу развития как климатических, так и гидрологических условий конкретно заданного региона. В свою очередь успех таких сценариев и моделей тесно связано с наличием многолетней базы данных метеорологических и гидрологических параметров, которые образуются в

результате последовательного и систематического наблюдения через сети метеорологических и гидрологических станций по всей территории района, республики и региона.

Степень изученности научной проблемы, теоретическая и методологическая основа исследования. В периодических изданиях по направлению исследований опубликовано множество работ посвященные отдельным аспектам воды и климата, но они характеризуются эпизодичностью и охватывают узкую ветвь проблемы воды и климатических явлений. В настоящее время для реализации Целей Тысячелетия требуется комплексный подход, рассматривающий компоненты экосистемы в их тесной взаимосвязи. О существовании потенциальных возможностей нанесения ущерба экосистеме появлением природных и антропогенных факторов воздействия такие как изменение климата, прошлое и настоящие виды деятельности человека была озвучена в Стокгольме в 1972 году, на Всемирной конференции Организации Объединенных Наций, а затем на саммите в Рио в 1992 году с повесткой дня на XXI век.

Важным аспектом мероприятий направленных на нейтрализации факторов влияния климатических изменений на экосистему и тем самым минимизация ущерба является разработка механизмов адаптации компонентов экосистемы к изменениям климата основанных на научно обоснованных предложениях и рекомендациях. Это достигается путем обобщения, систематизации и критического подхода к метеорологическим, гидрологическим, гляциологическим архивным данным и последовательным мониторингом климатических условий, гидрологии водных артерий, состояние криосферы и физических характеристик ледников и снежных покров.

В последние годы существенно активизировались исследования по комплексному изучению метеорологических условий бассейнов трансграничных рек и тесно связанные с ним состояние оледенения, гидрология и гидрохимия рек, чрезвычайные природные явления. Широко

представлены климатические, гидрологические и гляциологические информации в сайтах ряд профилирующих международных и национальных организаций.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель работы:

Мониторинг динамики гидрометеорологических характеристик бассейна реки Пяндж и притоков, изучение механизмов образования слоев снега и их изменений с потеплением климата на верховьях реки Пяндж.

Объект исследования зоны формирования реки Пяндж.

Предмет исследования. Мониторинг динамики гидрометеорологических условий бассейна реки Пяндж и ее притоков в условиях изменения климата, изучение механизмов формирования снежного покрова в зависимости от высоты на верховьях Пянджа.

Основные задачи:

1. Сравнительный анализ динамики изменения температуры на верховьях реки Пяндж за период 1940-2020 гг по отношению к базисному периоду (1960-1990 гг);

2. Изучение влияния рельефа, высоты местности и климатических характеристик на движение воздушных масс и образования слоев снежного покрова;

3. Изучение влияния метеорологических условий на формирование стока рек Ванч и Гунт и прогноз водности рек к 2050 году.

Методы исследования. Статистические методы и линейная корреляция Пирсона и Стьюдента для выявления корреляционных зависимостей и программа Excel для определения тренда климатических характеристик.

Достоверность результатов работы обеспечивается использованием традиционных и широко распространенными методами интерпретации данных и зависимостей, применением корреляции Пирсона

и статистических методов анализа и стандартных методов математической обработки данных наблюдений.

Отрасль исследования. Тема диссертационного исследования соответствует Паспорт номенклатуры специальностей ВАК при Президенте Республики Таджикистан по специальности 25.00.30. Метеорология, климатология, агрометеорология, в частности пункте 6. Вычислительные методы и геоинформационные системы в метеорологии, климатологии и агрометеорологии.

Материалы исследований:

В работе использованы результаты наблюдений климатических условий и измерений глубины снежного покрова в более 10 метеорологических станциях бассейна реки Пяндж и результаты измерений гидрологических характеристик рек Гунт и Ванч в гидрологических станциях Хорог и Бичихарв соответственно.

Научная новизна исследования:

- Установлено существенное влияние орографии верховьях реки Пяндж и ее притоков на метеорологические условия и формирования снежного покрова в бассейне реки Пяндж;
- Установлено возрастающий тренд изменения среднемноголетней температуры во всех климатических зонах верховья реки Пяндж и ее притоков;
- Обнаружено неоднозначная динамика изменения атмосферных осадков в климатических зонах верховья реки Пянджа благодаря наличия высоких вершин на пути продвижения потока влажного воздуха;
- Установлено, что максимум снега в морозных полусухих, сухих холодных и теплых географических широтах Памира соответствует месяцам I-III соответственно;

- Установлено, что вхождение на территорию Таджикистана влажных воздушных потоков осуществляется по местности с координатами 38°07' и 37°49' северной широты, 70°07' и 71°54' восточной долготы.

Теоретическая значимость:

Полученные результаты могут быть широко использованы:

- в разработке адаптационных механизмов к климатическим изменениям и его влияния на метеорологию, гидрологию и снежно-ледовые ресурсы высокогорных территорий;
- прогнозу формирования водных ресурсов в бассейне трансграничной реки Амударья и степени водообеспеченности в низовьях реки;
- составлению водного баланса бассейна трансграничной реки Амударья и определению перспективы развития как гидроэнергетики, так и сельского хозяйства;
- разработке перспективных мероприятий по ослаблению и предотвращению чрезвычайных природных явлений в бассейне реки Пяндж.

Практическая значимость работы:

Результаты исследований нашли широкое применение в учебных программах для бакалавров и магистрантов, профилирующих высших учебных заведений, академических институтов. Методы мониторинга гидрохимии рек широко используется в Институте химии им. В.И. Никитина НАНТ. Теоретические и экспериментальные результаты включены в специальных курсах по гидрохимии, климатологии и агрометеорологии кафедры метеорологии и климатологии ТНУ

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Результаты мониторинга динамики климатических характеристик верховья реки Пяндж с 1940 по 2020 гг;
2. Результаты мониторинга образования снега на метеорологических постах верховьях реки Пяндж;

3. Влияние высоты, рельефа местности на образование метеорологических условий и высоты снега на верховьях реки Пяндж;
4. Результаты изучения влияния метеорологических условий на гидрологические характеристики рек Гунт и Ванч за период 1940-2020 гг.

Личный вклад автора заключается формировании проблемы, разработке методологии, систематизации и обсуждении результатов в рамках современных представлений, обработке и графическом представлении климатических и гидрологических параметров, выработке заключения и выводов работы. Диссертационная работа охватывает результаты более восьмилетних экспедиционных и исследовательских деятельности автора.

Апробация результаты исследований докладывались на 2nd Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI-2019), 10– 13 October 2019, Sousse, Tunisia, Международной конференции «Настоящее и будущее в управлении водными ресурсами и экологией в Центральной Азии», 24 -26 июня 2019, Бишкек, Республики Кыргызстан, Ежегодных республиканских конференциях ТНУ, II Republican scientific-practical conference “Modern technologies in the electric power industry and industry”, 20-22 December 2018, Khujand, Tajikistan, International scientific conference “Actual problems of modern physics”, dedicated to the 80th anniversary of the memory of Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor Narziev V.N., April 18-20, 2018. Dushanbe, Tajikistan,

Опубликование результатов диссертации. Основные результаты диссертации отражены в 8 статьях из них одна статья в рецензируемом журнале ВАК при Президенте Таджикистана и четыре статьи в журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общая характеристика работы, четырех глав, заключения, выводов, списка литературы и глоссария.

Диссертационная работа изложена на 122 страницах компьютерного текста, из них 9 таблиц, 48 рисунка и 166 библиографические ссылки.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

1.1. Морфология реки Пяндж

1.1.1. Речная система

Система реки Пяндж состоит из пяти основных притоков, расположенных выше по течению, чем аллювиальный конус выноса Хамадони (реки Шахдара, Гунт, Бартанг, Язгулем, Ванч), а также из самой реки Пяндж. Данный бассейн также включает маленькие горные реки и три (3) естественных озера, а именно; озеро Сарез, озеро Яшикул и озеро Зоркуль. Все эти озера образовались естественным образом в результате завала реки оползневыми породами. Основные характеристики притоков и реки Пяндж обобщены в таблице 1.1.

Таблица 1.1.- Характеристика речного бассейна

Река	Длина, км	Водосборная площадь, км ²
Пяндж	801,7	82,534
Гунт	267,5	13,464
Шохдара	117,0	4,228
Бартанг	226,3	29,938
Мургаб	303,7	20,122
Язгулем	74,4	2,435
Ванч	90,3	2,050

Основной вклад в формировании стока вносят талые воды сезонных снегов и ледники. На рисунке 1.1 представлен среднемесячный расход реки на участке Чубек. Из рисунка 1.1 видно, что максимум стока соответствует второму месяце летнего сезона с началом возрастания в марте [1].

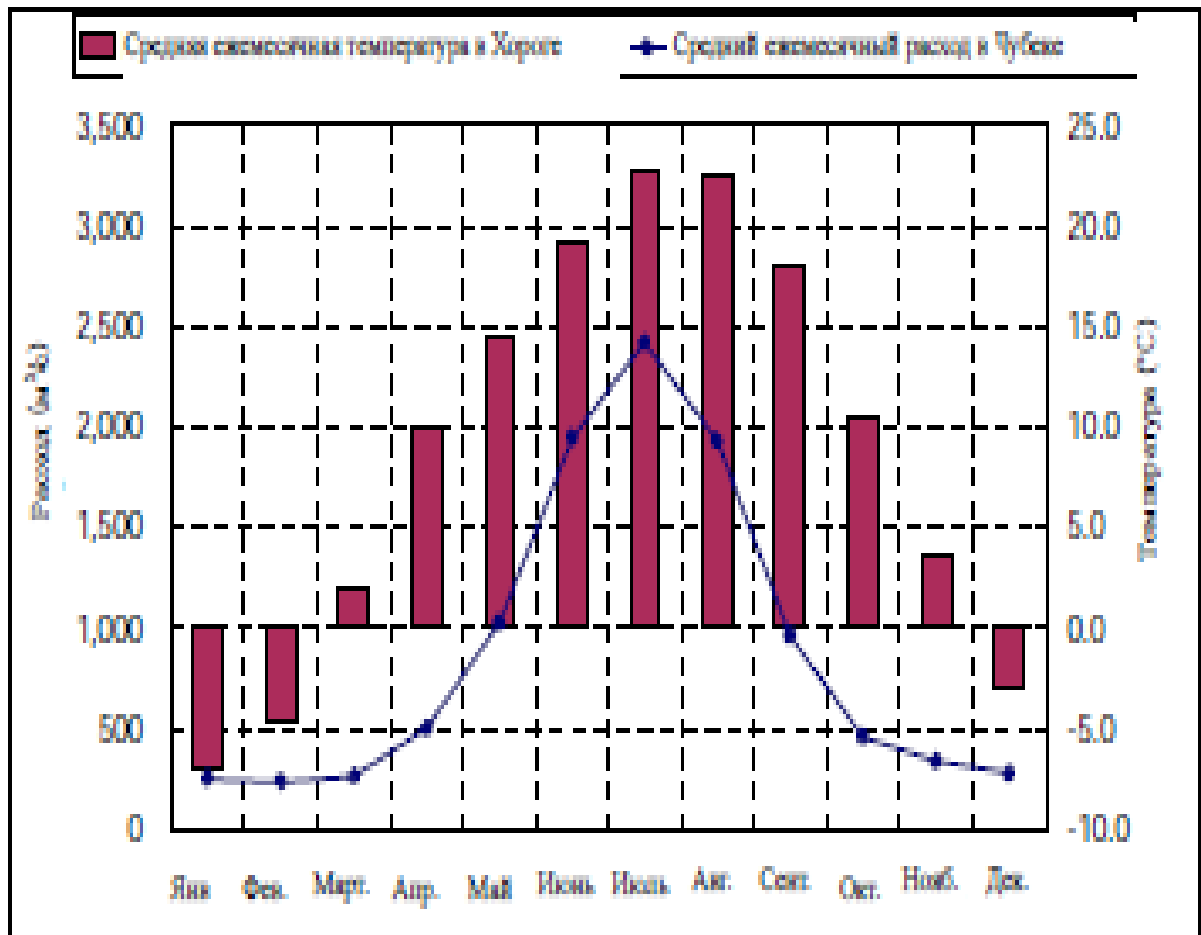


Рисунок 1.1. – Среднее значение месячного расхода реки Пяндж (1967-2005)

Территория водосбора реки Пяндж простирается по территории Исламской республики Афганистан и Таджикистана с площадью 107 000 км² и площадь бассейна 6 500 км² является равниной.

Таблица 1.2. – Значений площади территорий водосбора реки Пяндж на территории Афганистана и Таджикистана [2]

Территория, км ²	Государство		Национальная территории водосбора	
	113500	Афганистан	47670 км ²	42%
Таджикистан		65830 км ²	58%	

Основная доля водных ресурсов Амударьи и Пянджа формируется на территории Таджикистана. Из общего среднегодового стока Амударьи $78,5 \text{ км}^3$ 89,1% формируется в Таджикистане, 11,3% в Афганистане и 6,0% на территории Узбекистана. [3].

1.1.2. Уклон реки Пяндж

Уклон реки Пяндж, включая ее притоков, показаны в рисунке 1.2. По алфавитному порядку указаны местоположения на рисунке. Основной поток реки Пяндж растягивается на площади около 800 км со средним уклоном $5/1000$, который по сравнению с другими притоками является более спокойным уклоном. Река Бартанг и река Гунт по характеристике похожи на основной поток реки Пяндж. Реки Ванч, Язгулем, Шахдара и часть реки имеют более крутой уклон из-за топографических особенностей памирских высокогорье.

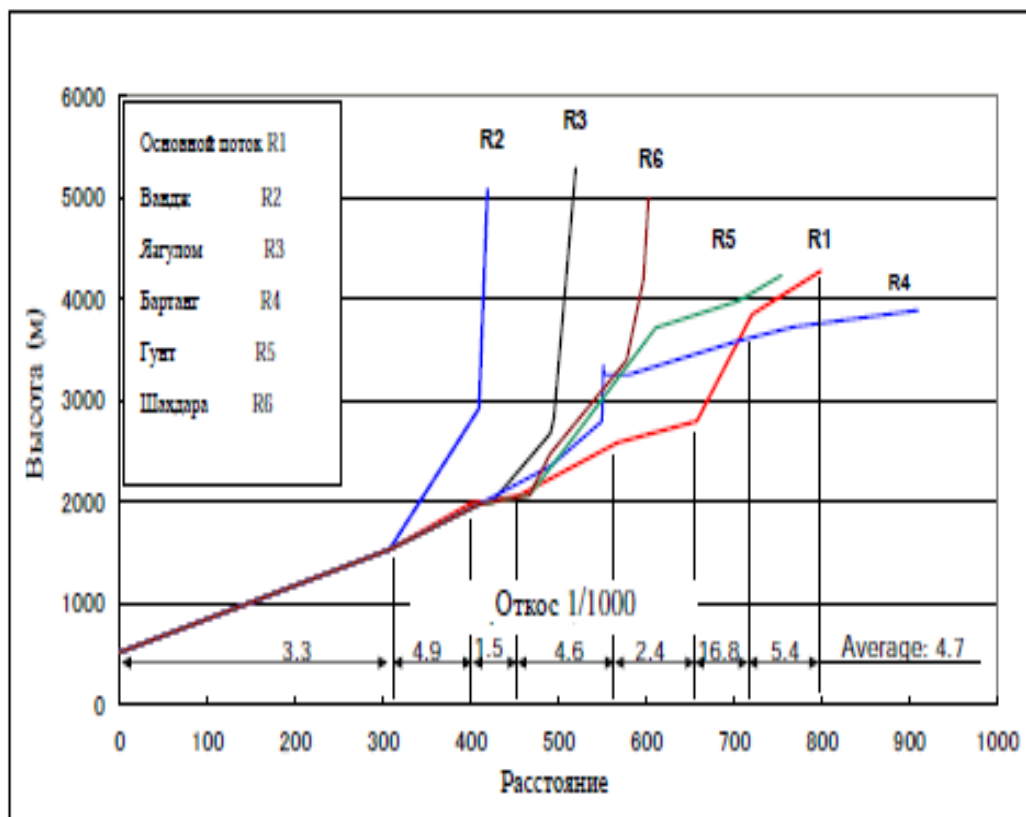


Рисунок 1.2.- Продольный профиль реки Пяндж и ее притоков

1.2. Описание топографической особенности бассейна реки Пяндж

Топографическая особенность всего бассейна представляется следующим образом:

Горная цепь с вершинами более шести тысяч метр в высоту пролегает в центральной части бассейна с севера на юг; в восточной части, высокогорье простирается с высотой более четырех тысяч метров; на западе расположена горная местность, склоняющаяся в сторону Таджикской депрессионной зоне, где расположен выбранный район Хамадони – Чубек, отметка А. Поэтому, восточная сторона центрального района бассейна имеет небольшие уклоны речных русел как R4, R5 и R1, а западная часть имеет более крутые уклоны, как R2, R3, R5 и R6 (Рис.1.3).

Направления речного потока, приведенные в Рис.1.3, формируются и одновременно отражают географическую структуру данной местности. Направление речного потока основного течения реки Пяндж (R1) вокруг В на рис.1.3, реки Ванч (R2), реки Язгулем (R3), реки Тангшеб (R7) и реки Обитиноб (R8) идет с юго-востока на северо-запад и совмещается с направлением геологических раздвигов Дарваз-Каракуль и западной частью взброса Центрального Памира. Кроме того, другие реки, как Бартанг (R4), Гунт (R5), Шахдара (R6) и основной поток реки Пяндж выше по течению точки Е, имеют направление, соответствующее с направлением восточной части взброса Центрального Памира.

Согласно инженерно-геологической карте, почва лессов и мягкая порода, состоящая из обломочных неогеновых горных пород, подвержены эрозии и пролегают по западной стороне реки Тангшеб (R7) и реки Обитиноб (R8), как показано на рис. 3. Рыхлые отложения русловых материалов пролегают вдоль следующих рек: R4, R5, R6 и R1 выше точки Е по течению.

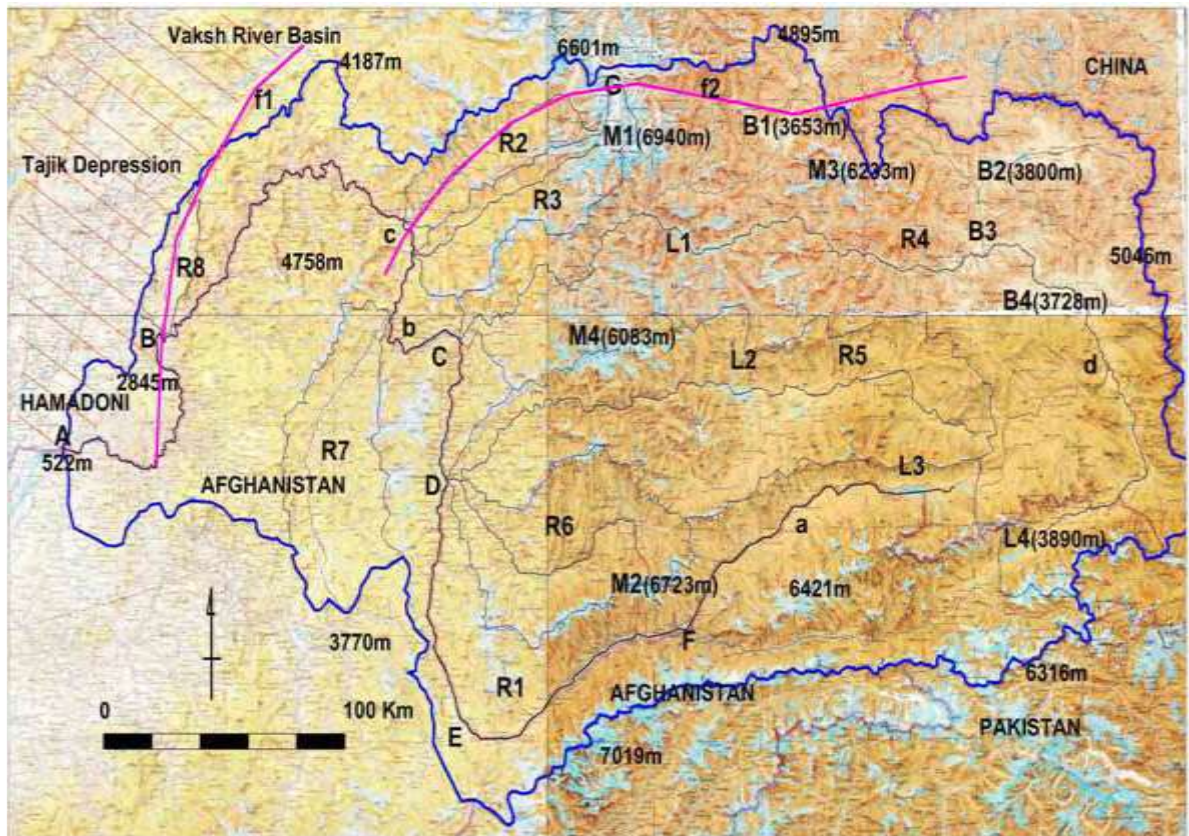


Рисунок. 1.3.- Топографическая карта бассейна реки Пяндж

Таблица 1.3. - Условные обозначения топографической карты бассейна реки Пяндж

Условные обозначения							
Отметка	Место	Отметка	Бассейны реки	Отметка	Озера	Отметка	Бассейны
A	Чубек	R1	Основной поток Пяндж	L1	Сарез	B1	Зартошкуль
B	Хирманджо	R2	Вандж	L2	Яшикуль	B2	Ранчкуль-Курагон
C	Рушан	R3	Язгулом	L3	Зоркуль-Кокджигит	B3	Мургоб
D	Хорог	R4	Бартанг	L4	Чакмактин-Бшуте	B4	Токтомушбек
E	Ишкашим	R5	Гунт				
F	Карабар	R6	Шохдара		Ледник		
		R7	Тангшеб	G1	Федченко		
Название горы							
M1	Революция			-----	Геологические разрывы		
M2	Карл Маркс			f1	Дарваз-Каракуль		
M3	Офицерони совети			f2	Центральный памирский взброс		
M4	Патхор						

1.2.1. Топографическая характеристика образования наносов в бассейне реки Пяндж

Говоря общими словами, основные причины образования наносов является цикл размораживания и оттаивания, имеющееся место в таком холодном и высокогорном районе, потому что повторения процесса размораживания и оттаивания воды в трещинах массивных породах разламывает их на куски. Поэтому, за бассейном реки наблюдаются потенциальные источники образования наносов.

Согласно анализу космических снимков, имеется много наземных форм за бассейном реки. Но. В основном наблюдается массивные породы, которые из-за своей массивности не вызывают много наносов. Кроме того, иногда массивные породы крупного размера могут стать причиной блокирования речного потока и образования естественных водоемов, бассейнов, а также и морен, который является наносной породой, переносимой движением ледников. Такие естественные водоемы и бассейны служат для удерживания наносов, образованных циклом замораживания и оттаивания.

1.3. Гидрометеорологическая информация о бассейне реки Пяндж

1.3.1. Наблюдательные станции

Гидрометеорологическое наблюдение ведется в Таджикистане с 1926 года. Агентство по Гидрометеорологии Республики Таджикистан по всей территории республики, эксплуатирует гидрологические посты в 97 местах и метеостанции в 58 местах. Из числа вышеназванных, 20 гидрологических постов и 21 метеостанция расположены на территории района изучения. Учет данных по наблюдению ведется с 1960 года, но многие части данных отсутствуют.

1.3.2. Гидрологические наблюдательные посты

Гидрологические наблюдательные посты состоят из двух видов; первый – это посты для ежедневного измерения уровня воды и второй – это посты для периодического измерения скорости воды. Последний

используется для получения реляционных формул между уровнем воды и объемом потока.

Реляционная формула в области гидрологии, обычно называется, как кривая Н-Q или кривая расходов. Ежедневно измеренный уровень воды интерпретируется в объем потока с кривой расходов.

Вдоль реки Пяндж на территории Таджикистан имеются 4 гидрологические посты. Эти посты расположены в Ишкашиме, Шидзе, Хирманджо и Нижнем Пяндже. Из них 3 бывшие посты все еще функционируют. Гидрологический пост Хирманджо является самым близким среди остальных к району Хамадони и, охватывает 77,595 км².

Месторасположение этих гидрологических наблюдательных постов показано на рисунке.1.4.



Рисунок 1.4.- Местоположение гидрологических постов в бассейне реки Пяндж

1.3.3. Станции бассейна реки Пяндж для наблюдения метеорологических условий

Для полномасштабного и точного определения метеорологических условий местности важным аспектом считается выбор географического расположения метеостанций и не менее важным плотность метеорологических наблюдательных пунктов. В горных географических широтах с учетом сложного рельефа, существенно влияющего на распространение и распределение воздушных потоков, высокая плотность установки наблюдательных станций является необходимым требованием Всемирной метеорологической организации. В Республике Таджикистан в связи с событиями 90-х годов прошлого года многие наблюдательные станции были выведены из строя. Это привело к нарушению последовательности метеорологических и гидрологических данных столь важных для разработки перспективных сценариев развития климатических условий. Ныне благодаря всесторонней помощи Правительства Республики Таджикистан и ряд международных организаций метео – и гидрологические станции восстанавливаются с возведением новых оборудованных современными измерительными приборами наблюдательные пункты.

В этом направлении имеются некоторые проблемы, связанные с тем, что многие метео – и гидрологические станции в основном располагаются в низовьях реки из-за труднодоступности верховья рек. Климатические данные получаемые из таких пунктов не отражают истинное метеорологическое состояние объектов на верховьях рек.

В таблице 1.4 обобщены основные метеостанции бассейна реки Пяндж с указанием географических координат и высоты их расположения.

Таблица 1.4. - Местоположение метеорологических станций бассейна реки
Пяндж

	Название станции	Высота (м. СУМ)	Координаты	
			Широта	Долгота
1	Шаймак	3,840	37° 32'	74° 49'
2	Булункуль	3,744	37° 42'	72° 57'
3	Джавшангоз	3,410	37° 21'	72° 27'
4	Ишкoшим	2,524	36° 43'	71° 36'
5	Мургоб	3,576	38° 10'	73° 58'
6	Ирхт	3,300	38° 10'	72° 38'
7	Совноб	2,800	38° 18'	72° 28'
8	Каракуль	3,930	39° 01'	73° 33'
9	Хорог	2,077	37° 30'	71° 30'
10	Навобод	2,566	37° 40'	71° 50'
11	Рушан	1,978	37° 57'	71° 33'
12	Хумроги	1,737	38° 17'	71° 20'
13	Дарвоз	1,279	38° 28'	70° 53'
14	Пархар	447	37° 29'	69° 23'
15	Ховалинг	1,437	38° 21'	69° 59'
16	Муминабад	1,191	38° 07'	70° 02'
17	Куляб	512	37° 55'	69° 47'
18	Московский	489	37° 37'	69° 39'

1.4. Атмосферные осадки. Распределение осадков в бассейне реки Пяндж

Данные по осадкам за период между 1983 и 1991гг., подытожены на основе данных, полученные из выбранных метеорологических станций, которые относительно хорошо сохранили данные по наблюдению. Данные по осадкам показаны с учетом средней величины ежемесячных осадков и средней величины общих годовых осадков на карте (рисунок 1.5). Рисунок предполагает, что средняя величина общих годовых осадков имеет тенденцию к увеличению с запада на восток.

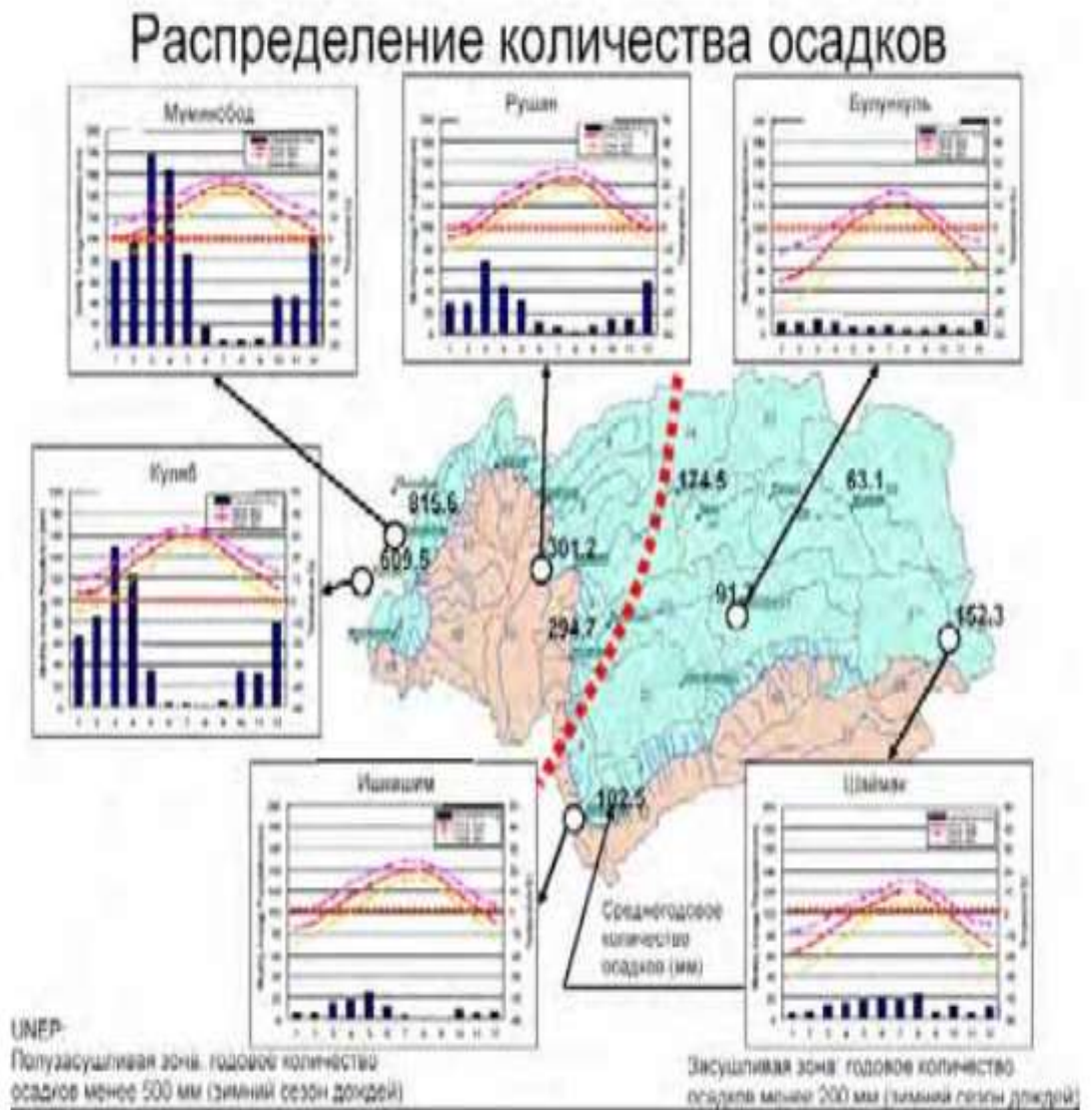


Рисунок 1.5.- Осадки по территории бассейна реки Пяндж

Среднегодовые значения осадков на верховьях реки (м/с Ишкашим, Шаймак и Булункул) составляют меньше, чем 200мм, имеют очень небольшие осадки и небольшое ежемесячное изменение в течение всего года. Посты, расположенные на западе территории, вокруг Рушана, имеют осадки больше, чем 300мм.

Ниже приводится определение засушливой зоны и полузасушливой зоны по классификации засушливой территории согласно годовым осадкам, предложенным UNEP. Классификация засушливой зоны (UNEP: 1997).

Засушливая зона:

– Годовое количество осадков меньше, чем 200мм с сезоном дождей в зимний период;

– Годовое количество осадков меньше, чем 300 мм с сезоном дождей в летний период.

Полузасушливая зона:

– Годовое количество осадков меньше, чем 500 мм с сезоном дождей в зимний период;

– Годовое количество осадков меньше, чем 800 мм с сезоном дождей в зимний период.

Согласно вышеприведенному определению, территория, к которой относятся Куляб, Муминобод, Рушан, считается как полузасушливая зона и территория, к которой относятся Шаймак, Булункул, Ишкашим, считается как засушливая зона. Поэтому, границу между засушливой и полузасушливой зонами можно обозначить на карте красной пунктирной линией, как показано ниже на рисунке 1.5.

1.5. Температурный режим бассейна реки Пяндж по климатическим зонам

Ежемесячная средняя температура в период между 1983 и 1991 гг., подытожена и приведена на рисунке 1.6 который показывает, что ежемесячная температура в Шаймаке и Булункул составляет приблизительно 10°C ниже нуля в период с октября по апрель. Это является пограничным условием между холодной и полярной зонами согласно классификации климата, предложенной Коппел. Кроме того, как следует из рисунка 1.6 температура в Ишкашине и Рушане составляет меньше, чем -3°C в период самого холодного месяца, который определяется как Холодная Зона, также температура в Муминабаде и Кулябе в среднем составляет между 18°C и -3 °C в период самого холодного месяца, который считается как Зона умеренного климата.

Среднемесячная температура

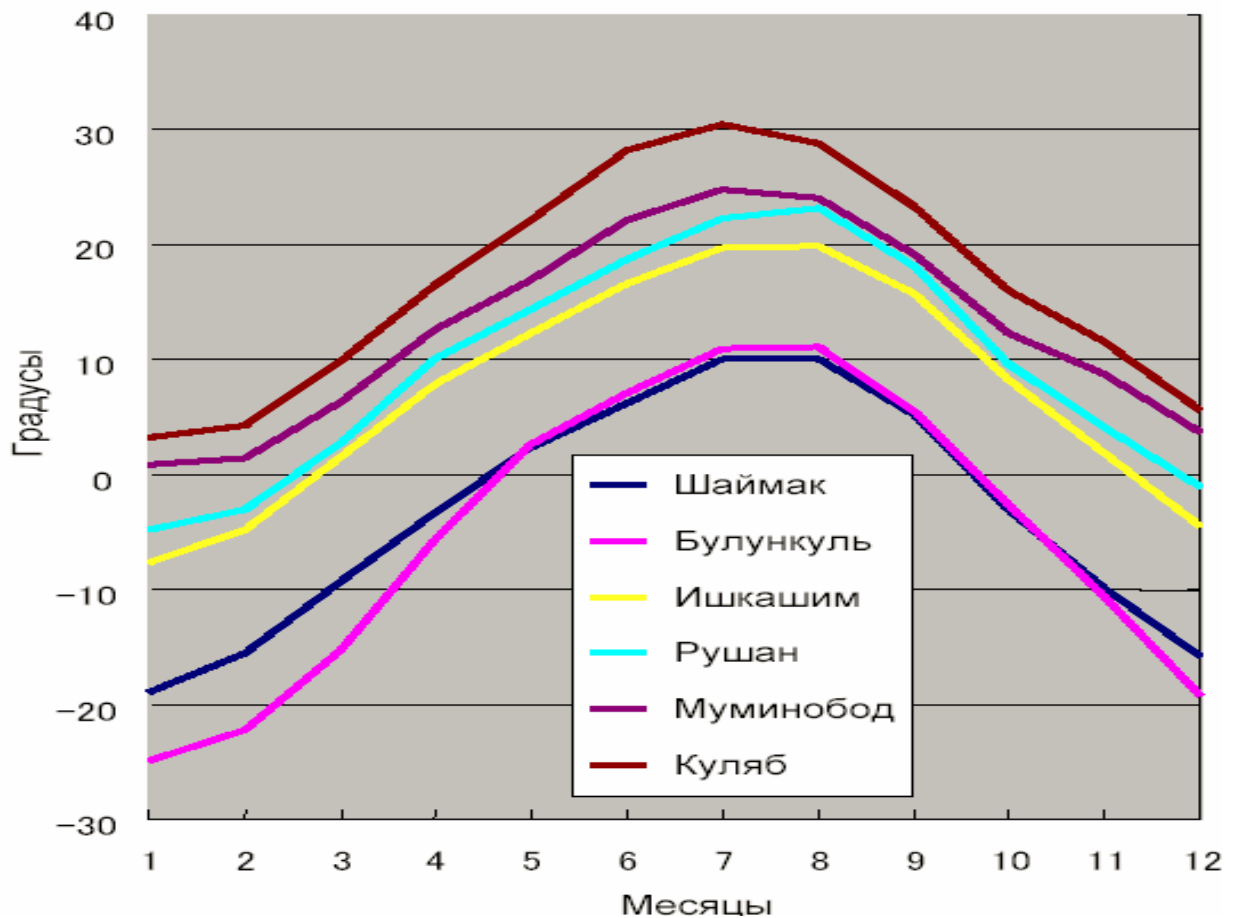


Рисунок 1.6. - Среднемесячная температура выбранных метеорологических станций в бассейне реки Пяндж

Соотношение уменьшения температуры составляет $0.65\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 100 м увеличения высоты. Данное явление общеизвестно тем, что температура уменьшается на $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ через каждое увеличение высоты на 100 м . С учетом воздействия уменьшения температуры согласно высоте зон, расположенных на высоте более 4000 м , можно отнести к Холодной Зоне речного бассейна.

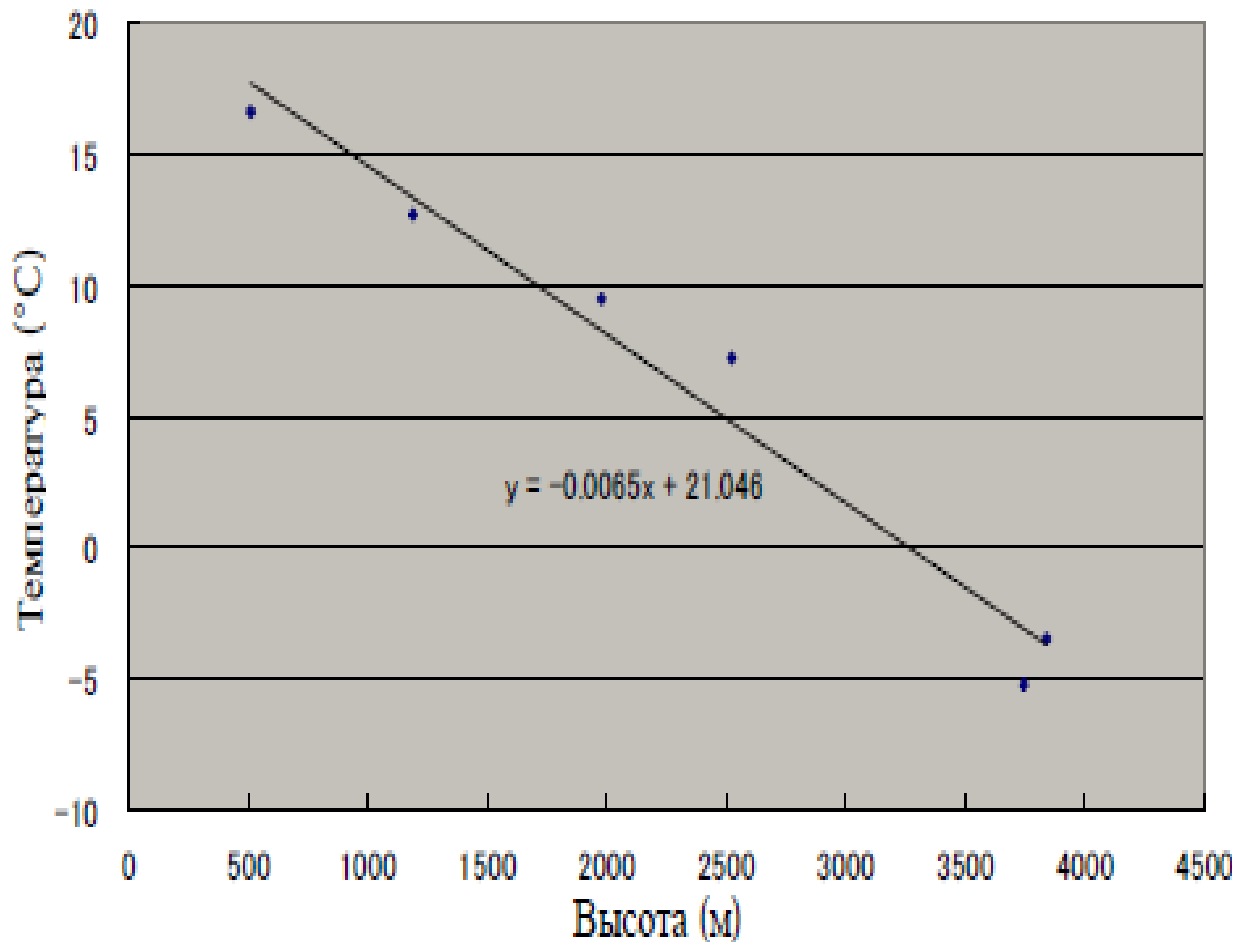


Рисунок 1.7.- Среднегодовая температура с высотой выбранных метеорологических станций в бассейне реки Пяндж

1.6. Снежно-ледовые ресурсы бассейна трансграничной реки Пяндж

Тесная зависимость продолжительности существования снежно-ледовых ресурсов от температурного режима определяет объем стока формируемых на верховьях рек и тем самым является индикатором гидрологии рек от климатических потрясений [4-7]. Изменения стока при таянии снегов и ледников могут повлиять на устойчивое развитие регионов в низовьях на долгосрочной перспективе [8,9]. Следовательно, моделирование процессов снежных и ледниковых стоков очень важны для водоснабжения, управления гидроэнергетикой и прогнозирования паводков [10]. Отсутствие непрерывных и последовательных рядов метеорологических и гидрологических данных является главной причиной разработки

математических моделей, точно прогнозирующих перспективу изменения климатических и гидрологических характеристик бассейнов рек.

Ныне всевозрастающие результаты исследований показывают с о высоким темпе деградации оледенения и площадей снежного покрова на планете Земля [11,12].

Предсказываются различные пути изменения количества снега в мире при повышении температуры на Земле [13-15]. Трансформация значений глубины снежного покрова, водного эквивалента снега (ВЭС) связано с серьезными негативными явлениями почти во всех компонентах экосистемы [16]. К сожалению, из трех перечисленных выше снежных единиц, только размер области снежного покрова легко контролируется с использованием спутников. Этот мониторинг, проводимый в течение нескольких десятилетий [17,18], показал, что глобальная область снежного покрова (ОСП) снижается в течение последние годы [19].

Низкая температура и увеличение высоты горных террас с учетом рельефа местности влияющий на распределение осадков приводят к накоплению снега. Наряду с изучением текущей ситуации образования снежного покрова проблема прогноза их состояния и развития на ближайшую перспективу представляет особое значение для планирования деятельности водоемких секторов и основных потребителей водных ресурсов. В этом плане математическое моделирование зарекомендовало с лучшей стороны. Однако для разработки таких моделей и их калибровки необходим глубокий ряд данных натурных измерений. Ныне основными показателями характеризующие снежного покрова являются высота и водный эквивалент снега [20, 21]. Эти показатели также востребованы для разработки математических моделей по прогнозу гидрологических характеристик [22-24].

На территориях с развитой площадью оледенения талая вода вносит большой вклад в ежегодный сток, чем дожди. Летний сток может быть усилен или сбалансирован присутствием ледников в водосборном бассейне

[25], в зависимости от степени охвата ледников и межгодового распределения осадков. Одна шестая часть населения мира зависит от воды, происходящей из снегов или ледников [26].

Поэтому вклад ледников в формирование стока рек в условиях изменения климата находится в центре внимания и глубоких исследований во многих регионах мира [27-29]. В последние годы в открытой печати появились научные статьи, которые основываясь на результатах некоторых математических моделей указывают на наблюдении максимального значения объема воды рек в весенний период обосновывая тем, что из-за деградации ледников и разрыхления их структуры даже не высокие значения температуры весной приводит к их таянию и снега и оказывают влияние на гидрологические характеристики рек [30,31].

В двух крупных водотоках бассейна Аральского моря (Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи) благодаря благоприятного температурного режима летнего сезона доля талых вод из верховьев рек в общий объем стока составляют ощутимая (около 70 и около 80 %) соответственно. Однако с 70-х годов по девяностые годы прошлого века и с начала текущего столетия в водосборах всех рек вклад ледниковых вод начала убиваться в среднем на 16%. Данная величина для водосбора Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи составила соответственно 5 и 20%.

Вызывает особое беспокойство тот факт, что в последние десятилетия отношение невозобновляемой к возобновляемой части талых ледниковых вод возрастает. Данное явление характерно для водосборов почти всех крупных рек в которых доля ледникового питания составляет солидное значение. По результатам некоторых расчетов возрастание отношения невозобновляемой к возобновляемой части составляет близко к ста процентам. Это объясняется процессами деградации ледников и уменьшения оледенения.

Часто при полевых работах по измерению глубины снега допускаются серьезные ошибки и отражение их в научных публикациях приводит к заблуждениям. В краю угла для проведения соответствующих расчетов

берется климатические характеристики избегая процессы связанные с рельефом местности и происходящих там процессов. Перемещение выпавшего снега по поверхности и его накопление в вогнутых местах поверхности. Доминирующим фактором в осаждении атмосферных осадков в конкретно выбранной географическом районе является продвижение влажной массы воздуха по территории и влияние рельефа [32-35].

Хотя диапазон изменения осадков в годовом разрезе называют более чем широкий интервал от 300 до 3000 мм для двух главных водных артерий бассейна Аральского моря [33,36-38], но он очень сильно изменчив и не охватывает того количества осадков, осаждающих непосредственно на поверхности ледников.

На сегодняшний день пока отсутствует методы по точному определению осадков выпадающих на поверхности ледников. Это естественно приводит к трудностям по установлению точных значений ледникового стока [29,32,38-41-43].

Следует отметить, что для точного установления ледникового стока выполнены цикл исследований. Например, для определения ледникового стока притоков реки Ганг на территории Непала авторами работ [44,45] проводились измерения и применение результатов дистанционного зондирования и было установлено, что доля ледникового стока составляет не более 3% равного примерно количеству атмосферных осадков 1500 мм / год. А по результатам работы [46] данная величина равна 10% СГС. Аналогичные исследования на бассейнах двух крупных рек Аральского моря проводились давно в сороковые годы прошлого столетия [34,47-62].

Определение ледниковых стоков со всех бассейнов Амударьи и Сырдарьи может быть составлена из трех масштабных комплексных оценок, произведенных в [56,57,59]. Все три масштабные оценки охватывали состояние ледников с 1960 по 1990 гг и проведены с использованием одного из параметров ледников баланса массы. Кроме того, в рамках этих трех оценок рассматривались только стационарные ледники. В результате было

установлено о совместимости результатов трех оценок. Для памирских ледников проводились соответствующие расчеты в работе [59] и далее эти расчеты воспроизводились для ледников юго-западной части бассейна Сырдарьи.

Отрадно, что благодаря всесторонней поддержке международных финансовых структур и организаций и всестороннем усилении национальных гидрометеорологических агентств ныне устанавливаются комплексные автоматические метеорологические станции непосредственно на ледниках и площадях оледенения. Естественно это даст существенный толчок в получении достоверных данных о состоянии ледников, расчета его характеристик. В конечном итоге это отразится на резком повышении точности определения гидрологических характеристик водных артерий. Еще давно было указано, что ледниковый сток в бассейнах Аму-Дарьи и Сырдарьи составляют соответственно около 1600 и более 1000 мм/год. Думается, что эти цифры должны подвергаться проверке с учетом современных данных.

Необходимость разделение бассейна Аральского моря обусловлены прежде всего большим многообразием климатических условий и сложностью орографии. Бассейн Аральского моря условно разделен на верховьях и низовье двух его основных водотоков. Верховья рек эти территории горных стран с преобладанием горной орографией и низовья обширные долины и равнины [63-66]. Горный Памир является регионом смены разных проникающих воздушных масс, в основном сухого центральноазиатского на влажный и холодный.

1.7. Использование водных ресурсов реки Пяндж и ее притоков для ирригации сельскохозяйственных земель

Реки Бартанг, Язгулем, Гунт, Ванч и др. считаются основными водообеспечивающими компонентами р. Пяндж (таблице 1.5).

Таблица 1.5. - Притоки реки Пяндж

Приток	Протяженность, км	Площадь водосбора, км ²
Язгулем	80	1970
Бартанг	558	24700
Гунт	296	13700
Кызылсу	230	8630
Ванч	103	2070
Яхсу	160	2710
Обихумбоу	49	509

Коллекторно-дренажная сеть бассейна реки Кызылсу (районы Мир Саид Али Хамадони, Фархор и Куляб) в основном расположены на уровне реки и состоят из объема пресной воды, сбрасываемой из рек Пяндж, Кызылсу, Яхсу, которые почти равны источнику взятой воды. Река Каферниган также разделяет долину Кабадиян с севера на юг и впадает в реку Пяндж.

Таблица 1.6. - Использование водных ресурсов реки Пяндж и ее притоков для орошения в 2019 г

Наименование бассейнов и рек	Наименование районов из оросительных систем	Объем воды, м ³	Орошаемые земли, га
река Пяндж	район Пяндж	282,6	15061
	район Хамадони	138	16430
	район Фархор	252,4	24632
река Пяндж	район Дарваз	12,1	993
	район Ванч	24,5	2577
река Бартанг	район Рушан	25,4	2024
	район Шугнан	14,2	3525
река Гунт	район Ишкашим	32,6	4472
	район Хорог	6,4	297
река Хумбов	район Мургаб	3,0	2036
	район Рошткала	20,0	2846

Река Пяндж имеет большое количество наносов, и по оценкам порядка 750000 м³ отложенных наносов впадают в Чубекскую ирригационную систему каждый год, что является огромным бременем для бюджета по эксплуатации и обслуживанию очистки ирригационной сети. Донный нанос отводится обратно в реку Пяндж на Шлюзе-Регуляторе Основного Канала Чубек через сливной канал с пороговым уровнем 60 см. Так концентрация наноса ассоциируется с водосбросом, около 84% наносов входят в Чубекскую ирригационную систему во время трёх месяцев лета июнь, июль, август. К счастью гидрология и существующие инфраструктурные сооружения способствуют строительству эффективного и надёжного осадко

– отводящего бассейна, который мог бы располагаться в начале участка Главного Канала Чубек. Сравнение ретроспективных среднегодовых показателей стока главных рек в бассейне Пянджа с будущими показателями согласно прогнозам гидрометеорологических моделей, к 2100 году ожидается постепенное увеличение годового стока реки Пяндж. Для реализации программы продовольственной безопасности и с учетом демографических факторов возникает необходимость в вовлечение новых земель с повышением эффективности каждой единицы орошаемых земель и поливной воды. Этот процесс требует изъятия дополнительных объемов воды. Нынешнее состояние климата, характеризуемое все возрастающим трендом температуры, порождает новые проблемы. С увеличением температуры пропорционально растет испарение и потребность к воде, а с другой стороны увеличение случаев чрезвычайных природных явлений сопровождаемые большими экономическими затратами. Интенсивное испарение воды из сельскохозяйственных земель приводит к резкому ухудшению агрохимии земель, накоплению различных солей и химических элементов. Перечисленные факторы естественно отражается на естественном развитии биоразнообразия, уровни жизни людей.

Обобщая прогнозы специалистов можно перечислить следующие факторы изменения климата:

- Увеличение температуры до 2°C с 2010 по 2050 годы и существенное возрастание испарения;
- Смещение на ранний период таяния снегов и ледников и проявление максимальных значения стока рек в начале календарного года;
- Увеличение частоты возникновения наводнений.

ГЛАВА II. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БАССЕЙНА РЕКИ ПЯНДЖ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

2.1. Климатические зоны горного Памира

Горный Памир с точки зрения классификации территорий по климатическим показателям рассматривается как транзитная и смены различной природы воздушных масс, а именно влажной средиземноморской на центральноазиатский [63-66]. Для планомерного и рационального использования водных ресурсов, предотвращения возникновения очагов природных чрезвычайных ситуаций необходимым условием является наличие фактических данных, которых можно накапливать всесторонним мониторингом. Наглядным примером таких рек с зоной формирования водных ресурсов является трансграничная река Пяндж. Многообразие климата по территориям Таджикистана описываются в рамках четырех климатических сценариях [68]. Схема распределения республики по климатическим зонам представлена на рисунке 2.1.

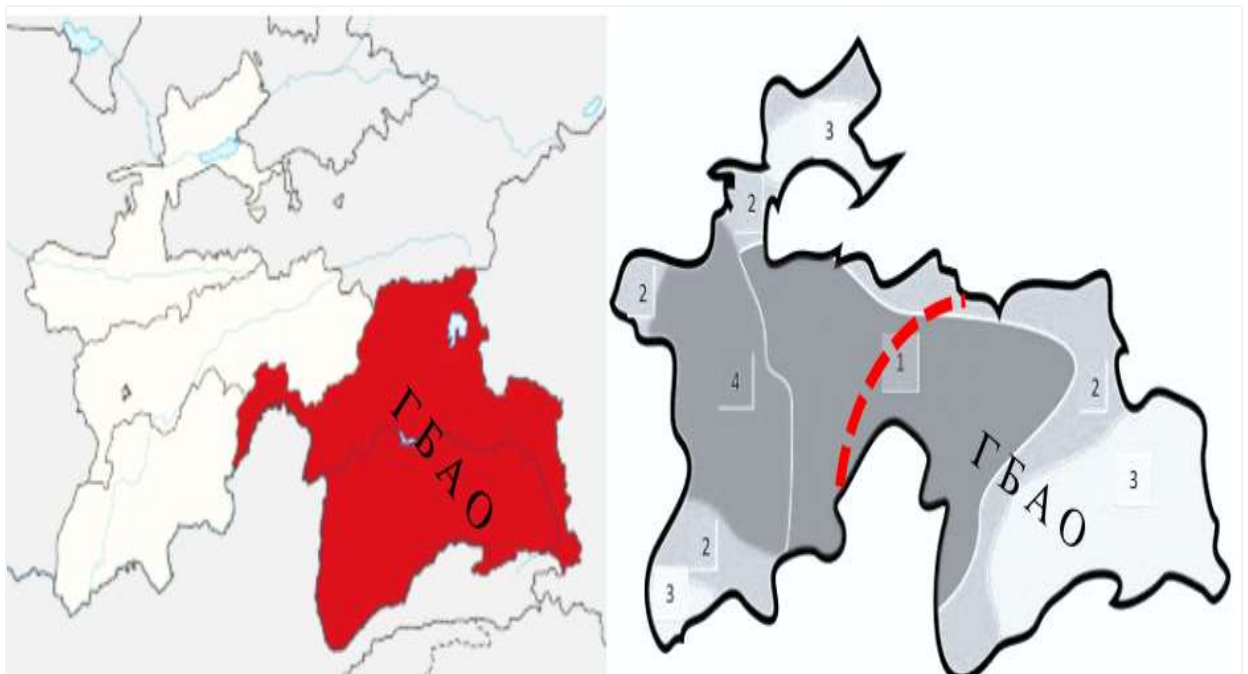


Рисунок 2.1.- Климатическое районирование Таджикистана и Памира

Бассейны трансграничной реки Пяндж и реки Вахш по климатическим особенностям разделяются на Памиро-Алай, Западный, Центральный и Восточный Памир.

2.2. Динамика температурных условий климатических зон водосбора реки Пяндж за период 1940-2020 гг

Для мониторинга метеорологических условий горного Памира использовались данные метеостанций Дарваз (1279 м н.у.м.), Хорог (2075 м н.у.м.), и Мургаб (3576 м н.у.м.).

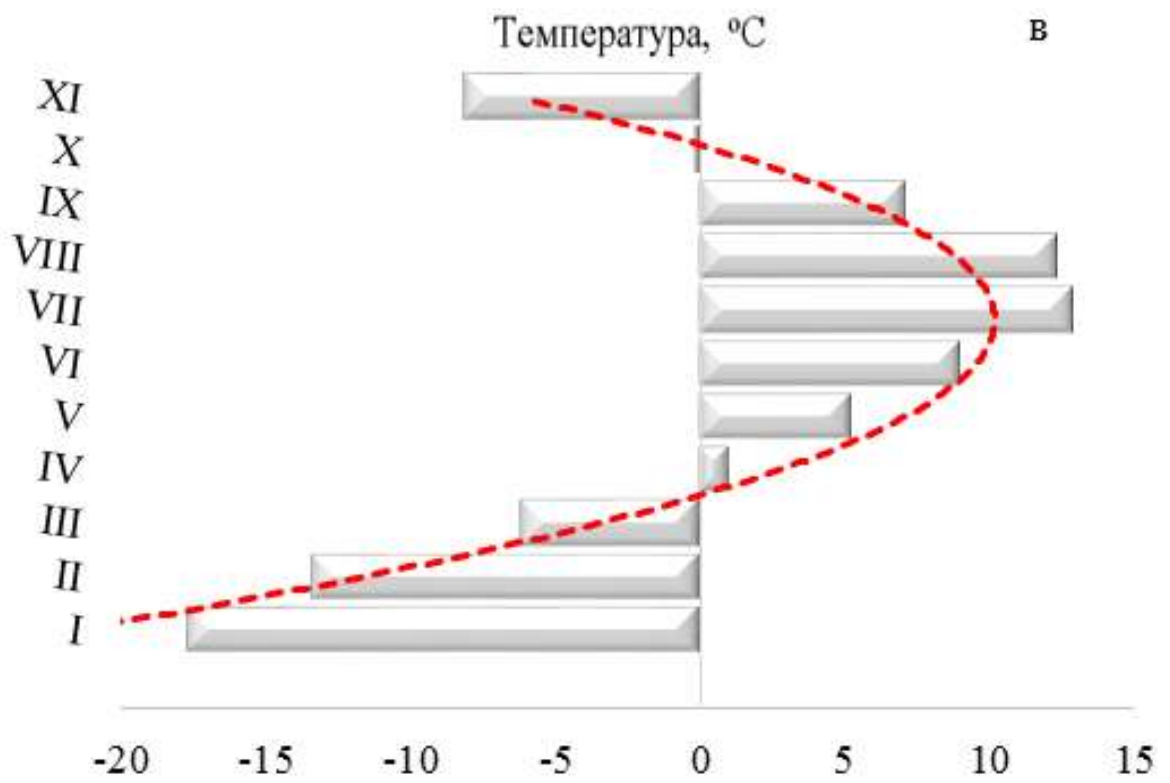
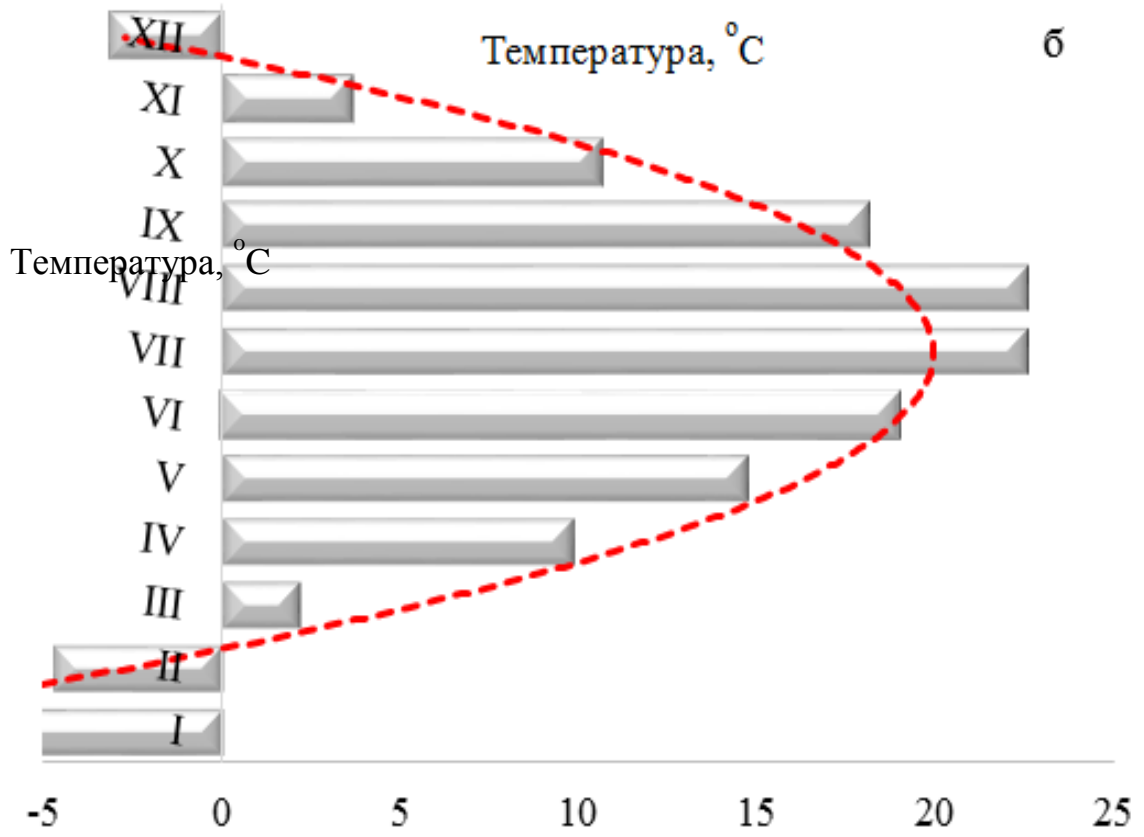
Согласно [69] не исключается влияния западного потока воздушных масс на образование и распределение осадков и значений температуры по климатическим зонам Памира.

В настоящем разделе обобщены результаты мониторинга климатических характеристик зон Памира и изучения динамики температуры с 1940 по 2020 гг. с использованием данных метеостанций Пархар, Хорог, Мургаб и им. Горбунова.

Следует отметить, что из четырех климатических зон Памира в трех зонах простирается территория водосбора реки Пяндж (рисунок 2.1).

На рисунке 2.2 представлены среднемноголетнее месячное значение температуры по юго-западной, западной, восточной и центральной части Горно-Бадахшанской Автономной Области-основных зон формирования водного стока Трансграничной реки Пяндж.





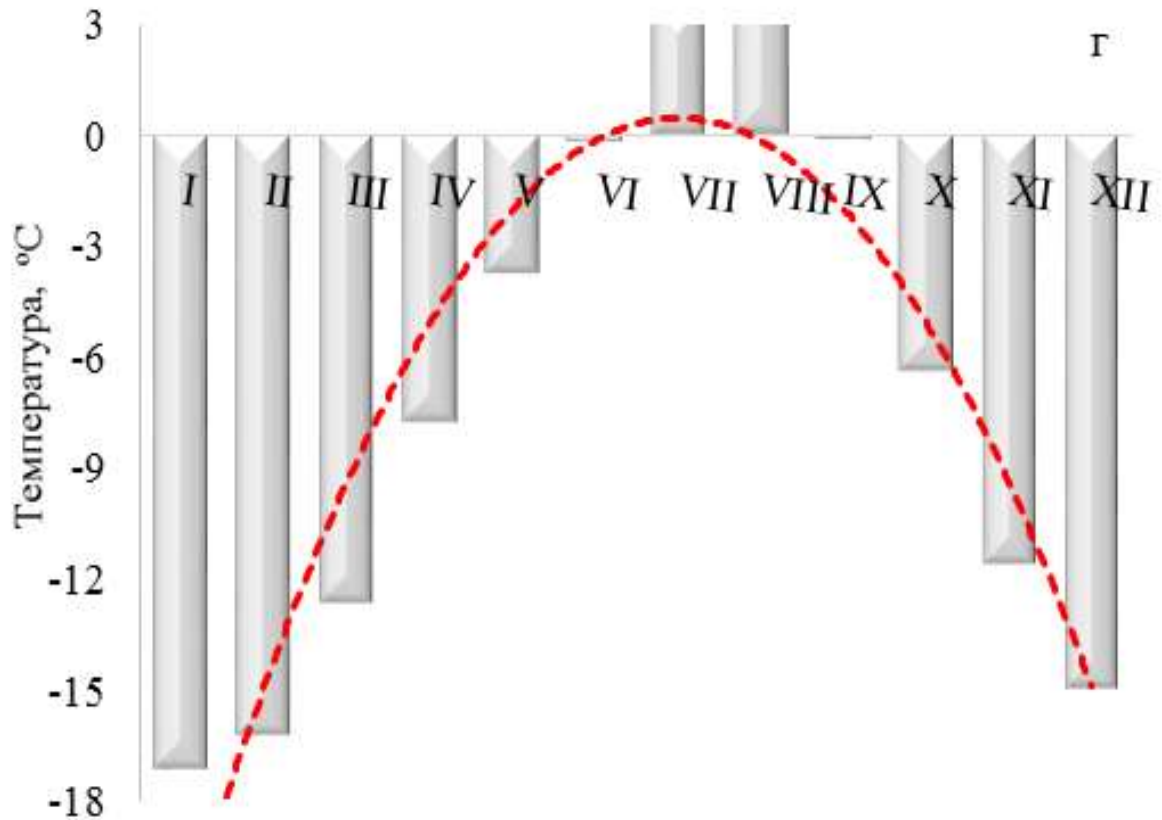


Рисунок 2.2.- Среднегодовое месячное значение температуры по метеорологическим станциям:

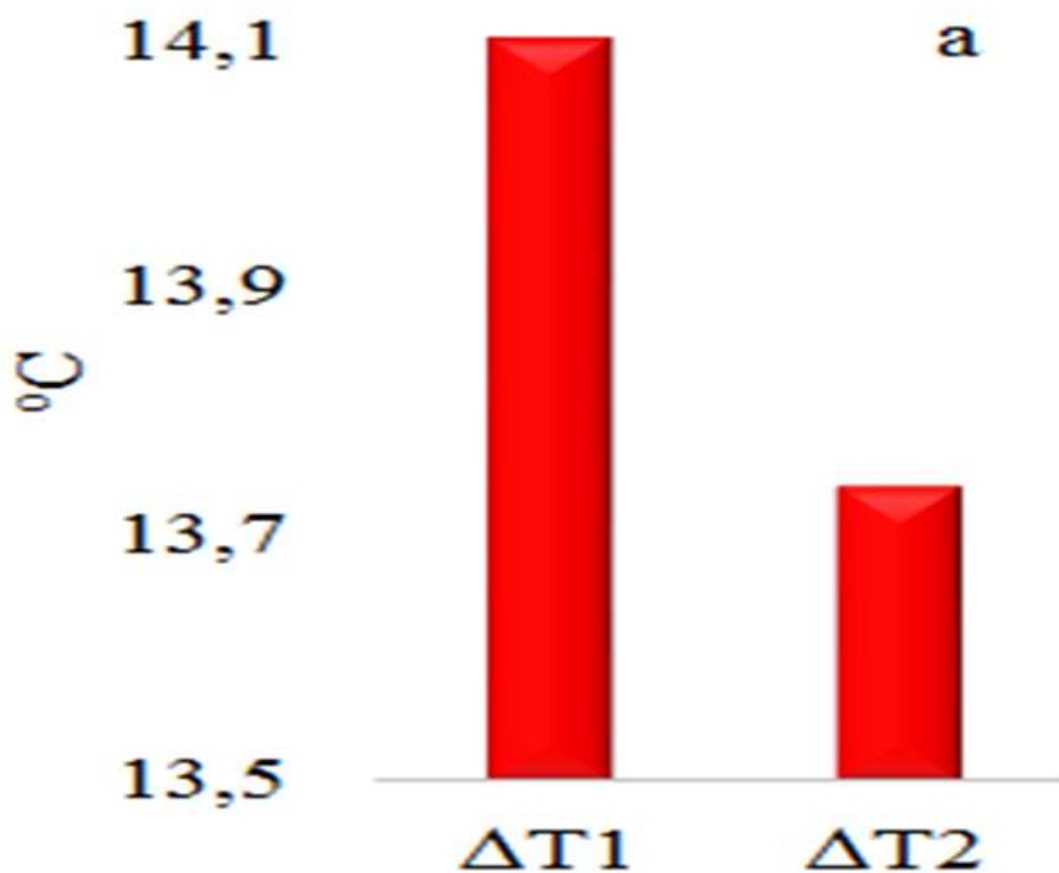
а – Дарваз; **б** – Хорог; **в** - Мургаб; **г** - Федченко

Из сравнения гистограмм становится очевидным, соответствия максимальных значений температуры климатических зон к разным месяцам года. Наблюдаемое явление изменения температуры в горной местности можно объяснить наличием следующих факторов: проникновение циклонов из территорий Ирана и Афганистана; уменьшение температуры по высоте горной местности [70].

Следует отметить, что, хотя максимальные значения температуры климатических зон Горно-Бадахшанской Автономной области приходится к разным месяцам года, однако за период наблюдений 1940-2020 гг по всем климатическим зонам наблюдалось увеличение температуры относительно базисного периода 1960-1990 годы (рисунок 2.3).

Таблица 2.1. - Среднеголетняя температура на метеорологических станциях бассейна реки Пяндж с 1940 по 2020 гг и с 1960 по 1990 гг

	Дарваз	Хорог	Мургаб
Высота, м.н.у.м	1279	2077	3576
T(1960-1990гг)	14,07	8,98	-1,29
T(1940-2020гг)	14,71	9,08	-0,99
ΔT	0,64	0,1	0,3



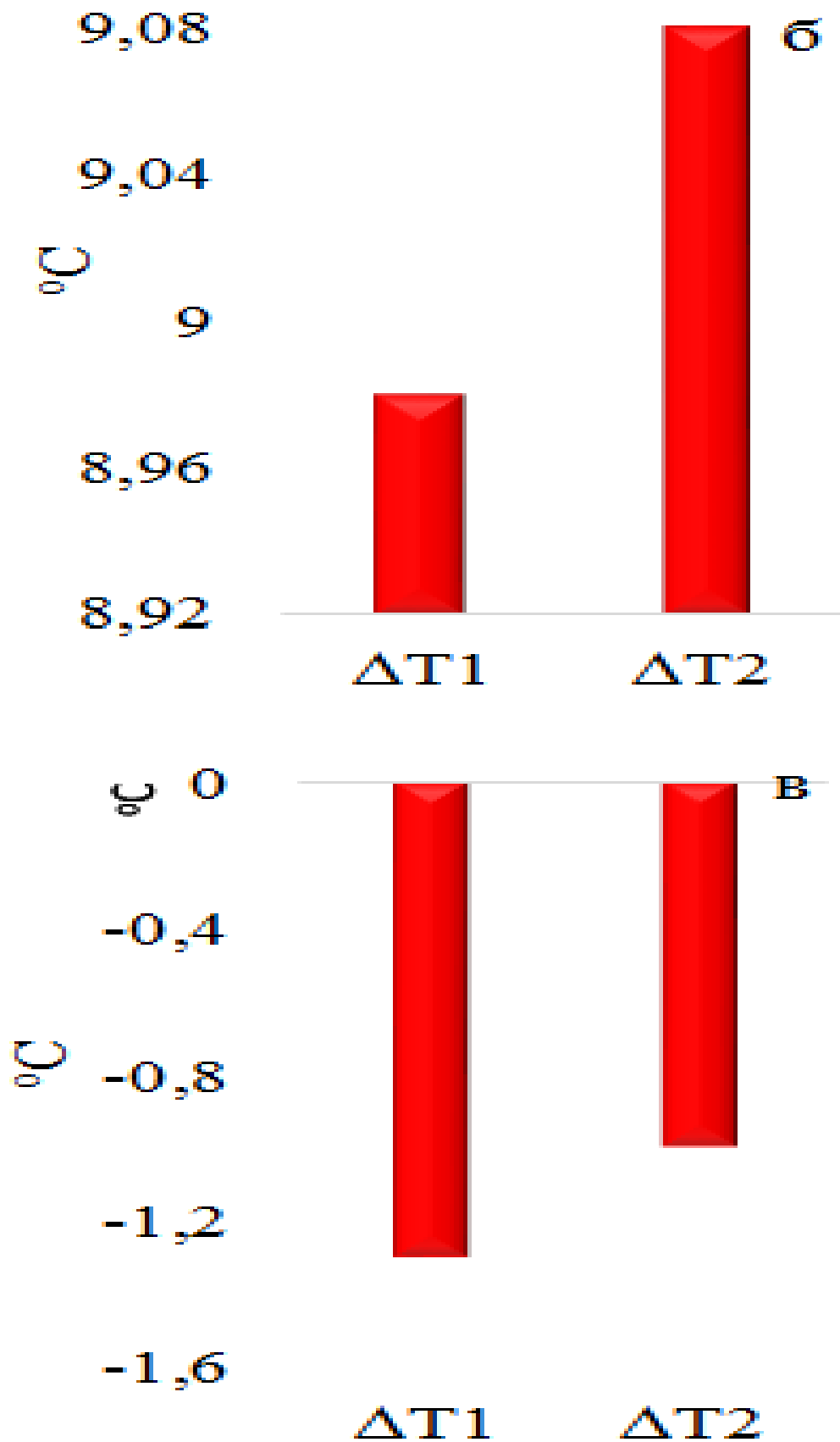


Рисунок 2.3.- Изменение среднееголетних значений температур на верховьях реки Пяндж за период 1940-2020 гг по отношению к базисному периоду 1960-1990 гг: а - Дарваз; б - Хорог; в - Мургаб

Тренд нарастания температуры по климатическим зонам Памира отличались друг от друга и более высокое значение скорости их изменения проявлялись на высотах менее 2000 м над уровнем моря.

2.3. Распределение снега по верховьям реки Пяндж

Глобальное изменение климата внесло существенные изменения в естественное развитие природных индивидов, человечества. Если для адаптации природных компонентов экосистемы потребуется более длительное время, человечество для ускорения данного процесса направило все усилия и умов по созданию противовеса к изменениям климата. Всеобщее признание роли парниковых газов в инициировании климатических изменений направило внимание политических, финансовых и экологических структур к разработке альтернативных источников энергии.

Известно, что наиболее существенное влияние изменения климата наблюдается в горной экосистеме. Современная тенденция развития природных явлений (потепление климата, чрезвычайные природные ситуации и др.) вызывает особую тревогу у горных стран. Постановлением Правительства Республики Таджикистан от "3" мая 2010 г. № 209 для постоянного мониторинга и изучения ледников Таджикистана утверждена Государственная программа изучения и сохранения ледников Республики Таджикистан на 2010-2030 годы. Необходимость утверждения такой программы обосновывается тем, что несмотря на небольшую площадь территории (чуть более 10% общей площади Центральной Азии) Таджикистан обладает более 11000 км² площади оледенения, занимаемой более 14 тыс. ледников и формирует более 65 % водных ресурсов региона. Главная зона оледенения республики находится на Памире с общей площадью 8500 км².

Факт изменения климата и ее последствия не вызывает ни у кого сомнений. Тем более что об этом накоплен достаточно широкий материал наблюдений [71]. В более явном виде катаклизмы климата проявляются в

регионах широко использующие талые воды ледников и снега [72] так как деградация площадей оледенений и снежного покрова отразится на изменение стока водных артерий. Сокращение стока рек приводит к дефициту как питьевой, так и вод для ирригации и в конечном итоге к проблеме нехватки продовольствия. Изменения площадей сезонных снегов и оледенений могут привести к изменчивости стока рек и, следовательно, к доступности воды у населения, проживающих ниже по течению [73]. Обобщая вышесказанное можно утверждать, что ледники являются барометром водности рек и благосостояния населения земли [74,75].

Предложенный МГЭИК прогноз увеличение температуры в бассейне Аральского моря к концу текущего века на $3,7^{\circ}\text{C}$ должен стимулировать расширения мероприятий по разработке научно обоснованных механизмов адаптации. Отрадно, что ныне в этом направлении ведутся целенаправленные научные и прикладные исследования [76-78].

Ныне наблюдается сокращение геометрических параметров многих ледников Таджикистана. Отступление до 1,5 км, уменьшение площади на более 10 км² при современном ежегодном отступлении до 20 м ледника Федченко и нынешнее состояние ледника Гармо характеризуемое его ежегодным отступлением до 10 м и ежегодным оседанием на 4 м вызывает особую тревогу руководителей стран, специалистов и у населения региона [79].

Безусловно факт, что положительный тренд массового баланса ледников напрямую зависит от атмосферных осадков в виде снега на больших высотах. К сожалению, учитывая нынешний темп изменения климата можно утверждать, что запасы снежных покров почти во всех высокогорьях земного шара идет на убывание [80,81]. Такое развитие событий имеют серьезные последствия для естественного функционирования компонентов экосистемы и жизнедеятельности населения планеты [82-85].

Роль высокогорного Памира наряду с его главной функцией - обеспечение водности водных артерий также является регуляция

функционирования компонентов экосистемы, образование природных комплексов, очищение атмосферы и обеспечение жизнедеятельности биоразнообразия. [86].

Вклад Памира в формировании климата, снежного покрова и в обеспечении водой водных артерий описано в [87] с широким представлением результатов исследований. Установлено, горный рельеф Памира является доминирующим фактором в образовании снежного покрова и распределения влажных воздушных масс по бассейнам рек на высокогорьях [40].

Следует отметить, что температура и высота рельефа являются основными факторами влияющие на глубину формируемого снежного покрова. Рельеф местности также является одним из определяющих факторов в образовании слоев снега достаточной высоты.

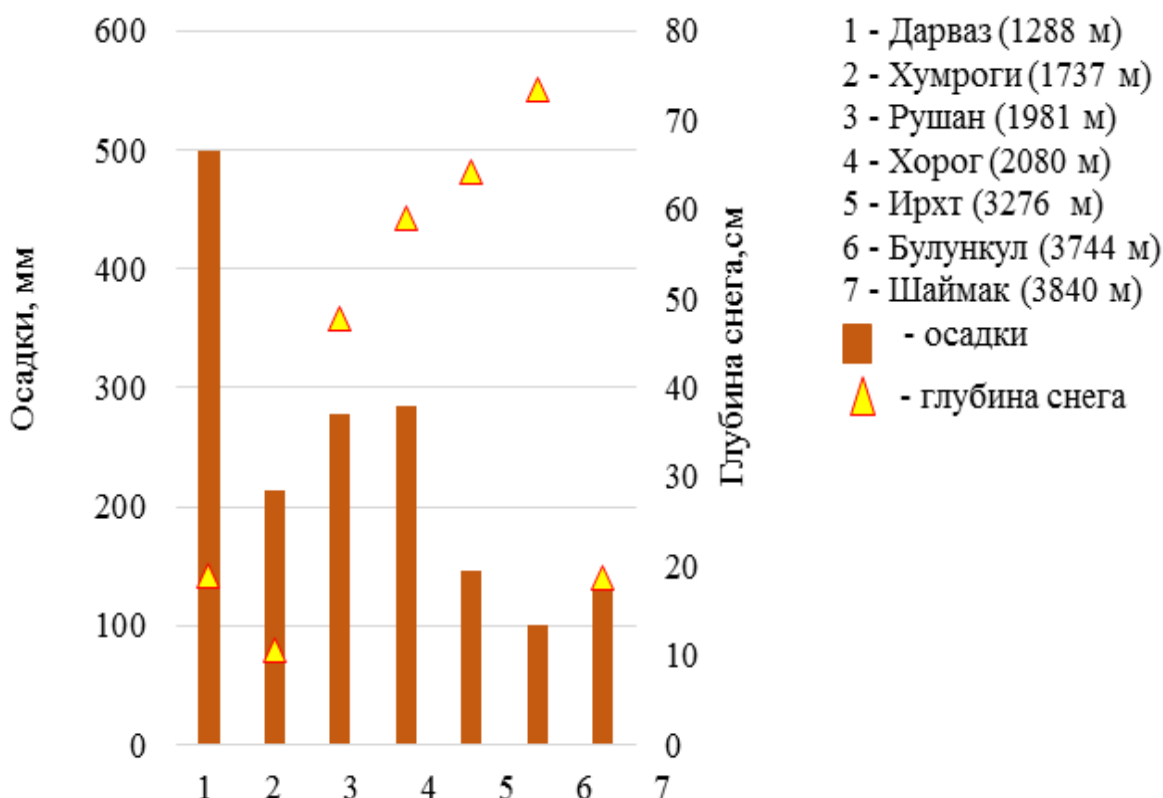


Рисунок 2.4.- Распределения осадков и высоты снега в зависимости от высоты местности

Как видно из рисунка 2.4 определенной закономерности между высотой местности и атмосферными осадками не прослеживается.

Как следует из рисунка 2.4 разница высоты расположения метеостанций Шаймак и Ирхт достаточно существенная и составляет более 500 м. Однако среднегодовое количество осадков в них характеризуются почти одинаковым значением.

Проведением соответствующих расчетов было установлено, что отношение количества снега к осадкам для метеостанций водосборной территории реки Пяндж следующее: Рушан- 27%, Шаймак - 20%, Хумроги - 5%.

Умеренный тренд динамики температуры на верховьях по сравнению с низовьем можно принять как фактор влияния рельефа местности на движение потоков воздуха [87]. Это было продемонстрировано сравнением динамики изменения температуры на высотах 1300 м.н.у.м и более 3700 м.н.у.м. Снежный покров формирующиеся на более низких широтах подвержен быстрому растаянию.

Наличие широких долин направленные на западную часть ГБАО между центральной и южной части Памира и направленные на встречу западным влажным потокам обеспечивает достаточным количеством влаги региона изменение которой происходит с градиентом осадки 40 мм /100 м. Продвигающая на восток воздушная масса из-за высоких вершин (5000 – 6000 м.н.у.м) вынуждена разгрузиться влагой, и преваляющая масса является невлажным. Это приводит к тому, что в Восточном Памире наблюдается дефицит влаги и осадков.

Более обильные атмосферные осадки были зафиксированы на западе и центральной части ГБАО, которые характеризуются благоприятным температурным условием для формирования достаточной глубины твердого осадка.

Имеются предположения, основанные на ряд теоретических предпосылок и математических моделей, что максимальный расход воды рек наблюдается в весенний период благодаря таянию слоев снега [90,91]. В таких процессах причастны и ледники, но вклад талых ледниковых вод в

гидрологию водных артерий проявляется позже-в летный сезон. При площади водосбора сто тысяч квадратных километров и единицей процента ледникового покрова вклад ледников достигает 25% [92,93].

Существенный вклад таяния снегов и ледников в образовании ощутимого расхода речных вод наблюдается в бассейнах Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. В количественном выражении это около 70 и 80% соответственно. Хотя наблюдалось уменьшение на 5-25% талых вод с 1960 по 1990 гг и с 2001 по 2010 гг. в большинстве водосборов, однако в реке Меконга таяние снега увеличилось на 30% за счет незначительного увеличения площади снежного покрова. В двух главных водных артериях региона Центральной Азии (Аму-Дарья и Сыр-Дарья) наблюдалось уменьшение доли талых вод соответственно на 5 и 20% [89].

Вызывает особую тревогу увеличение отношения, невозобновляемой к возобновляемой части ледникового стока (в среднем от 18 до 33%) происходящее в большинстве бассейнах рек. Это признак уменьшения площадей оледенения.

Естественно ожидать, что с процессами деградации ледников и уменьшение площади оледенения и сокращения языковой части ледников может образоваться свободное место от языка ледника до истока реки. С начала таяния и до достижения талой воды до реки занимает определенное время. Это означает, что изменяется гидрограф реки определяющий сезонное распределение стока [94,95]. Особенность рельефа местности может привести к серьезным ошибкам при измерениях климатических характеристик. Например, ветровое перемещение по рельефу местности и накопления их в проемах и низинах местности могут влиять на значения измерения глубины снежного покрова. Неровности и вогнутые части рельефа превращаются в места накопления снега [96,97].

К сожалению, пока отсутствует надежные методы, обеспечивающие достоверность результатов фактического вклада талых ледниковых вод в образовании стоков рек [106]. Это вызвано прежде всего сложностью

определения количества осадков, выпадающих непосредственно на поверхности ледников [101-105]. Хотя обозначают 200-250 мм годовых осадков в бассейнах двух великих рек бассейна Аральского моря, благодаря наличию фактора сильной изменчивости атмосферных осадков вышеназванная цифра может варьироваться в еще более широких интервалах [98-100].

В направлении определения фактического значения талых ледниковых вод ведутся интенсивные исследования и имеются ряд обнадеживающих результатов. Например, в бассейне притоков реки Ганг на территории Непала вклад ледникового стока составляет около $5,4 \text{ км}^3$, т.е. 1500 мм/год [107,108]. Для бассейнов рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи также проводились оценка ледникового стока результаты, которых представлены в [109-111].

Влияние климатических изменений на гидрологию рек, т.е. уменьшение объема воды оценивается до трех кубических километра. Демографический фактор одной из актуальных проблем для стран Центральной Азии также влияет на изменение водных ресурсов. Например, по подсчетам НИЦ МКВК увеличение населения 100 тыс. человек в году приводит к увеличению потребности в воде $0,8 \text{ км}^3$. Еще одной из региональных проблем является не рациональное использование водных ресурсов в сельскохозяйственном секторе стран региона [112].

2.4. Пространственное распределение твердых осадков в бассейне реки Пяндж

Не вызывает сомнений факт о том, что в горных регионах земного шара интенсивно тают ледники и происходит уменьшение площадей оледенения [71,113].

К концу века прогнозируется повышение температуры около 4°C [114].

Известно [115], что большие значения атмосферных осадков и холод залог формирования достаточных значений глубины снежного покрова [115].

Изучение процессов накопления снега по данным семи водосборной территории реки Пяндж и систематизация данных освещаются в настоящем разделе диссертации.

На рисунке 2.5 представлены результаты измерений глубины снежного покрова на метеостанциях бассейна реки Пяндж.

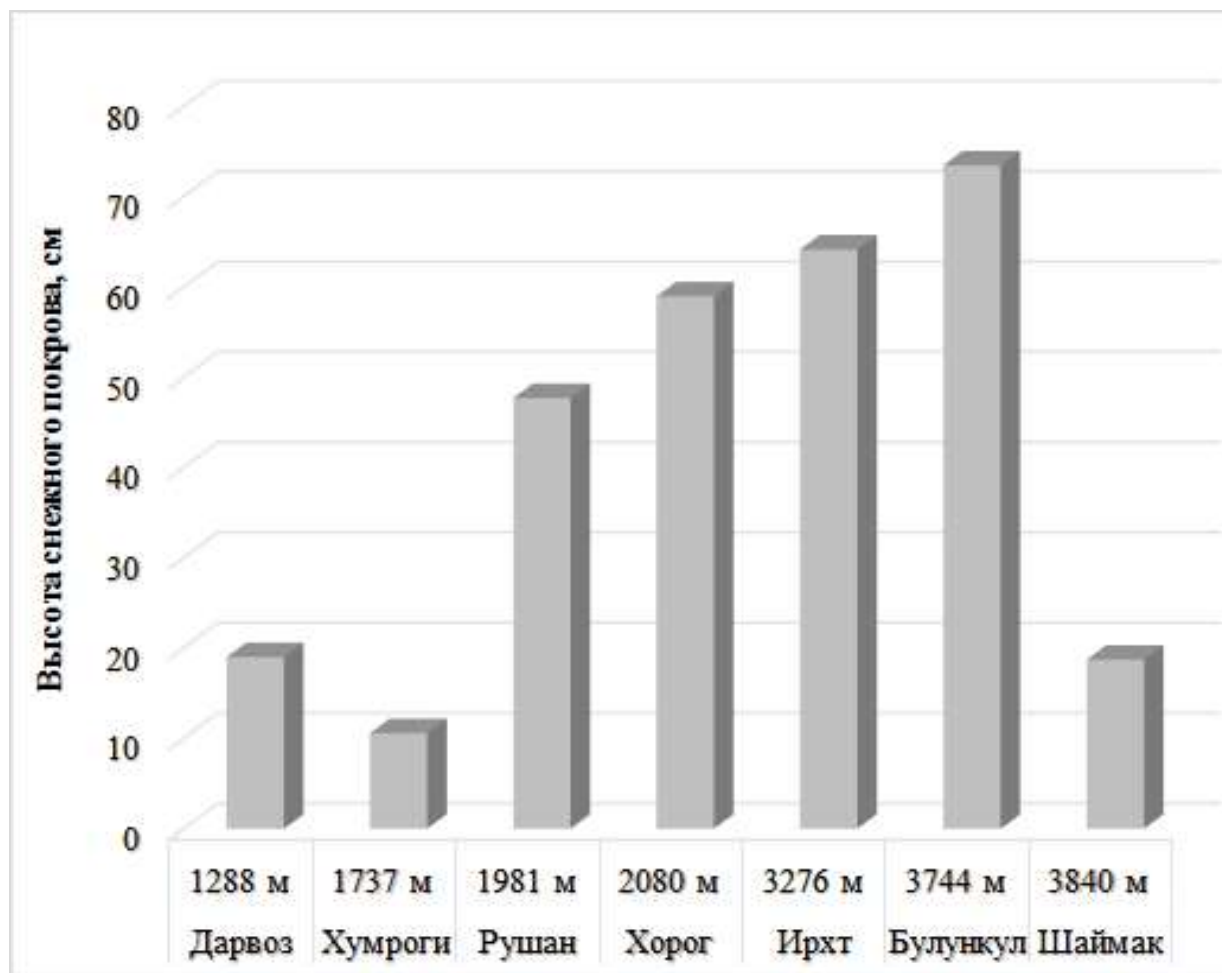


Рисунок 2.5.- Глубина снежного покрова на метеорологических станциях бассейна

Рисунок 2.5 демонстрирует отсутствия определенной взаимосвязи глубины снежного покрова от высоты.

Картину продвижения влажной воздушной массы с западной и центральной части Памира можно объяснить в рамках следующего предположения. Наличие на пути продвижения воздушной массы горные хребты высотой 5000-6000 м.н.у.м препятствуют переходу их в восточной части. Накопление влажной воздушной массы в предгорьях таких вершин

приводит к обильным осадкам и высвободившиеся масса воздуха превалирует вершины и поступает в восточную часть сухим с дефицитом паров воды.

На рисунке 2.6 приведены результаты среднемесячного распределения глубины снежного покрова измеренные на метеостанциях верховья р. Пянджа. Наблюдаемая картина показывает о влиянии рельефа местности на распределения осадков и соответственно на глубину снежного покрова. Из рисунка 2.6 также можно обнаружить, что максимальная глубина снежного покрова соответствует весеннему сезону.

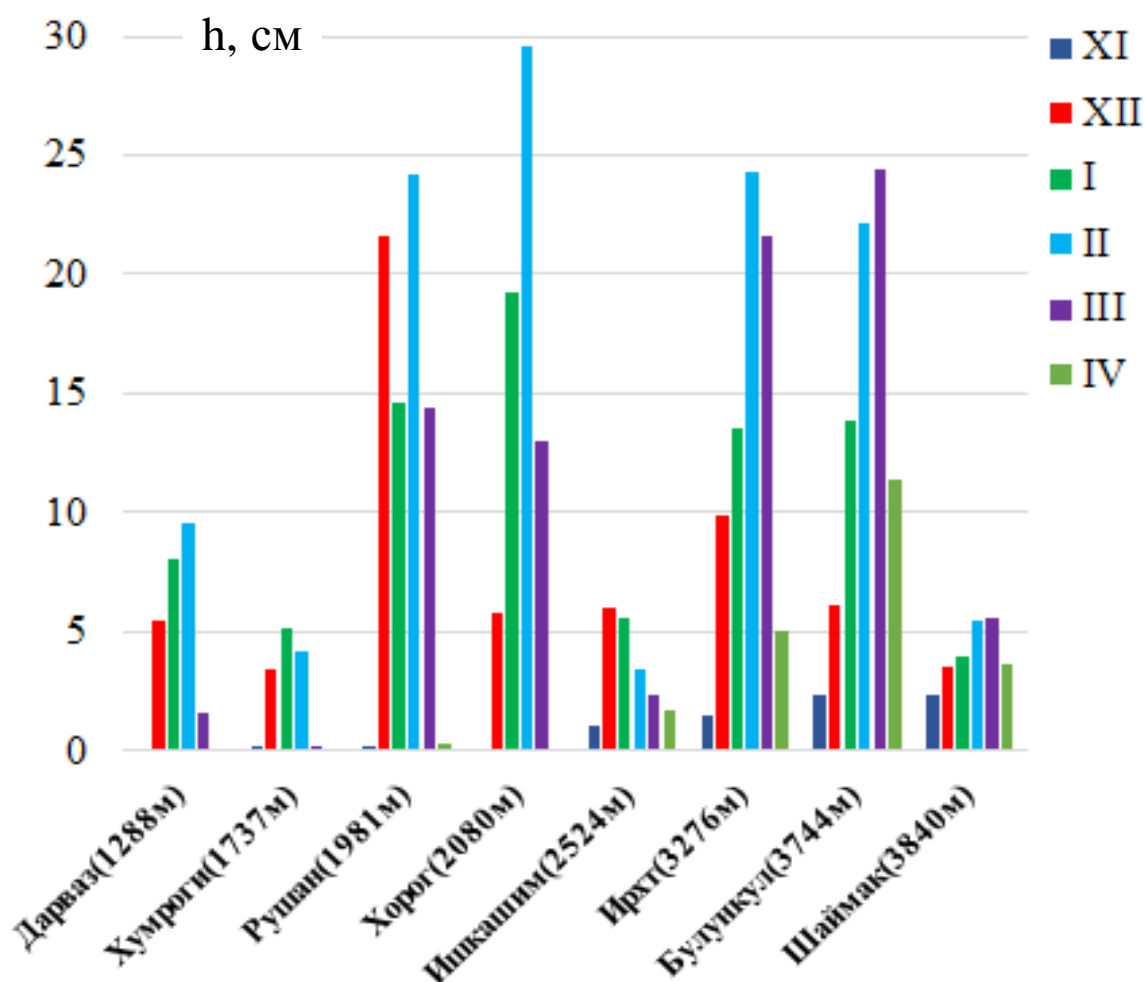


Рисунок 2.6.- глубины снежного покрова в верховьях р. Пяндж

Уместно отметить, что в обеспечение восточного Памира определенным количеством влаги не исключается вклад муссонов с Индийского океана и воздушные массы из Афганистана, Ирана и максимум снега в декабре на

метеостанции Ишкашим на рисунке 2.7 согласно нашему предположению вызвано именно этими массами воздуха.

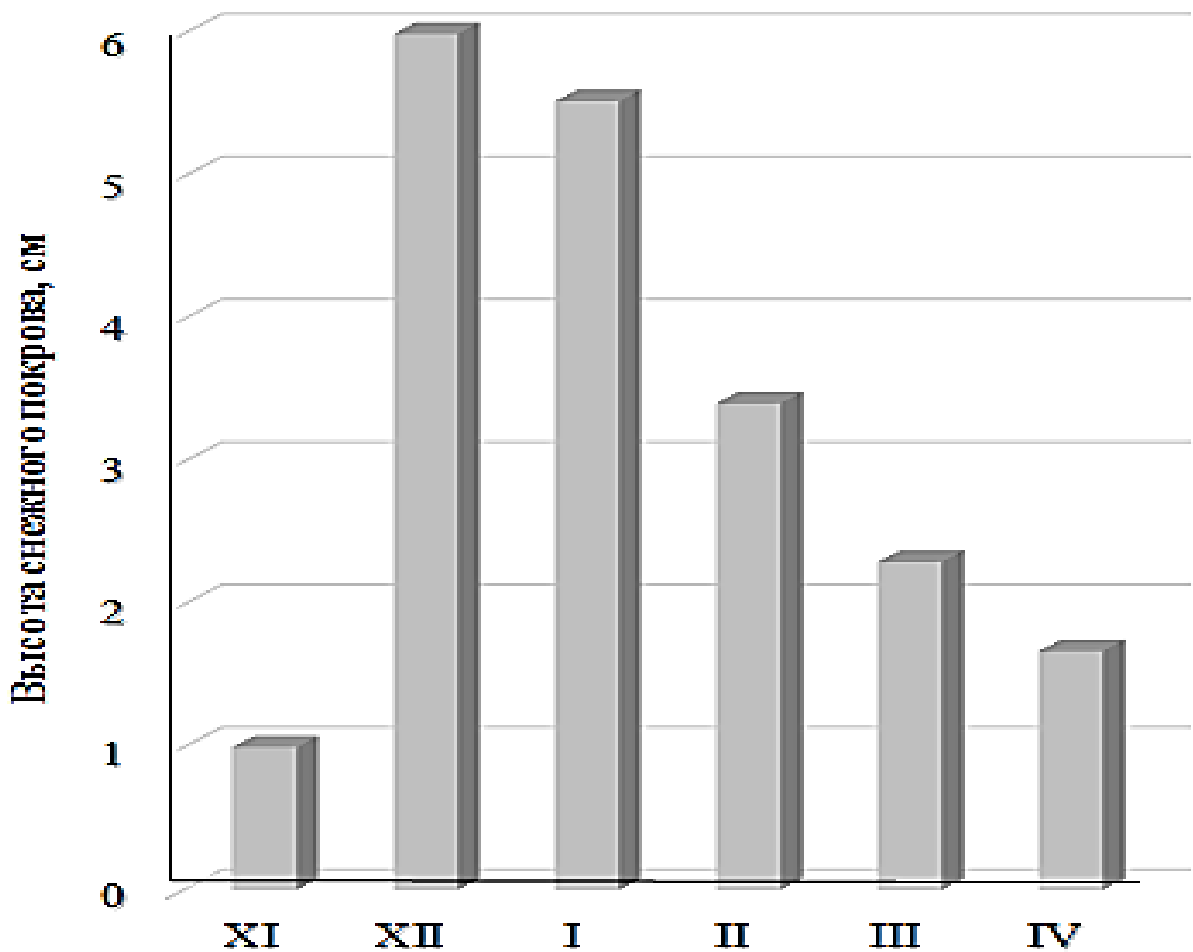


Рисунок 2.7.- Месячное распределение снега в метеостанции Ишкашим

Учитывая более продолжительное сохранение снега (XI-III) на высотах более 4000 м над уровнем моря в [117-120] делается предположение, что талые воды снега в водосборе реки Гунт могут сыграть заметную роль в пополнении реки.

2.5. Влияние орографии местности в распределение воздушных масс и осадение снега

Состояние площадей снежных покровов наряду с орографическими параметрами местности главным образом определяется температурным режимом и однозначно обратная пропорциональность их величины от

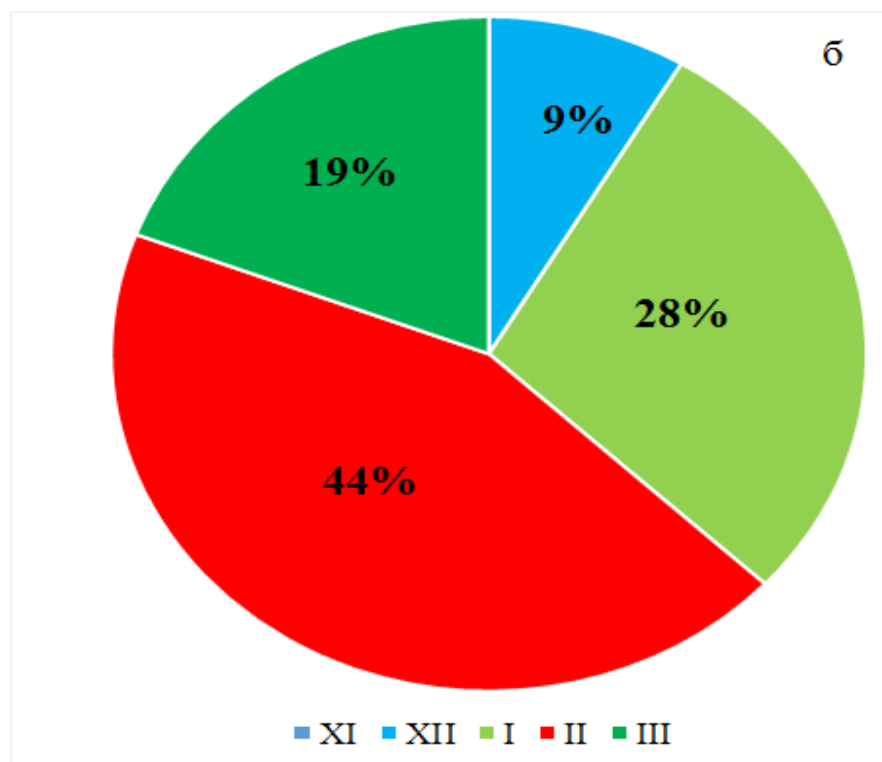
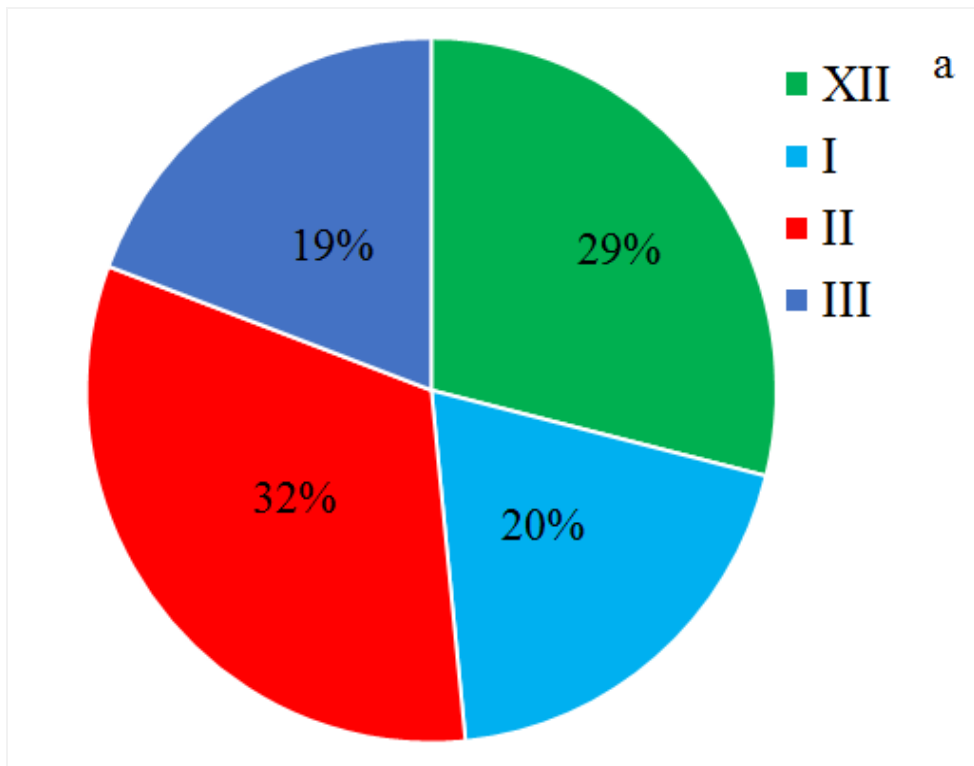
температуры [121]. Одной из важных показателей снега является его водный эквивалент, который широко применяется для определения взаимосвязи глубины формируемого снежного покрова и стока конкретно данного бассейна. Данный показатель является индикатором степени водообеспеченности низовьях и соответственно состояния функционирования и развития водоемких секторов, жизнедеятельности живых существ и биоразнообразия [122]. Следует отметить, оценка образовавшегося определенного количества снега на верховьях рек оценивается одной лишь возможным методом, т.е. определением площадей снежного покрова с применением дистанционных методов. К сожалению, данный показатель за последние полвека имеет убывающий тренд [123-125].

Особую важность установления вышеперечисленных показателей снежного покрова и их пространственное распределение кроме того вызвано тем, что они являются необходимыми исходными данными для разработки математических моделей по прогнозу перспективы развития сценарии образования – таяния снежного покрова и гидрологию рек и их калибровки [126-129]. Реализация применение дистанционных методов зондирования в сочетании с натурными измерениями позволили установить количественное значение вклада ледникового стока реки Ганг [130].

Для выполнения основных положений межгосударственных соглашений по распределению водных ресурсов региона необходимо точное определение объема стока рек на следующий метеорологический год, который можно достичь последовательным проведением измерений характеристик и показателей водно-снежных и ледниковых ресурсов на верховьях горных рек.

Данный раздел работы посвящено изучению распределения снежного покрова в климатических зонах Памира. Используются данные снежного покрова с метеостанций соответствующих климатических зон Памира, представленные Агентством по гидрометеорологии Таджикистана.

Из рисунка 2.8, где представлены месяцы с максимальной высотой снежного покрова видно, что в различных высотах верховья реки Пяндж она соответствует разным временам года и характеризуется наличием определенной взаимосвязи глубины снега с климатом местности.



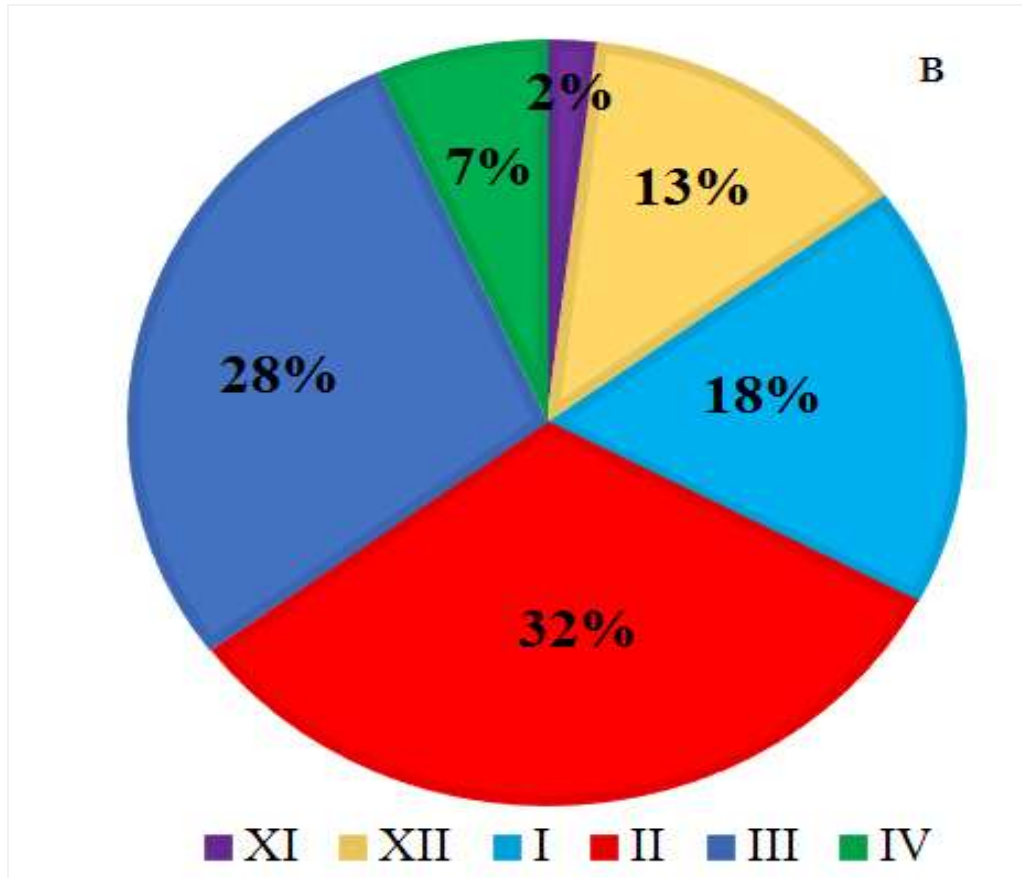
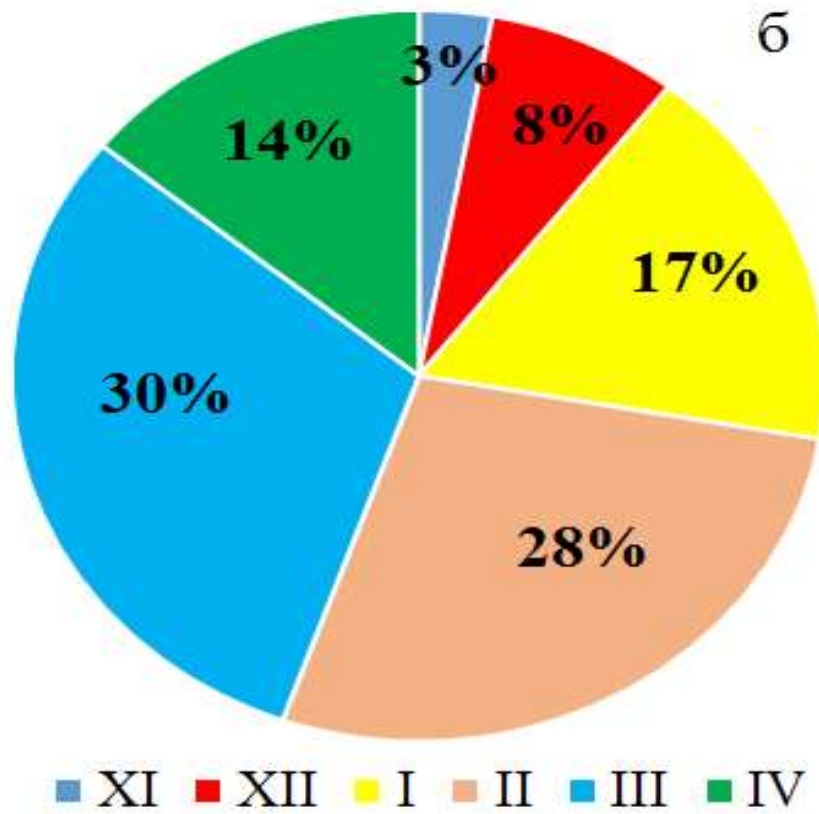
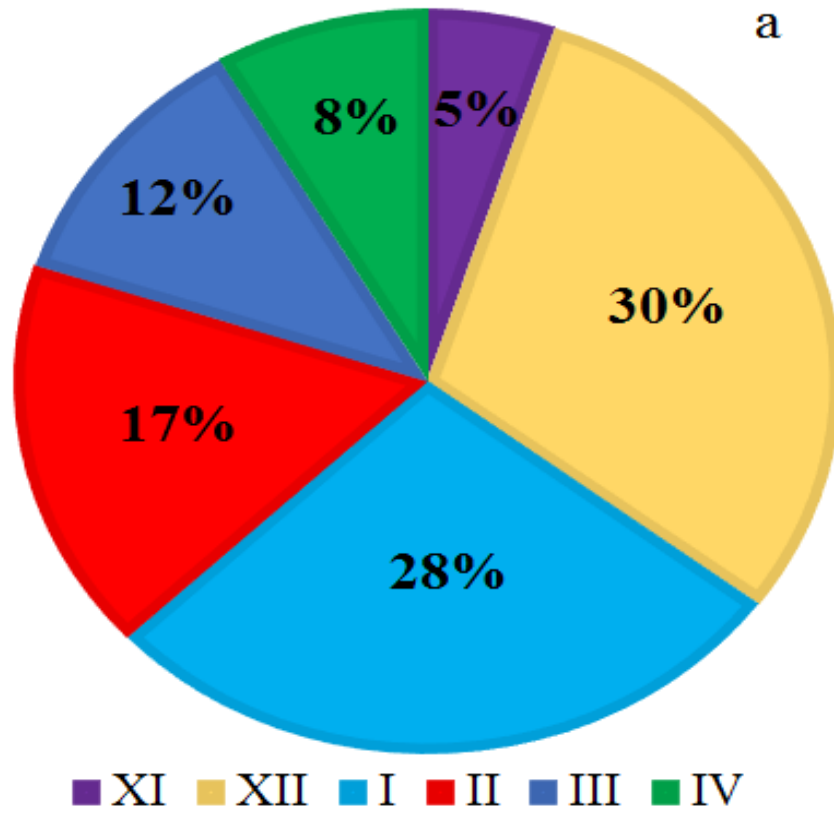


Рисунок 2.8.- Многолетнее среднегодовое значение снежного покрова по метеостанциям: Рушан (а), Хорог (б) и Ирхт (в)

Если в зонах Памира с континентальным климатом достаточная высота снежного покрова наблюдается в феврале (рисунок 2.8), то в Ишкашине в декабре, а в Булункуле и Шаймаке характеризующиеся более сухим холодным климатом в марте месяце (рисунок 2.9, а, б, в).



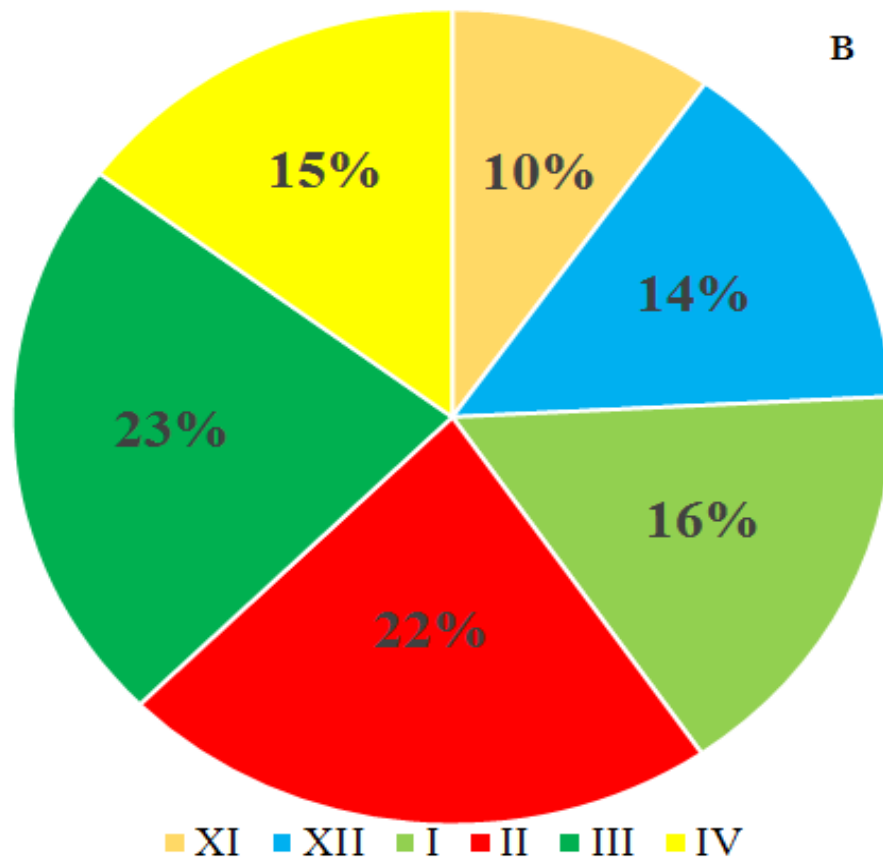


Рисунок 2.9.- Значение снежного покрова по климатическим зонам Памира: полузасушливым (а) и сухим холодным (б, в)

Основываясь на результатах, представленных на рисунке 2.10, можно предположить, что началом вхождения средиземноморского потока на территорию Памира является его Юго-Западная часть.

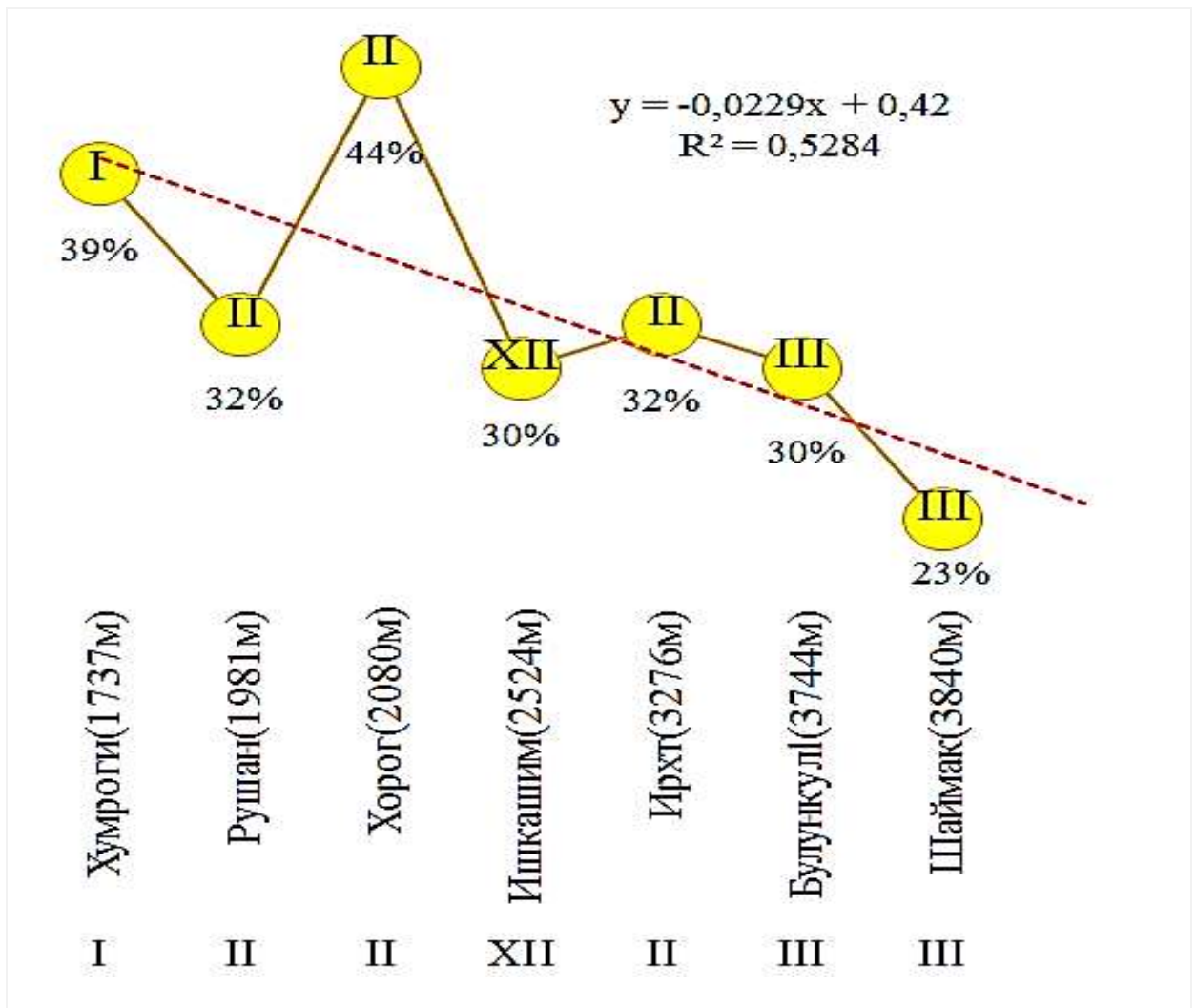


Рисунок 2.10.- Среднегодовое значение осадков в декабре в более сухие зоны Памира – Ишкашима вклад южных масс воздуха [131, 132].

Значение 30% среднегодового значения осадков в декабре в более сухие зоны Памира – Ишкашима вклад южных масс воздуха [131, 132].

Можно предположить, что образование достаточных глубин снега обусловлено проникновением в полупустынные и континентальные зоны с северо- западной части республики холодной воздушной массы из Казахстана в декабре по январь месяцам (рисунок 2.11).

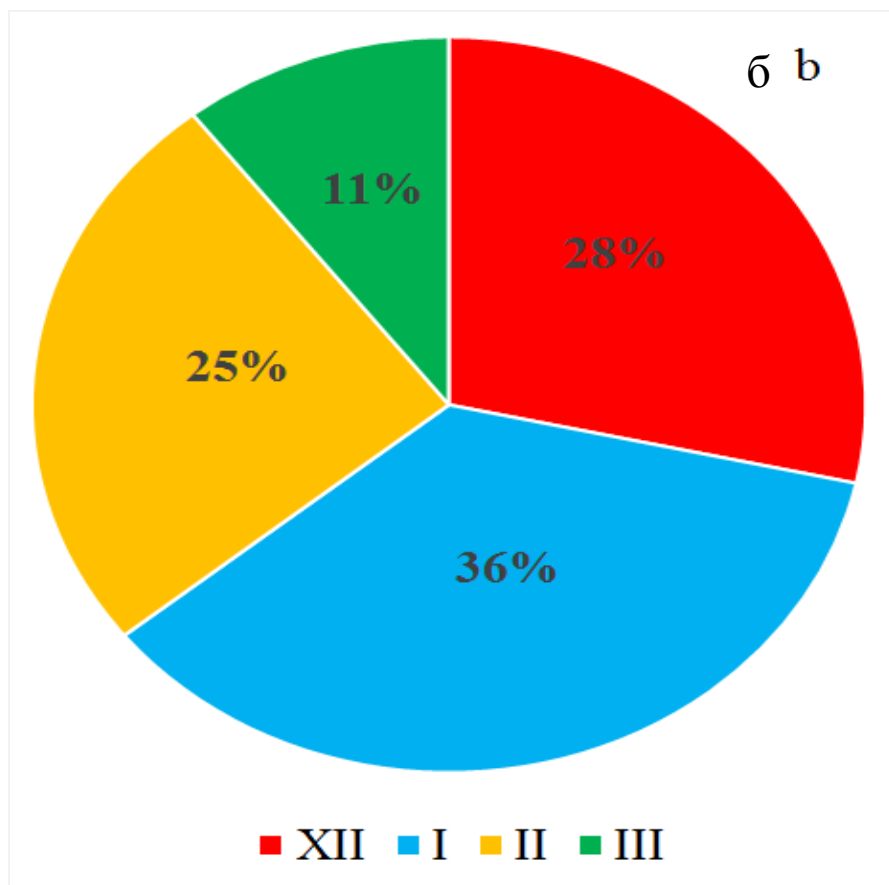
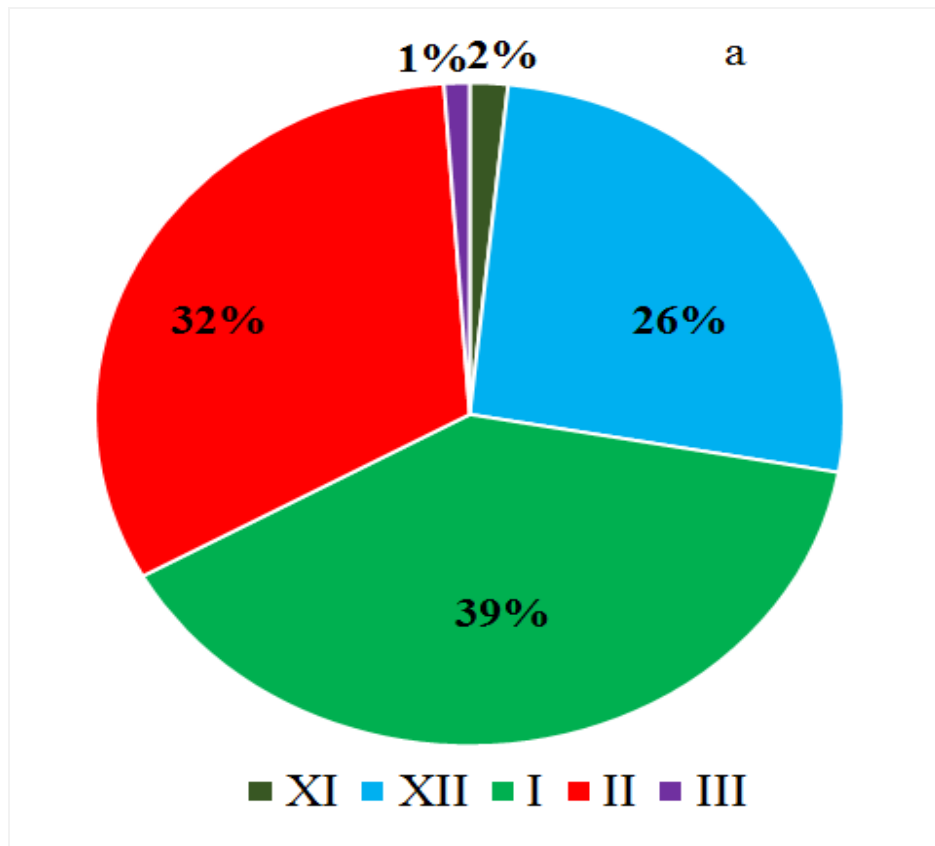


Рисунок 2.11.- Значение снежного покрова измеренные в Хумроги (а) и Пенджикенте (б)

На рисунке 2.12 представлены месячное распределение снежного покрова измеренные в разные районы представляющие климатические зоны. Рисунок 2.12 показывает, что вид и объем воздушных масс наряду с рельефом местности является определяющим фактором в образовании достаточного слоя снежного покрова.

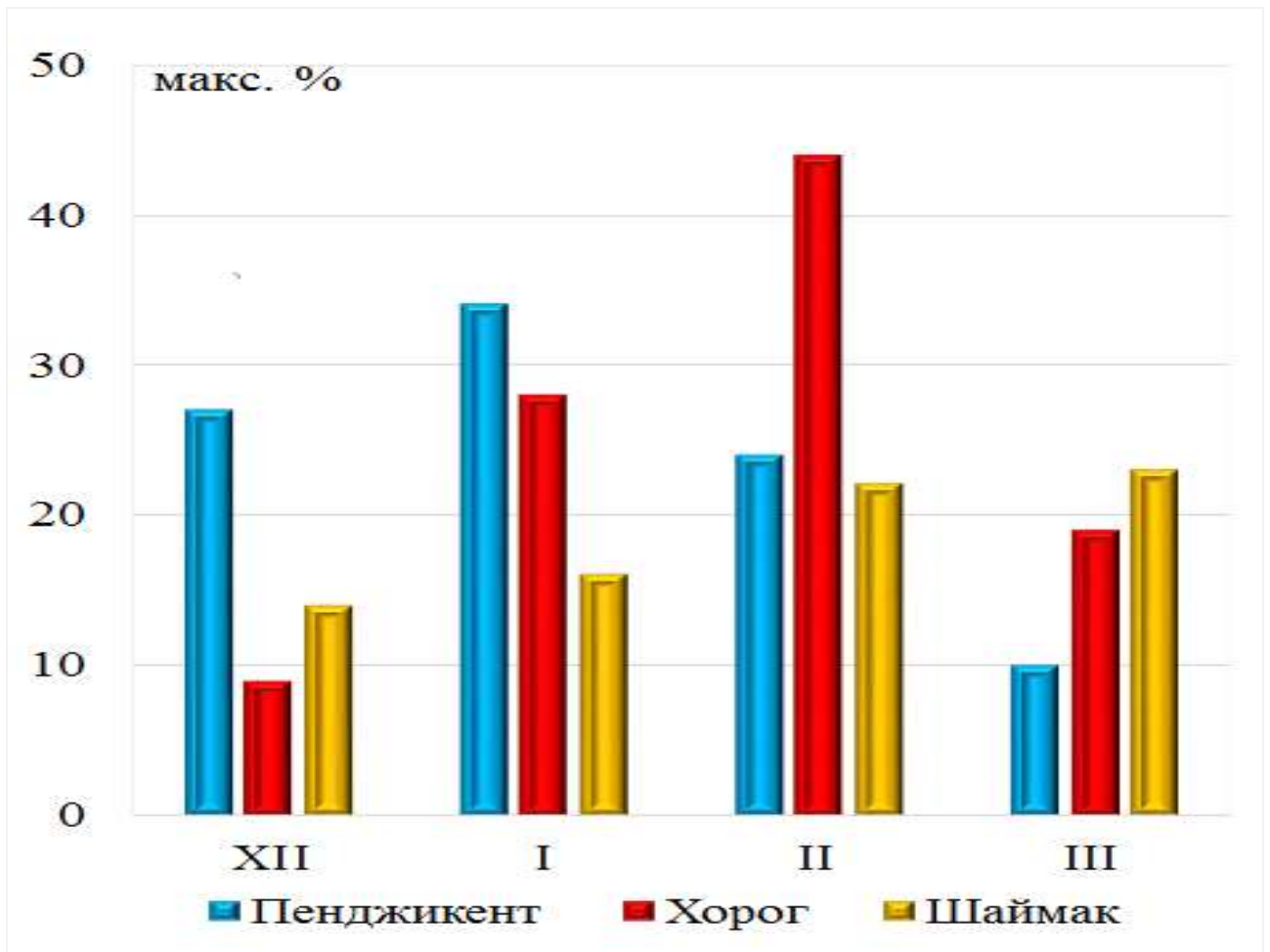


Рисунок 2.12.-Многолетнее среднегодовое значение снега по метеостанциям Пенджикент, Хорог и Шаймак

Таким образом, можно предположить, что на территорию Республики Таджикистан регион с географическими координатами 38°07' N 70°07'E и 37°49'N 71°54'E является зоной вхождения потока влажного воздуха. Высокие вершины гор Памира являются преградой на пути движения воздушного потока по географическим широтам ГБАО (рисунок 2.13).

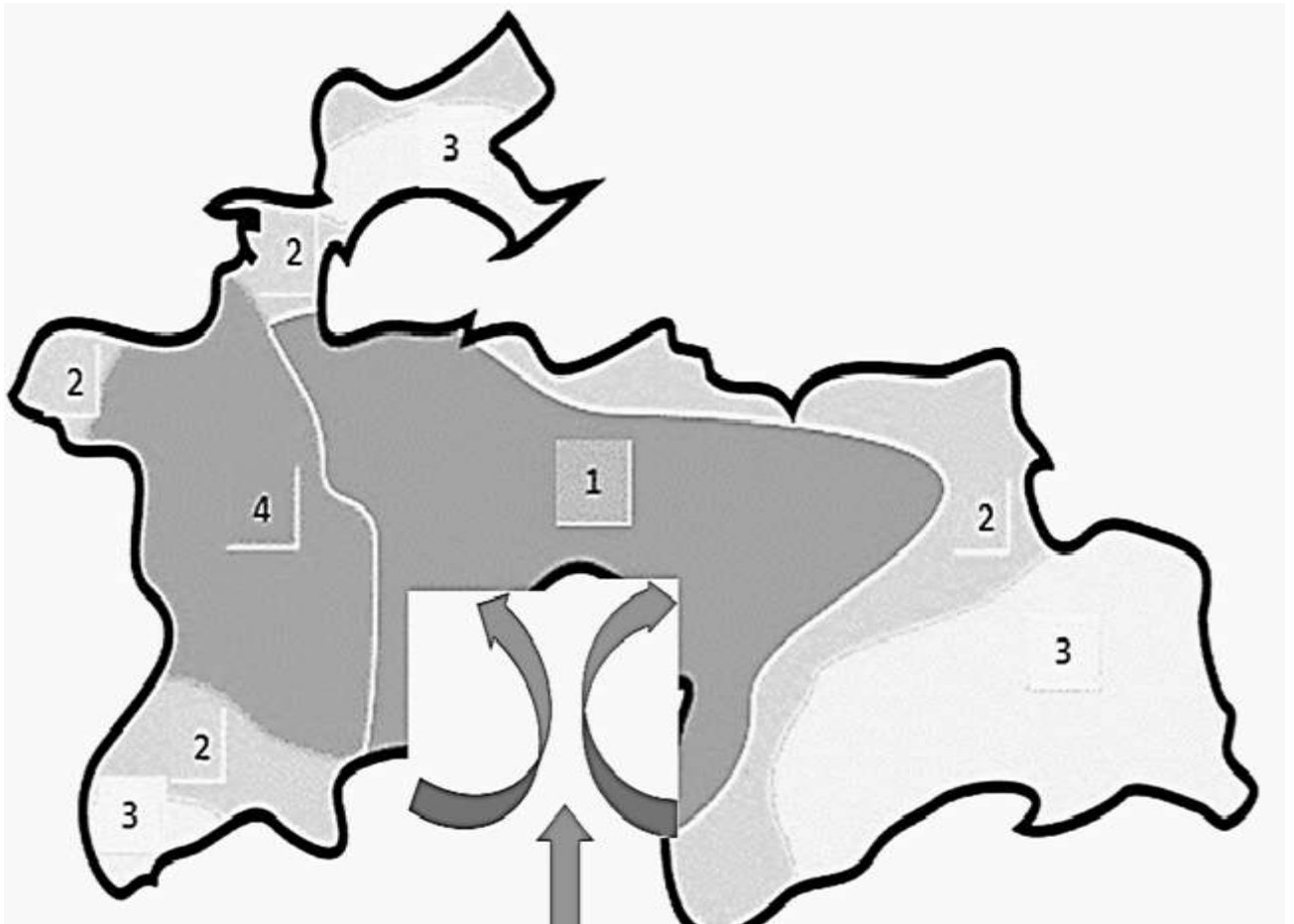


Рисунок 2.13. - Схема проникновения воздушных масс на территорию Республики Таджикистан

Обильность осадков на западной, центральной и юго-западной Памира при дефиците в восточной части результат экранизации высоких горных вершин как естественный барьер к продвижению влажных воздушных масс с запада на восток ГБАО. На рисунке 2.14 представлена гистограмма величины глубины снега по различным районам бассейна реки Пяндж. Анализ данных на рисунке 2.14 свидетельствует о правомерности вышеназванной мысли о преграде движения воздушного потока высокими хребтами Памира.

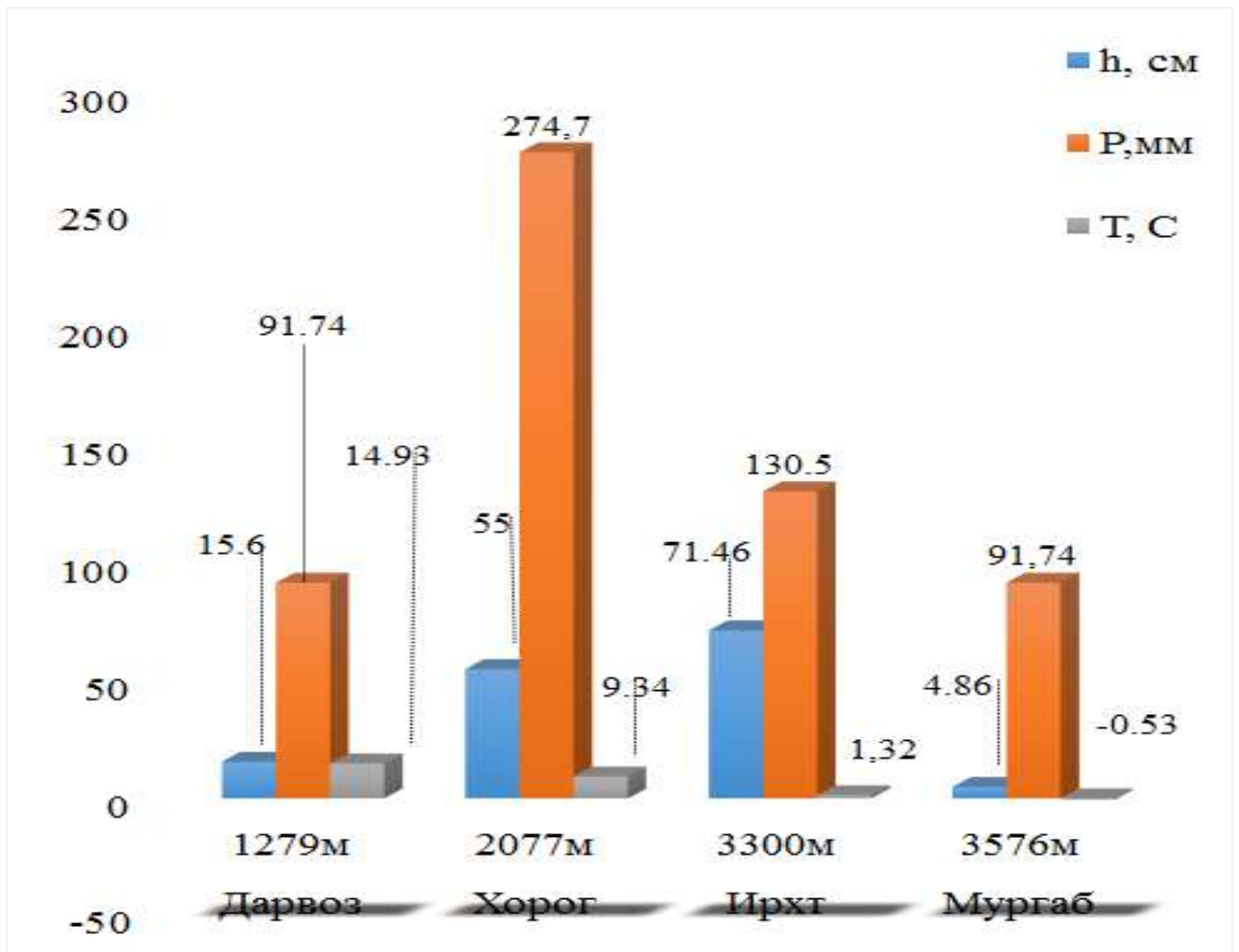


Рисунок 2.14.- Величина глубины снега, температуры и осадков по данным метеостанций

Даже при обильных осадках в низовьях реки вероятность образования слоев снега устойчивого на продолжительный период ничтожно мало. Причиной тому температурный режим на низких широтах препятствующее протеканию агрегатных превращений жидкого к твердому. Следовательно, на низких широтах преобладают осадки в виде дождя. Примером тому метеостанция Дарваз, где выпадают осадки только в жидкой фазе.

2.6. Применение корреляции для определения взаимосвязи осадков и высоты

На рисунке 2.15 и 2.16 представлены зависимости количество атмосферных осадков от высоты рельефа на горных террасах и особенности толщины снежного покрова от количество осадков на таких высотах, соответственно. Зависимость осадков от высоты местности имеет хорошо видимую негативную связь описываемую степенным трендом (рисунок 2.15).

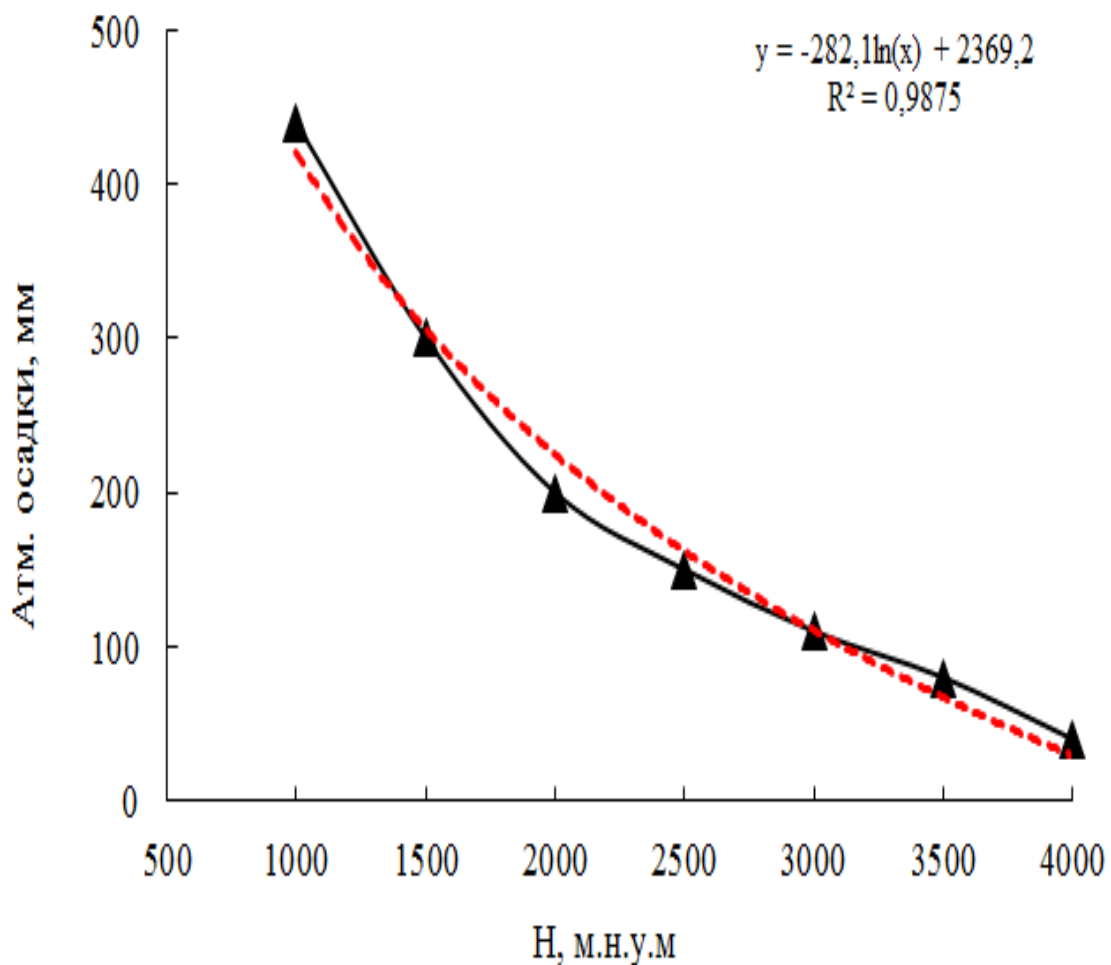


Рисунок 2.15.- Высотная зависимость осадков

Высотная зависимость глубины снега в покрове характеризуемая отсутствием определенной зависимости в покрове в наглядной форме проявляется при сравнении значений их глубины на восточной (м/с Шаймак) и центральной части Памира (м/с Ирхт). Хотя высота их расположения отличаются существенно, глубина осаждаемых слоев твердых осадков почти одинаковое (рисунки 2.12 и 2.14).

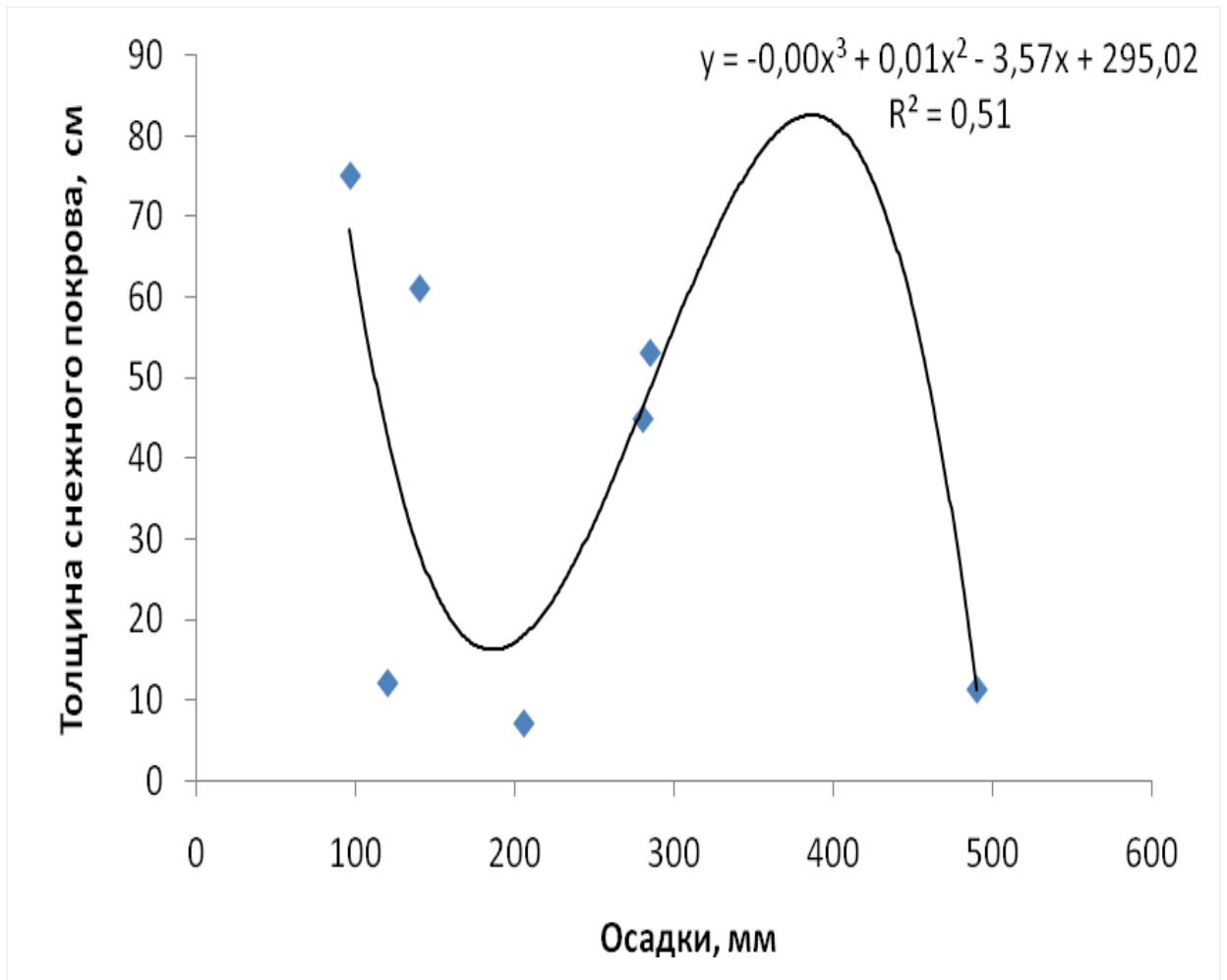


Рисунок 2.16. - Взаимная зависимость глубины снега и осадков

Таким образом установлено, что западные, центральные регионы ГБАО отличаются достаточным количеством осадков и температурным режимом для образования существенной глубины снега. Существование таких условий способствуют тому, что водные артерии этих районов отличаются высокими значениями расхода воды [134]

ГЛАВА III. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ ВАНЧ - ПРИТОКА РЕКИ ПЯНДЖ

3.1. Географическое расположение бассейна реки Ванч

Река Ванч длиной 921 км с площадью бассейна 114000 км² и средним значением расхода воды 1032 м³/с (рисунок 3.1) является притоком реки Пяндж [135].

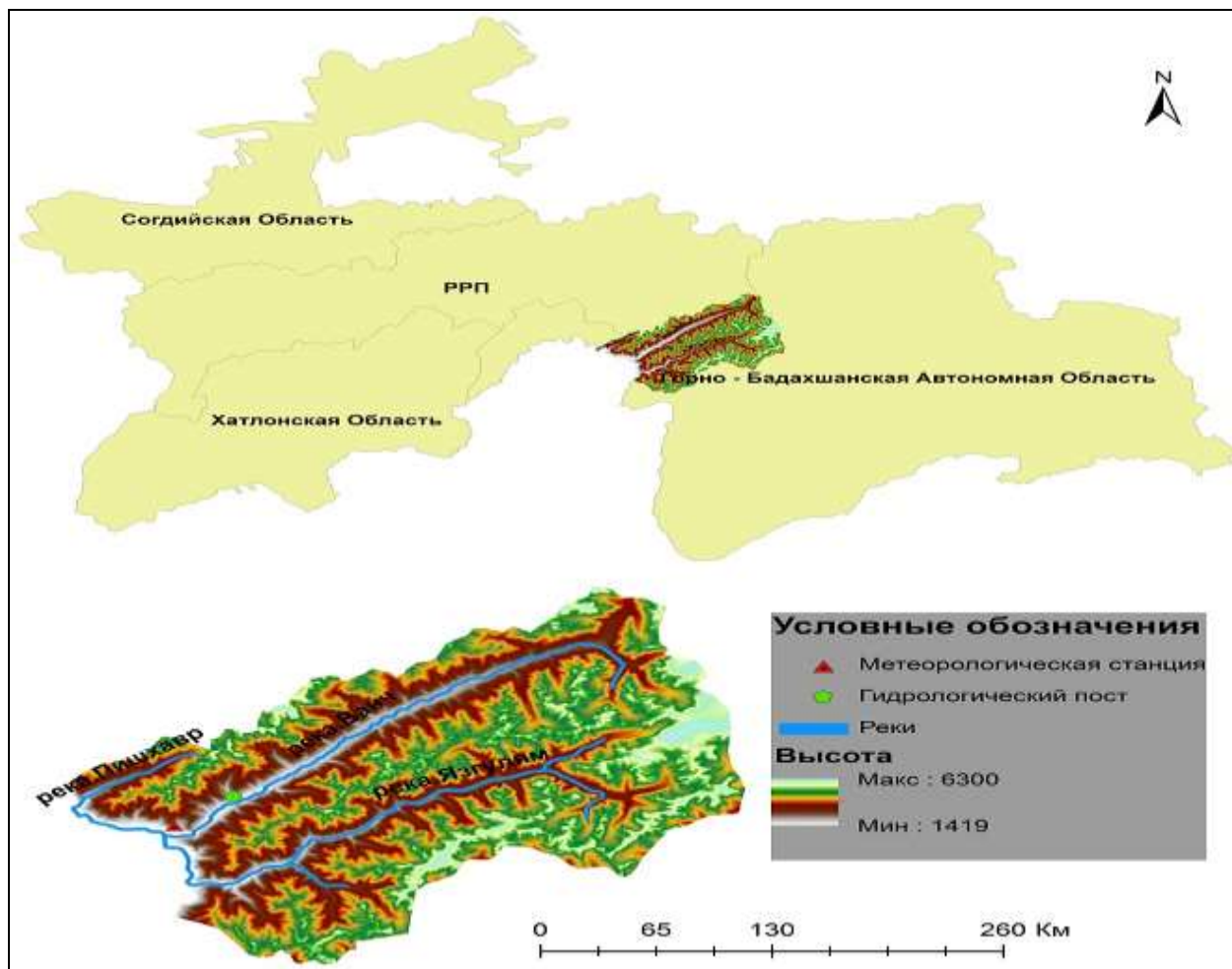


Рисунок 3.1.-Карта бассейна реки Ванч

Для последовательного и систематического мониторинга гидрометеорологических характеристик в бассейне реки Ванч функционирует метеорологическая станция с координатами N38°17' E71°20' и гидрологическая станция N38°19' E71°29' (рисунок 3.1).

3.2. Бассейн реки Ванч и его климат

Теплый континентальный, холодный полуаридный и сухой холодный температурный режим характерен в большинстве территорий Памира [136].

По метеорологическим характеристикам долина Ванч относится к категории, которые для которых характерны нежаркое лето с мягкой зимой и недостаточная влажность. Минимальные и максимальные среднемесячные температуры может опускаться до -2°C ниже нуля и до $+30^{\circ}\text{C}$, соответственно. Атмосферные осадки в среднегодовом разрезе не превышает 110 мм и главным образом обусловлены циклонами из Каспия и Среднеземноморья [137].

Динамика изменения климатических характеристик водосборной территории реки Ванча определялись по данным метеостанции Хумроги и гидрологической станции Бичихарв.

В динамике температуры и атмосферных осадков бассейна р. Ванч не проявлялся определенный тренд.

Температурный режим воздуха бассейна реки Ванч с 1960 по 1980 гг и с 1990 по 2005 гг. формируют группу с квантилями меньше 25 %. Началом с 2000 г. статистически минимальное значение атмосферных осадков проявляется один раз. Статистический анализ данных атмосферных осадков периода с 1970 по 1990 гг. показал наличие лишь одного года с квантилем больше 75% свидетельствующее о недостаточности атмосферных осадков данного периода. Интенсивность стока с квантилями $\geq 75\%$ позволяет выделить три многолетних периода длительностью 11 лет. Предварительный анализ показал, что проявление периодичности в рядах данных, скорее всего, связано с циклами солнечной активности.

Необходимость разделение Центральной Азии на климатические зоны вызвано прежде всего многообразием климатических условий и свойственных к ним соответствующих закономерностей изменения параметров. Горный Памир находится на пути транзита воздушных масс, где средиземноморская влажная воздушная заменяется уступает место

центральноазиатской сухой массе. Естественно такой процесс влияет на гидрологию рек региона. Для научно обоснованного описания процессов взаимосвязи гидрологии рек и климатических факторов требуется систематический и последовательный мониторинг как метеорологии, так и гидрологических характеристик региона.

Основная трудность организации систематических и последовательных наблюдений гидрометеорологических характеристик горных регионов является их труднодоступность благодаря сложным рельефом. Хотя ныне существует целый набор теоретических работ и математических моделей, основная их недостаток заключается в том, что они калиброваны с использованием скудных и непоследовательных данных [138]. Для горного Памира с многочисленными впадинами и долинами необходимо избирательный подход как в плане наблюдений, так и в описание гидрометеорологических процессов [139].

Спутниковые снимки показали, что ледники водосборной территории р. Ванча, как и большинства ледников бассейна Аральского моря подвержены деградацию. Как указано в [140,141] с 1961 по 2000 гг. уменьшение площади оледенения бассейнов рек Пяндж и Ванч составило около 33 и более 23% соответственно.

Следует отметить, что такая картина наблюдается почти во всех зонах оледенения земного шара [142]. По прогнозам МГЭИК к концу века повышение температуры на 3,7 °С ожидается в бассейне Аральского моря с критическим его значением на Гималаях и Тибете [143]. Эти явления наряду с проблемами народонаселения и нехватки воды осложняют жизнедеятельности компонентов экосистемы горных стран.

Руководствуясь сценарием А1В МГЭИК показано о сокращении площадей оледенения к 2050 г. высокогорья Азии на более 20% со скоростью около 0,7% /год [144]. Эти оценки основаны на результатах мониторинга более 67000 с площадью более 120000 км² ледников Азии, проведенных на базе модели RegCM.

Согласно отчету МГЭИК к 2050 году ожидается повышение температуры на 1,29 °С для сценария В1 и на 1,65 °С для сценария А2. Более конкретный региональный анализ [145] показывают рост температуры приблизительно на 2°С по сравнению с периодом 1960-1990 гг. Принимая данный прогноз температуры с использованием цифровых моделей рельефа (SRTM и ASTER) разрешением 60 м прогнозировано сокращение объема ледников на 75,5 % в Пянджском суббассейне [146] (таблица.3.1).

Таблица 3.1.- Расчетные значения площади оледенения и объема ледников в 2003 г и 2050 г и их разница для бассейна реки Пяндж

Площадь 2003 (км ²)	3592
Площадь 2050 (км ²)	1160
Разница 2003-2050 (км ²)	2432 (67,7%)
Объем 2003 (км ³)	152-179
Объем 2050 (км ³)	37-44
Разница 2003-2050 (км ³)	115-135 (75,5%)

Несмотря на то, что более 50 % объема ледникового льда останется, они будут находиться на более высоких высотах, поэтому таяние будет ниже [147]. Анализ показывает, что приток в низовьях реки Амударья к 2050 году сократится на 26-35 %.

Для анализа были использованы многолетние наблюдения за температурой и осадками вышеуказанных метеостанций за более шестидесятилетний период (1956-2019 гг) годы. Взаимосвязь метеорологических и гидрологических параметров определялась с использованием корреляции Пирсона.

Температура долины реки Ванч с 1956 по 2016 гг., как следует из рисунка 3.2, характеризуется беспорядочным расположением значений без определенного тренда. Аналогична картина повторялась и в значении

атмосферных осадков (рисунок 3.3). Было установлено среднее значение температуры и атмосферных осадков равных $12^{\circ}\text{C} \pm 2$ и $215 \text{ мм} \pm 15$ соответственно.

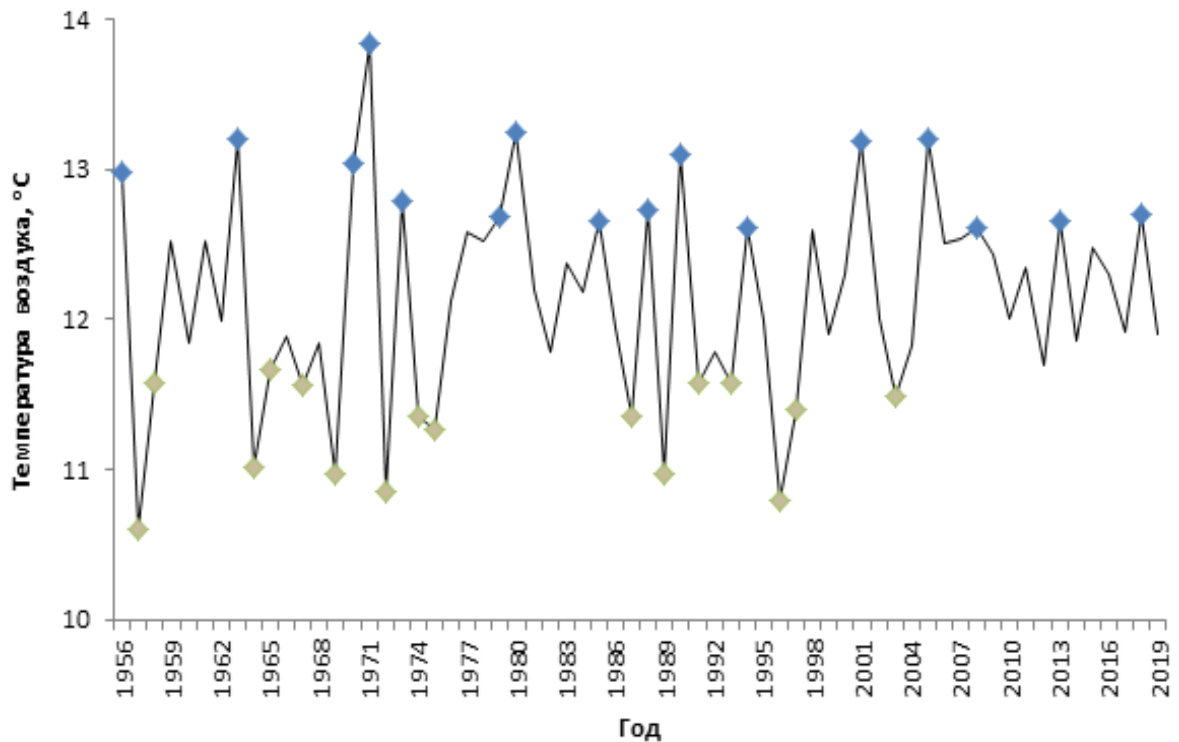


Рисунок 3.2.-Динамика температуры с 1956 по 2019 гг. в водосборной территории реки Ванч

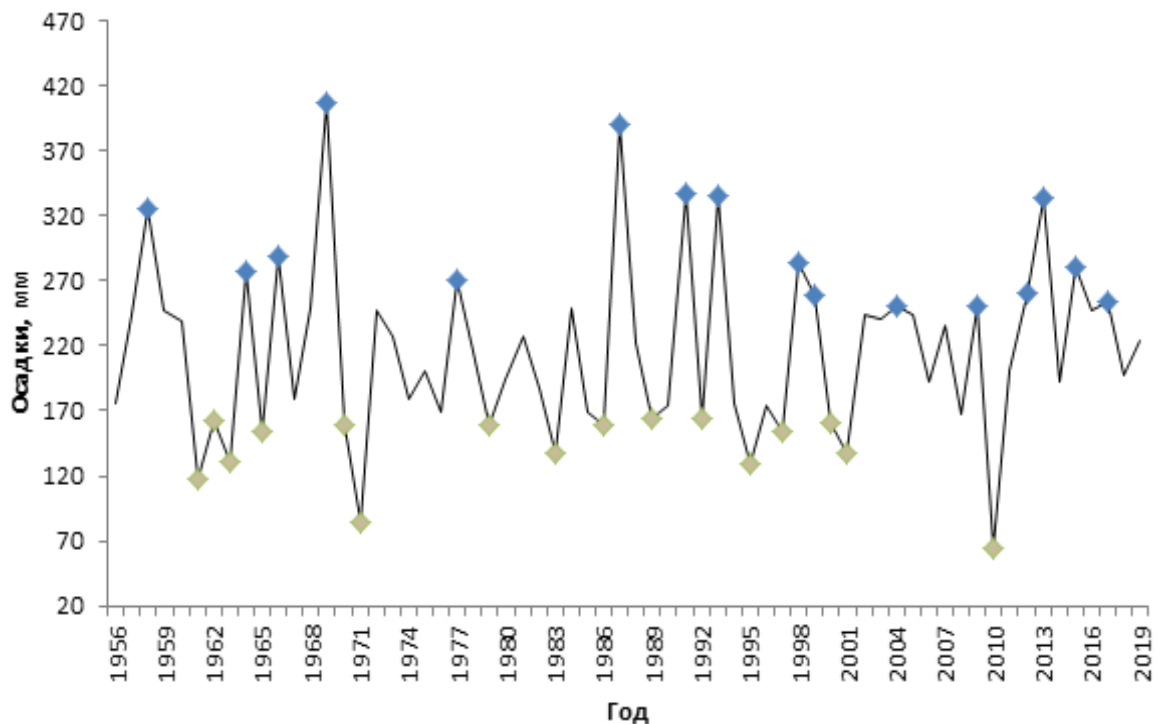


Рисунок 3.3.- Динамика осадков с 1956 по 2019 гг. в водосборной территории реки Ванч

3.3. Взаимосвязь климатических характеристик территории водосбора реки Ванч и климатические экстремумы

Корреляция температуры и осадков отрицательная (таблица 3.2). Предел возможных максимальных сочетаний температуры и осадков показано на рисунке 3. 4. Отсутствует линейность временной изменчивости атмосферных осадков и температуры.

Однако значимая положительная корреляция подтверждает линейную тенденцию роста среднегодового расхода воды реки Ванч за период наблюдений (таблица 3.2). Причём облако точек равномерно распределено вокруг линейного тренда (рисунок 3.5). Если значимой корреляции среднегодового расхода воды реки Ванч с осадками не обнаружено, то влияние температуры на увеличение стока отражается в виде слабой положительной корреляции (таблица 3.2), которую можно рассматривать как тенденцию.

Таблица 3.2. - Корреляционные зависимости между температурой воздуха (Т), атмосферных осадков (Р), среднегодового расхода воды реки Ванч (W) и года наблюдений

	Год	Т, °С	Р, мм
Температура воздух (Т, С)	0,12	1	
Атмосферных осадков (Р, мм)	0,05	-0,34*	1
Среднегодового расход воды (W, м/с ³)	0,28*	0,23**	-0,01

Примечание: * значимые корреляции при 0,05. ** значимая корреляция при 0,07.

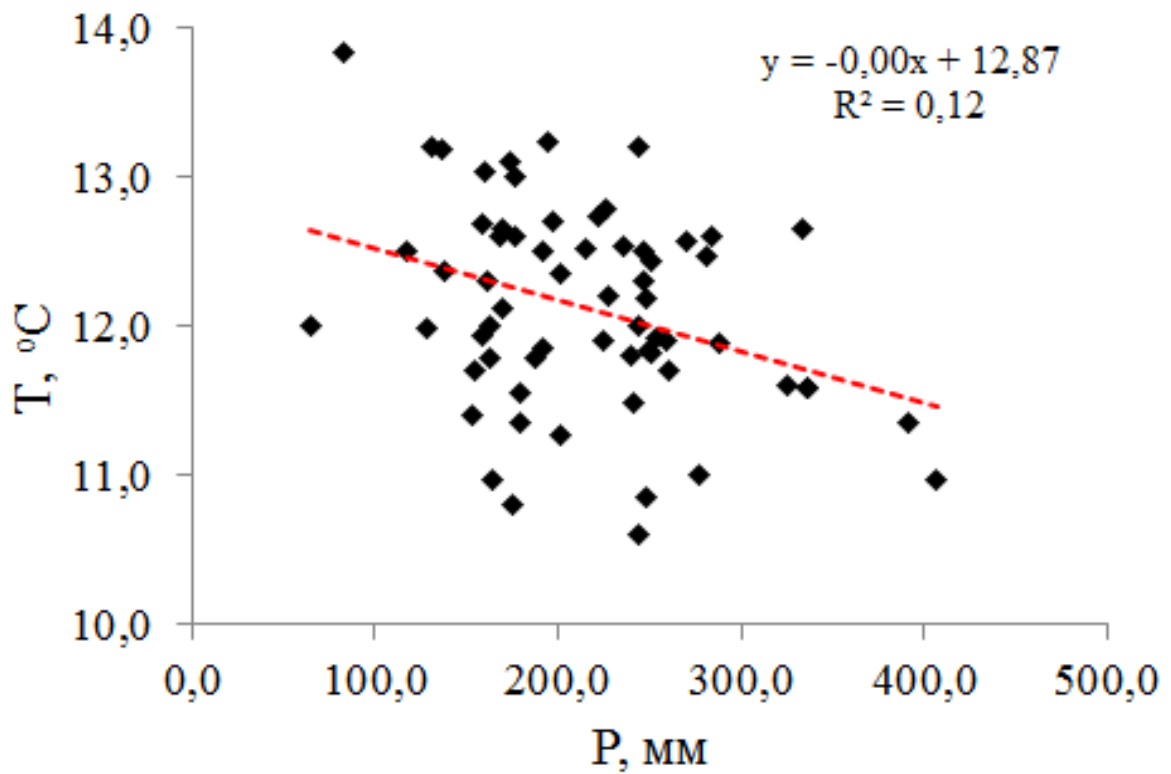


Рисунок 3.4.- Корреляция осадков (P) и температуры (T)

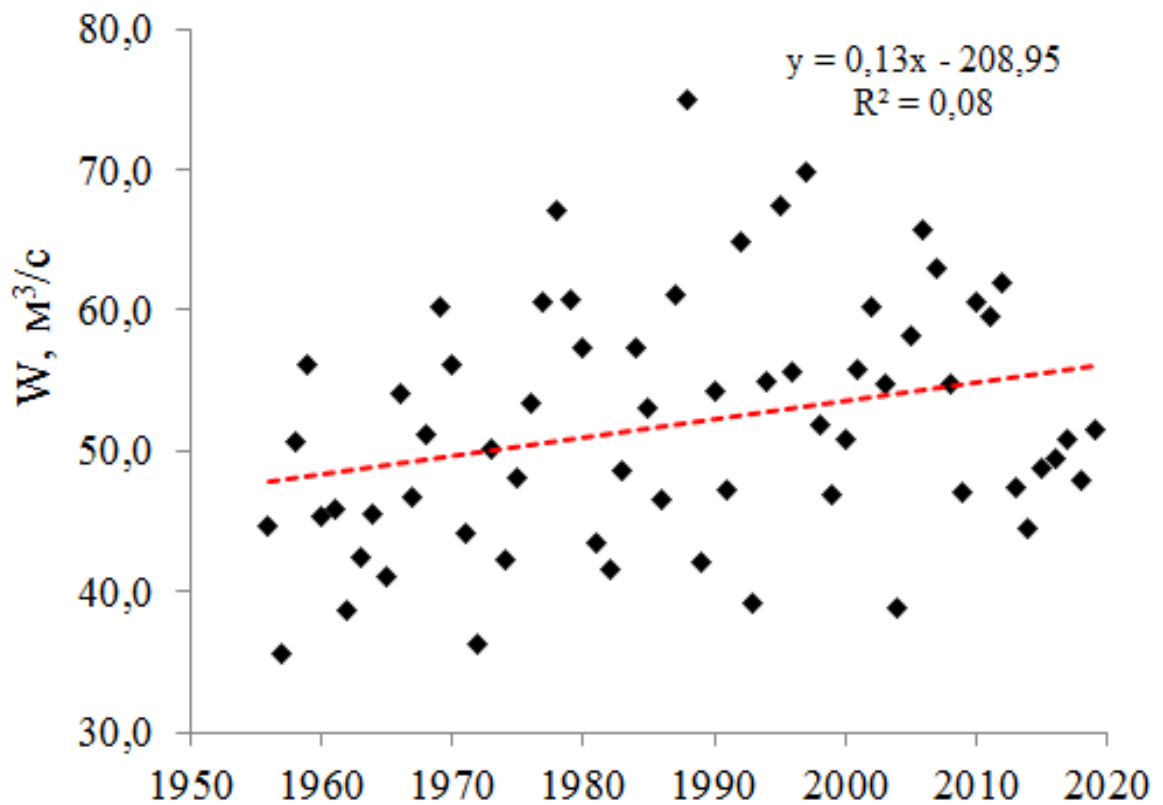


Рисунок 3.5.- Корреляция значений расхода воды реки Ванч (W) в зависимости от года измерения

Среднегодовые величины и статистические постоянные атмосферных осадков при анализе многолетней выборки (таблица 3.2), может свидетельствовать о беспрепятственном проникновении влажных воздушных масс в бассейн реки. В свою очередь, наличие стабильного поступления атмосферной влаги способствует образованию развитой сети питания реки, включая и подземные источники.

Температура воздуха в районе метеостанции также остаётся статистически стабильной относительно линейного тренда. При этом влияние температуры воздуха на сток реки всё же отражается в виде слабой положительной корреляции (таблица 3.2). Что свидетельствует о нарастании температурного воздействия на ледники в зонах питания реки Ванч. Причём процесс идёт на высотах явно выше метеостанции Хумроги. В целом, эта гипотеза согласуется с общей картиной, характерной для территории Западного Памира, где среднегодовая максимальная температуры воздуха повысилась на $0,53^{\circ}\text{C}$, а среднегодовая минимальная на $0,76^{\circ}\text{C}$ с 1960 по 1990 гг [148].

Увеличение расхода воды, прежде всего, связано с увеличением доли ледникового стока, сопровождающегося сокращением площади оледенения бассейна. При этом мы предполагаем, что площадь оледенения в бассейне реки Ванч находится в сильно разрыхленном состоянии. Именно этим можно объяснить наблюдаемое смещение пиков среднемесячного стока (рисунок 3.6).

Деграляция ледников приведёт к убыванию ледникового вклада в формирование стока реки Ванч и, наряду с этим, вызовет пространственный разрыв системы река – ледник в ближайшие годы. Такие изменения уже произошли в бассейне реки Гунт. Где за период с 1998–2011 гг. площади ледников сократились на 14 % (96 км^2), что вдвое превышает значения периода 1969–2002 гг [149].

В бассейне реки Ванч отмечен компенсирующий вклад подземных источников в формировании стока в засушливые периоды [136]. Влияния подземных источников воды на образование стока можно было бы оценить при функционировании непосредственно на верховье реки еще одной гидрологической станции.

На фоне описанных в литературе климатических изменений в масштабах Западного Памира [139] какие-либо статистически значимые колебания во времени линейных климатических трендов среди квартилей 25 % и 75 % на станции Хумроги отсутствуют. Причиной этого может быть специфика орографических условий узкой долины. Однако мы наблюдаем явные закономерности, связанные со встречаемостью этих квартилей – индикаторов экстремальных значений (рисунок 3.3, 3.4 и 3.5). Что отражает колебательный характер климатических изменений в ряду наблюдений.

Для квартилей 25 % температуры воздуха можно считать объективно зафиксированной только долгую паузу без низких значений (относительно выборки) в период 1975 – 1987 гг. и последующий период с частой встречаемостью низких значений, окончившийся в 2003 г (рисунок 3.3). Частично это согласуется с ситуацией для квартилей атмосферных осадков, для которых пауза максимальных квартилей наблюдалась в период с 1969 по 1987 гг., а встречаемость минимальных квартилей закончилась в 2001 г (рисунок 3.4).

Если данные метеостанции Хумроги достаточно локальны, то среднегодовой сток реки Ванч можно считать интегральным показателем климатической ситуации во всём бассейне. В настоящее время мы находимся в относительно маловодном периоде, начавшемся в 2013 г (рисунок 3.5). Среднее значение стока в этом периоде $48,6 \pm 2,3 \text{ м}^3/\text{с}$ против предыдущего многоводного со средним значением $56,8 \text{ м}^3/\text{с} \pm 7,8$. При этом, сопоставляя длительность предыдущих маловодных периодов, следует ожидать скорого наступления многоводного периода.

Выявленная периодичность позволяет предположить наличие взаимосвязи с циклами солнечной активности. Как минимум группа квартилей $\geq 75\%$ с 1987 по 1997 гг практически полностью совпала с 22-м солнечным циклом [150]. Причём 1987 г, как год перехода, отражается во всех рядах данных 2002 г, когда начался последний многоводный период, соответствует пику 23-го солнечного цикла. Всё это указывает на необходимость серьёзного исследования по теме влияния космической погоды на ледники и сток рек с ледниковым питанием. Однако следует предостеречь исследователей от прямого сопоставления с числами Вольфа, поскольку это, вероятно, самый примитивный параметр. Необходимо опираться на прямые данные об энергетическом воздействии солнечного излучения и ветра.

3.4. Метеорологические факторы изменения среднемесячного расхода воды реки Ванч с 1940 по 1970 и 1986 по 2016 гг

Динамика среднегодового стока реки с 1956 по 2016 гг. представлена на рисунке 3.6. Средние значения выборки составляют $55 \text{ м}^3/\text{с} \pm 3,2$. На фоне стохастических колебаний данных, визуально, можно выделить тенденцию к повышению минимальных значений, что приводит к редукции числа точек с квартилем $\leq 25\%$ после 1993 г. До 1993 г. какие-либо тенденции в квартилях $\leq 25\%$ не прослеживаются. Квартили максимальных значений $\geq 75\%$ позволяют выделить три группы длительностью 11 лет с 1969 по 1979, с 1987 по 1997 и с 2002 по 2012 гг.

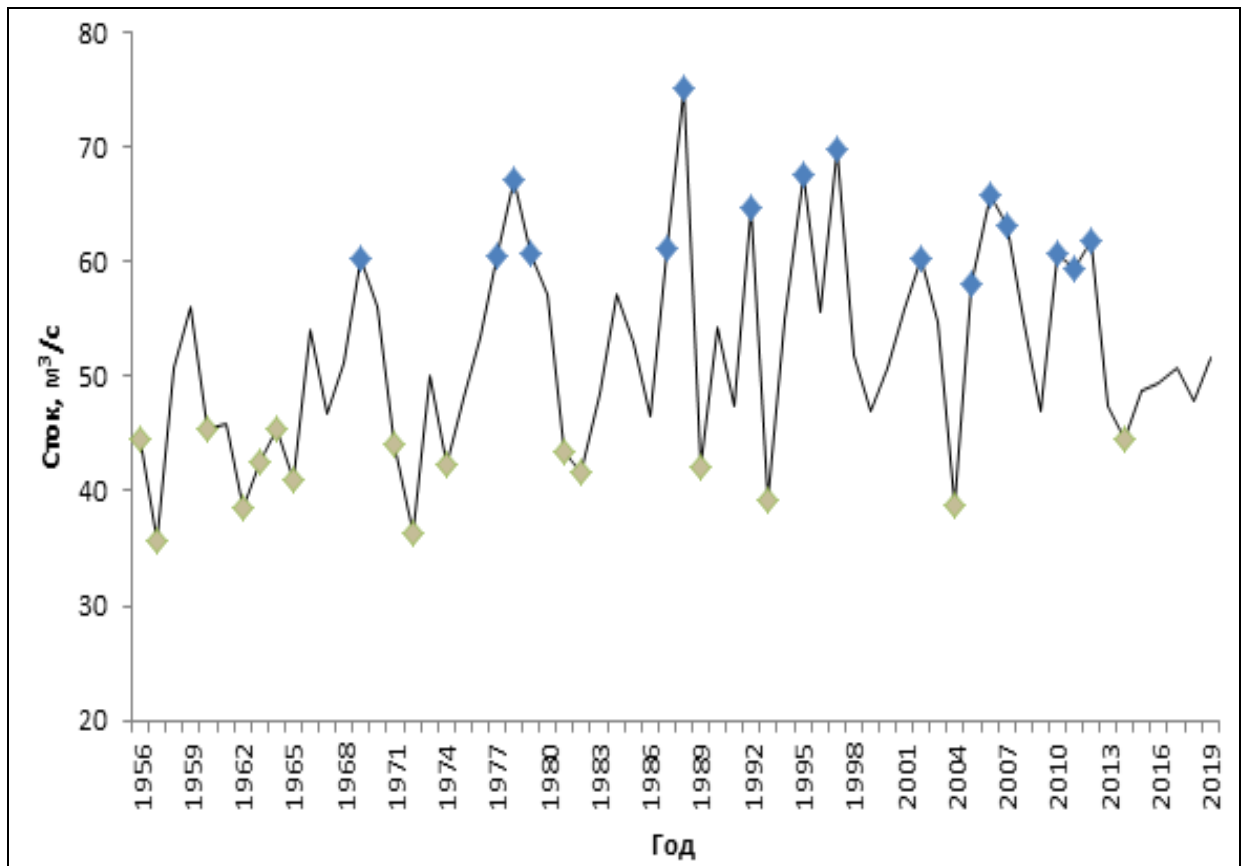


Рисунок 3.6. - Динамика среднегодового расхода воды реки Ванч по данным гидропоста Бичихарв с 1956 по 2019 гг.

Для того чтобы установить основной тип питания реки Ванч достаточно взглянуть на рисунке 3.7 который показывает, что максимальное количество атмосферных осадков в бассейне реки приходится на март-апрель месяцы, а максимальный объем воды в реке наблюдается в июле месяце. Это означает, что река Ванч характеризуется ледниковым питанием.

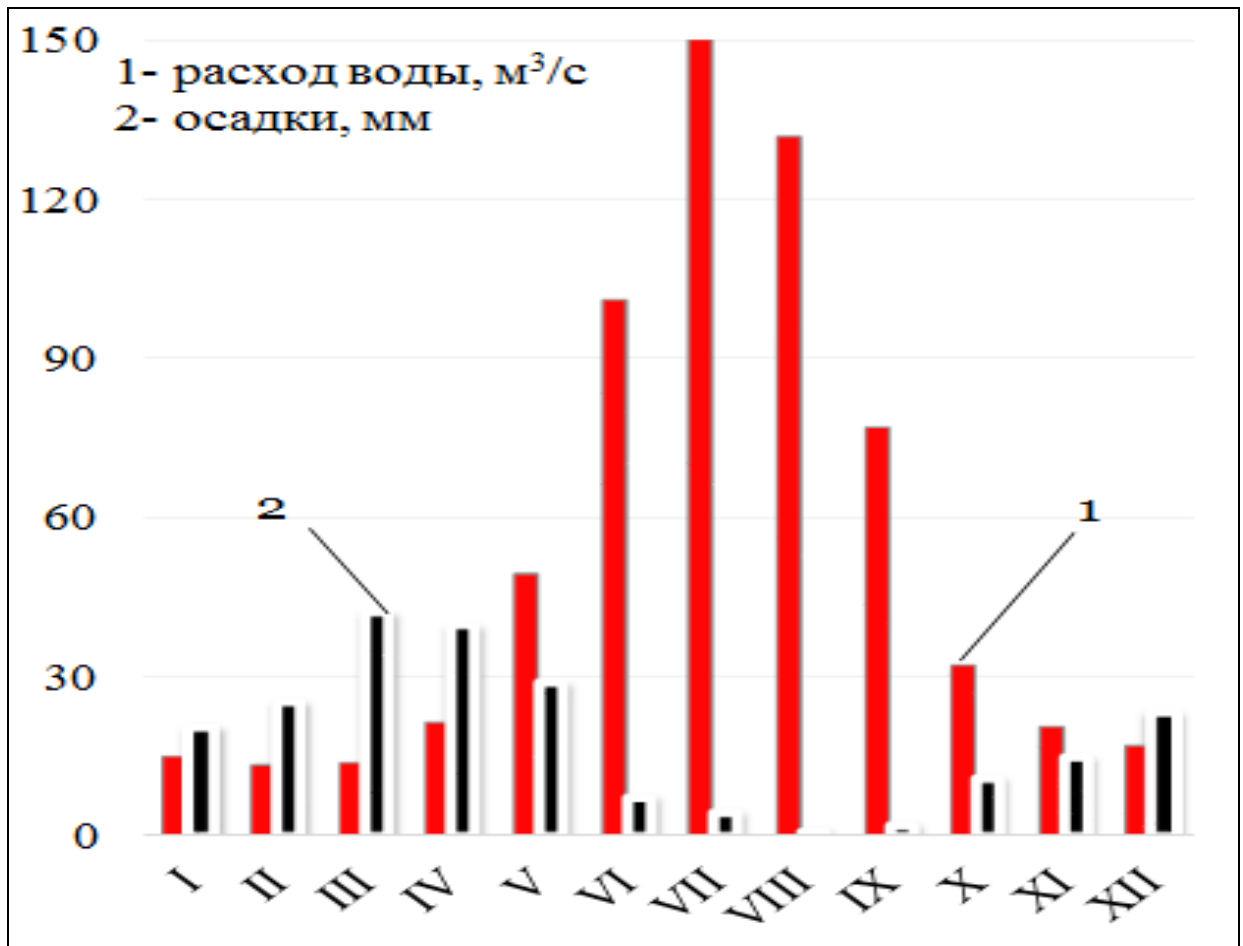


Рисунок 3.7.- Изменение среднемесячного значения расхода воды реки Ванч и атмосферных осадков по данным метеорологической станции Хумроги за период 1940-2019 гг

Годовой модуль стока бассейна ледника Географического общества и бассейна реки Абдукагор в 1965 г. составляли 1560 и 28,4 л/ км² · с соответственно [151].

Следует отметить, что отличительная особенность реки Ванч в отличие от других притоков реки Пяндж заключается в том, что подземные воды играют заметную роль в подпитке реки в период маловодья [148].

Согласно результатам изучения процессов формирования стока реки, в последние 40-45 лет наблюдается увеличение стока р. Ванч. Например, объем стока реки с 1940 по 1970 гг. почти в полтора раз меньше его значения с 1986 по 2020 гг [148]. При этом пик смещён на более ранний период (рисунок 3.8). Для выяснения происходящего процесса была рассчитана

разница между данными периодами и выявлены месяцы с максимальными различиями (рисунок 3.9).

Из рисунка 3.9 видно, что максимальная разница в гидрографе реки Ванч между двумя долгосрочными периодами наблюдений фиксируется в 5, 6 и 7 месяцы. В остальные месяцы превышение не больше стандартного отклонения от среднегодового стока по всей выборке, что можно считать фоновыми колебаниями.

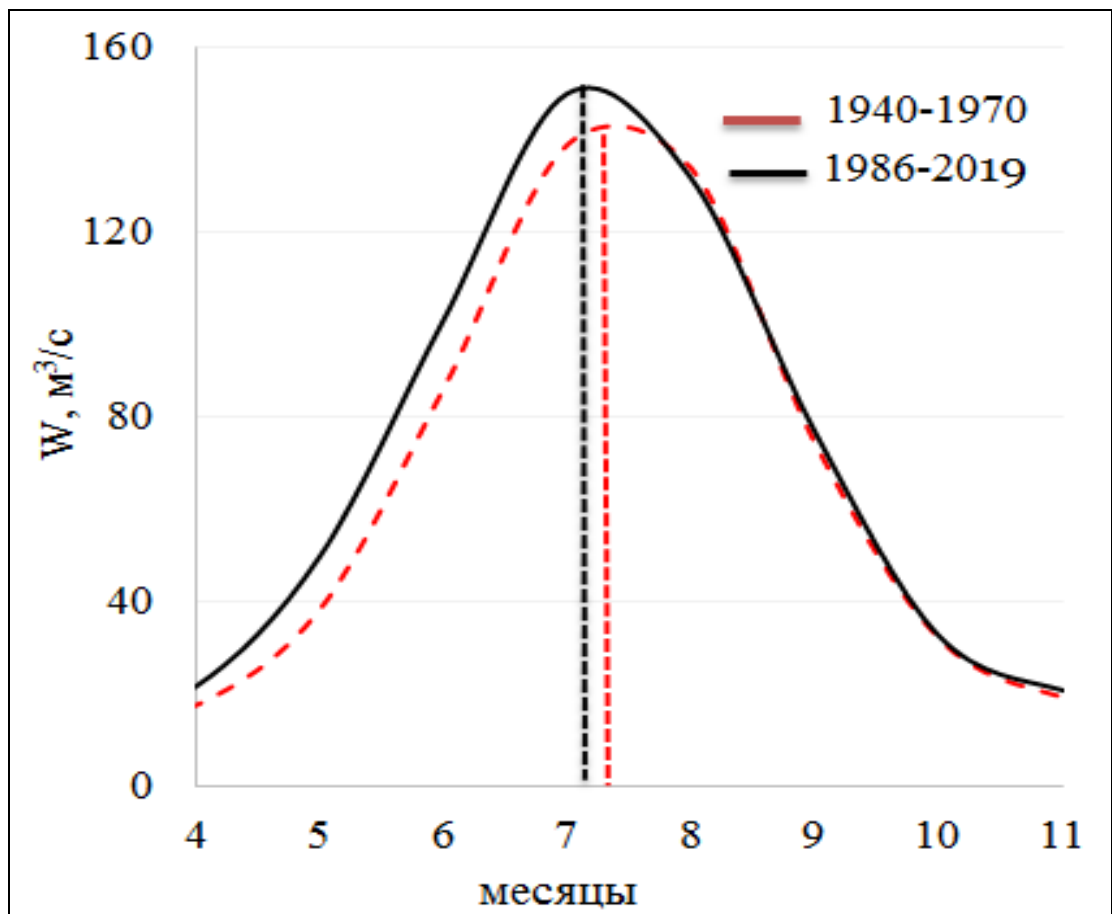


Рисунок 3.8. - Гидрограф реки Ванч с 1940 по 1970 и 1986 по 2020гг

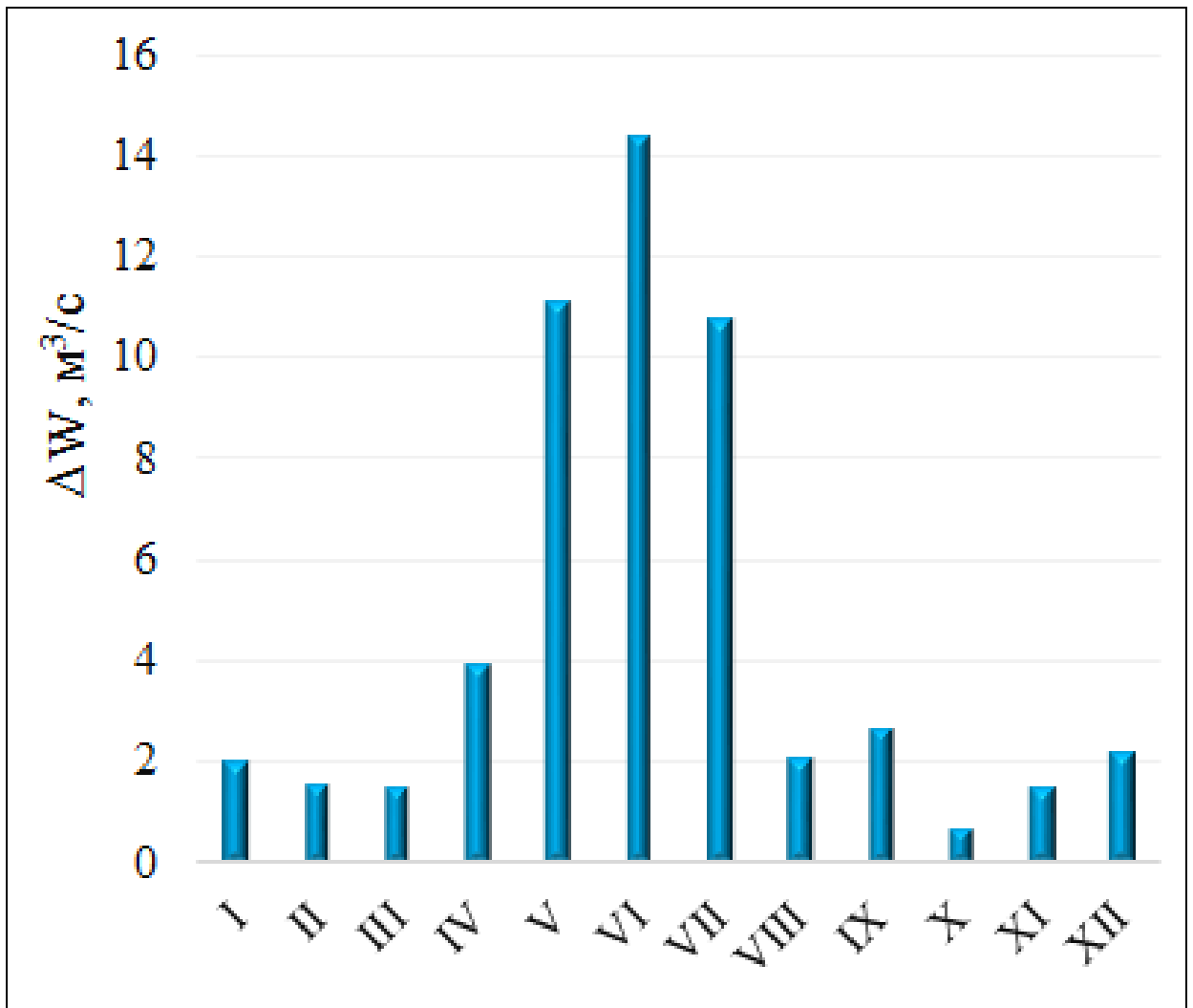


Рисунок 3.9. - Разница значений среднемесячного стока реки Ванч в периоды 1940 – 1970 и 1986 – 2020 гг

ГЛАВА IV. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРНЫХ РЕГИОНОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ ГУНТ

4.1. Влияние орографии местности на образование расхода воды

Снежно-ледовые ресурсы на высокогорьях бассейна Аральского моря являются жизненно важными компонентами для развития двух ключевых отраслей региона. Гидроэнергетика и сельское хозяйство являются основными пользователями и потребителями водных ресурсов региона Центральной Азии. Однако заинтересованность гидроэнергетики сельского хозяйства по максимальному использованию воды по сезонам года противоположны. Гидроэнергетике вода необходима для производства электроэнергии пик потребности которой приходится зимой, а для сельского хозяйства вода потребуется для ирригации сельскохозяйственных земель летом в период полива растений. В советский период урегулирование водно-гидроэнергетических отношений республик Средней Азии осуществлялось согласно разработанной комплексной схемы использования водных ресурсов региона. Учитывая горный орографию и ограниченности площадей для развития сельского хозяйства в республиках на верховье рек в разработанной схеме предусматривалось развитие гидроэнергетического потенциала путем возведения крупных и средних водохранилищ. Обширные территории на равнинах низовьях рек предусматривалось для развития сельского хозяйства и выращиванию в основном хлопка-сырца. После распада СССР для бесконфликтного и справедливого распределения водных ресурсов в регионе были учреждены региональные межгосударственные организации, которые по сей день занимаются строгим учетом образования стока рек и их распределения между государствами [152].

Для планомерного распределения и использования водных ресурсов, прогноза природных чрезвычайных ситуаций, связанных с водными факторами и эффективного использования как ирригационной, так и

гидроэнергетических аспектов водных ресурсов и планирования перспективных планов их развития строго требуется учет и обоснование фактических значений водно-ледовых ресурсов в зонах формирования рек и последовательный мониторинг их состояний. Благодаря протеканию горных рек по сложным и труднодоступным местам осуществление систематического и последовательного наблюдения и измерения гидрологических характеристик рек становится проблематичной [153,154]. Разработанные математические модели с их калибровкой на базе скудных данных часто становятся фактором искажения реальной картины.

Известно, что горная местность характеризуется многочисленными межгорными впадинами и долинами, каждая из которых отличается своим микроклиматом и набором климатических характеристик. Наличие многообразия климатических характеристик бассейнов рек требует индивидуального подхода к их описанию [155].

В данном разделе диссертации освещены проблемы динамики метеорологических условий и их влияние на образование стока рек в климатических зонах Памира.

4.2. Метеорологические условия и гидрология рек Западной климатической зоны Памира

Река Гунт длиной около 250 км с площадью водосбора 14840 км² является притоком реки Пяндж и в свою очередь имеет приток – реку Шахдарья [156,162].

Западный таджикский Памир обычно получает большее количество среднегодовых осадков (200–2000 мм/год), чем восточный (<100–200 мм / год), который относится к области, на которую наблюдается влияние орографического эффекта [157].

Сток рек Памира проявляют отчетливую сезонность с устойчивым низким стоком зимой, быстрым увеличением стока весной, высоким пиковым стоком с сильной изменчивостью летом и резким спадом в начале

осени. Около 40% годового стока рек в Центральном Памире обусловлено вкладом подземных вод, который, по сути, является единственным источником стока в зимний период [158]. Около 30% годового стока приходится на таяние ледников (снег и лед), что ограничивает общий вклад в общий сток водосборов [159].

В опубликованных в последние годы научных работ приводятся совершенно разные значения гидрологических параметров рек Памира, причиной которой прежде всего скрывается в узком охвате периодов наблюдений и поспешные выводы по результатам рассмотрения единичных периодов тенденций изменения гидрологических параметров. Например, в [160,161] утверждается о положительном тенденции стока притоков Амударьи, при этом значительное уменьшение годового объема таяния и ледникового стока для всех крупных рек на Памире за период 1957-1980 гг.

Отличительной особенностью высокогорного Памира от остальных высокогорных регионов мира заключается в том, что истоки большинства его водных артерий являются талые снежно-ледовые воды [151-155]. Расположение Памира в зоне транзита западного воздушного потока и муссонов из Индийского океана благоприятствует процессам обеспечения его географических широт достаточным количеством атмосферных осадков.

Особенности влияния горного рельефа на образование осадков можно наблюдать в бассейнах западного Памира. Например, западная и восточная часть реки Гунт совершенно отличаются по метеорологическим характеристикам в различные сезоны года. На западной части реки рельеф долинный подверженный высокой эрозии, а восточная часть представляет собой не высокое плато с широкими долинами. Река Гунт отличается еще одной особенностью. Отличительная особенность реки Гунт заключается в том, что в сезон холодов и маловодья находящиеся в стволе реки озеро (Яшилькуль) становится регулятором изменения расхода воды [163].

О значительном вкладе западных потоков, муссонов из Индийского Океана и южных циклонов обеспечении водосбора реки Гунт осадками также указывается в [157].

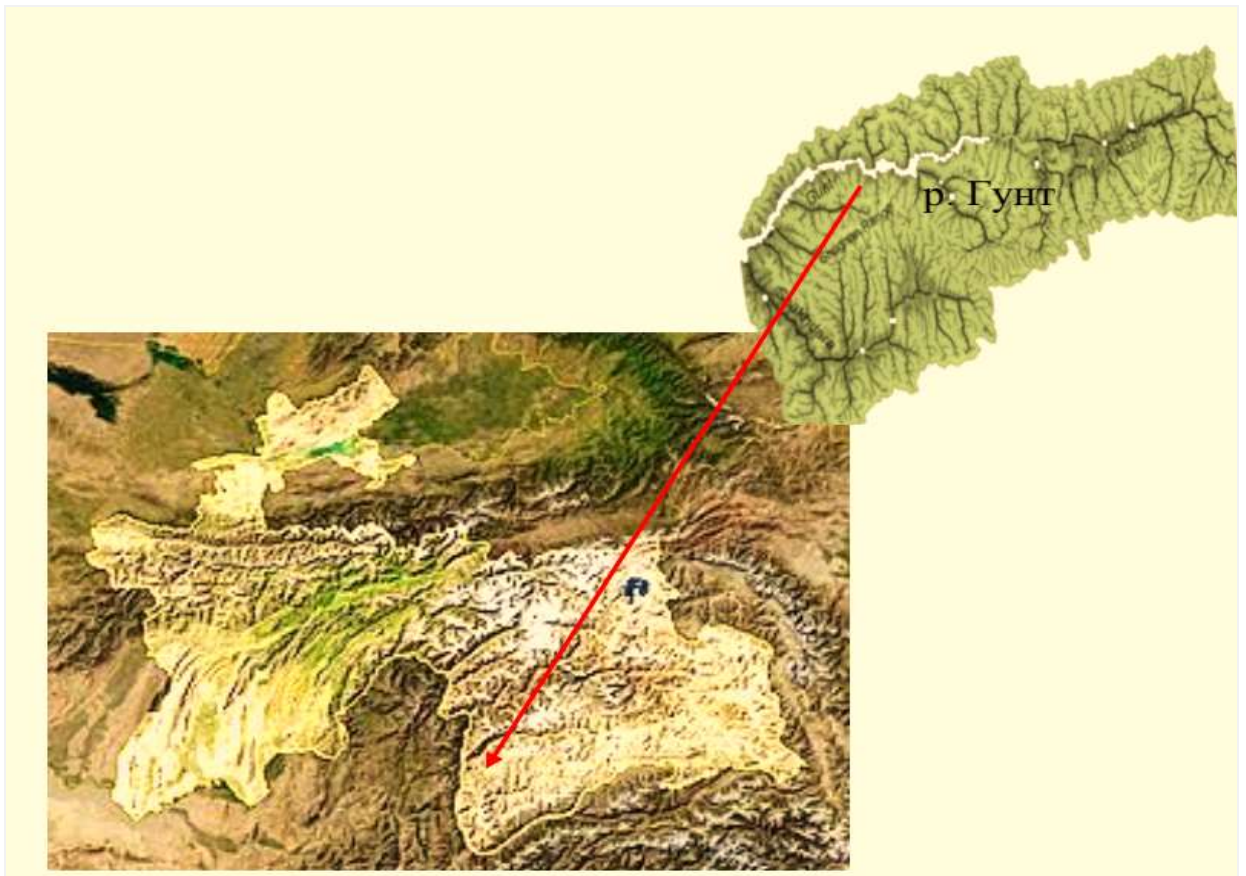
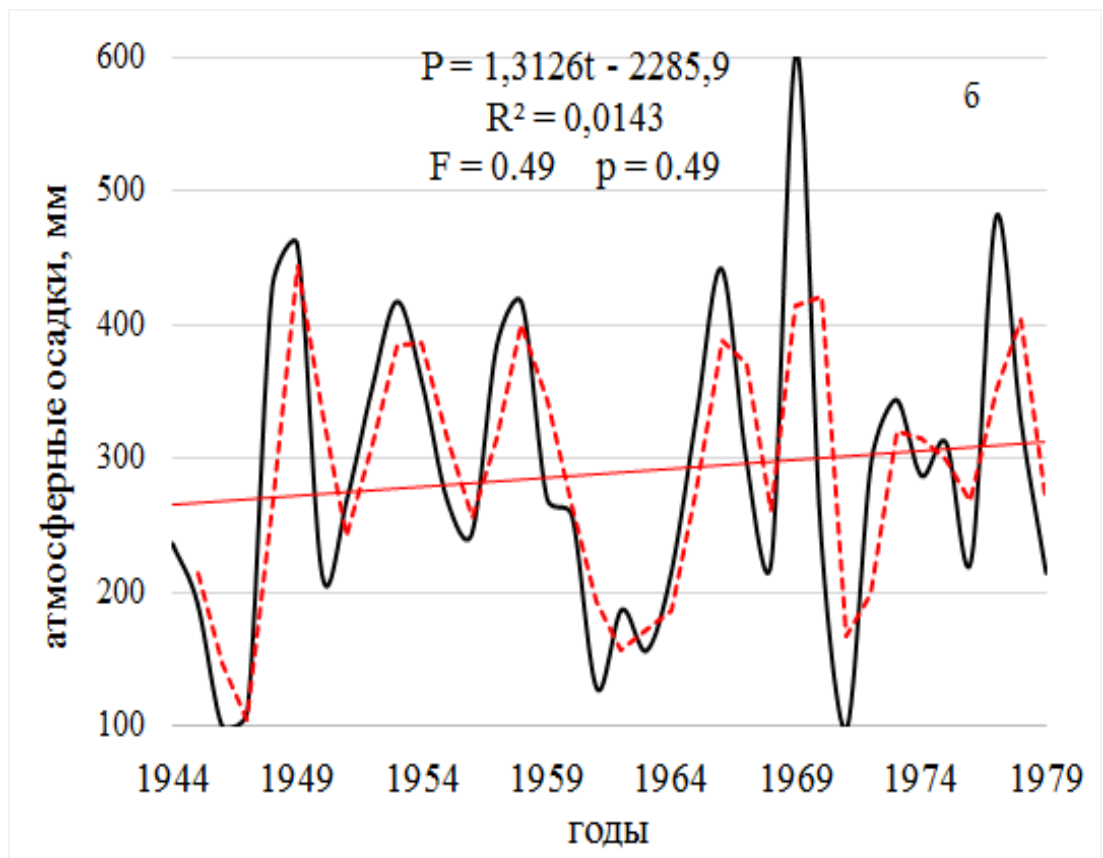
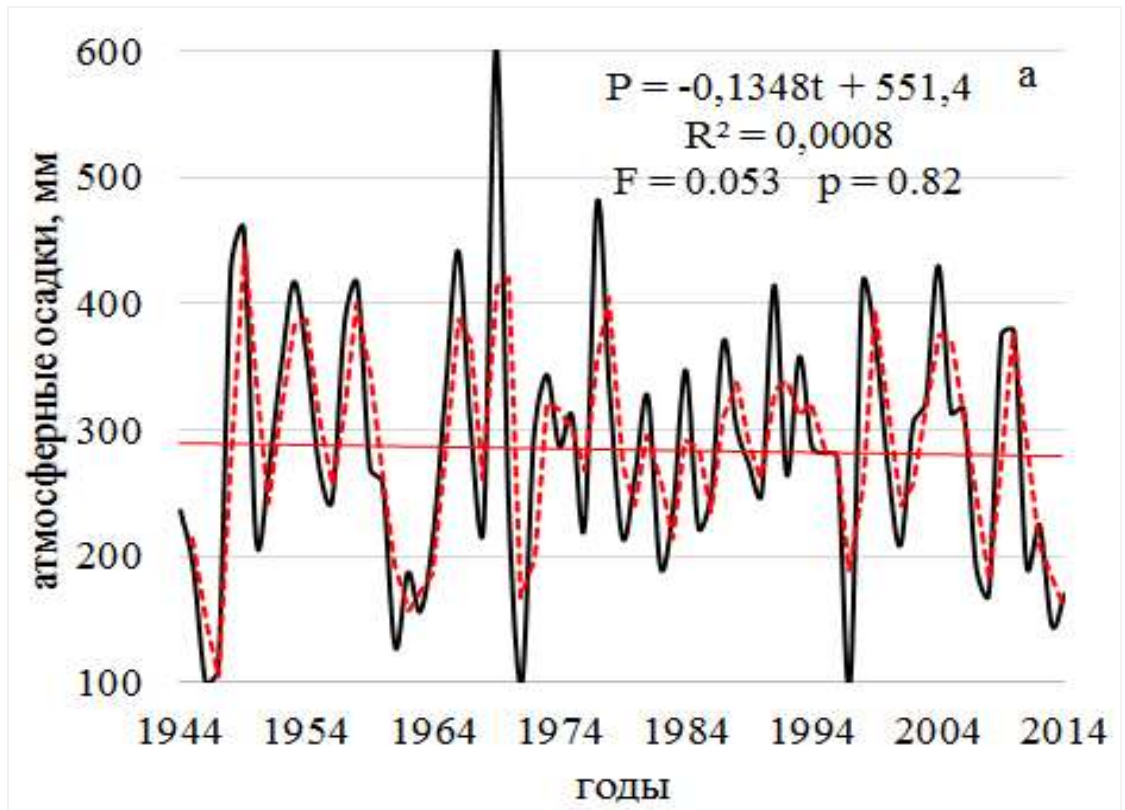


Рисунок 4.1.- Водосборная площадь реки Гунт

В настоящем разделе работы представлены результаты репрезентативного анализа гидрологических характеристик реки Гунт и мониторинг метеорологических условий бассейна реки за период 1944-2015 гг.

Целью настоящего раздела является проведение репрезентативного анализа гидрологических характеристик реки Гунт и мониторинг метеорологических условий бассейна реки за период 1944-2015 гг.

За рассматриваемый период количество атмосферных осадков сохраняло среднемноголетнее значение около 285 мм (рисунок 4.2, а). Однако, как видно из рисунка 4.2 (б) возрастающий тренд атмосферных осадков периода 1944-1979 гг сменился на их уменьшение в период 1980-2015 гг (рисунок 4.2, в).



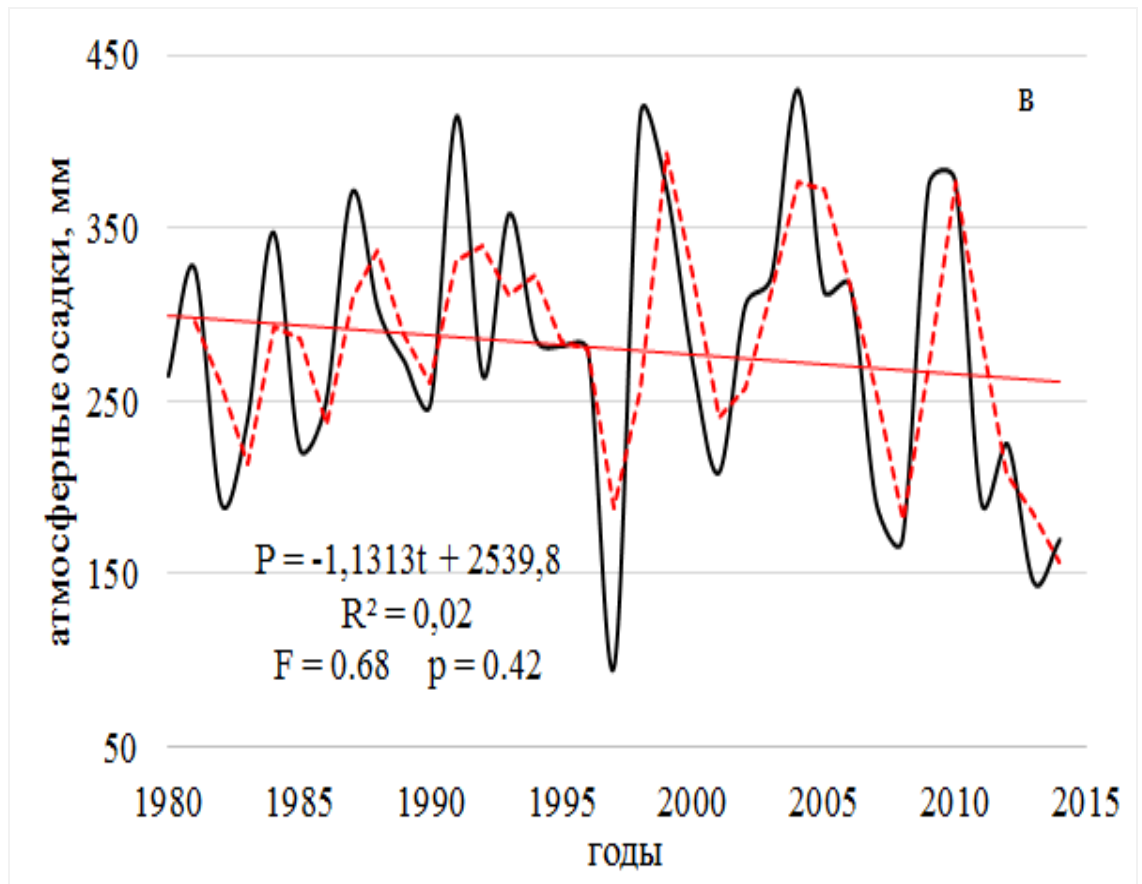
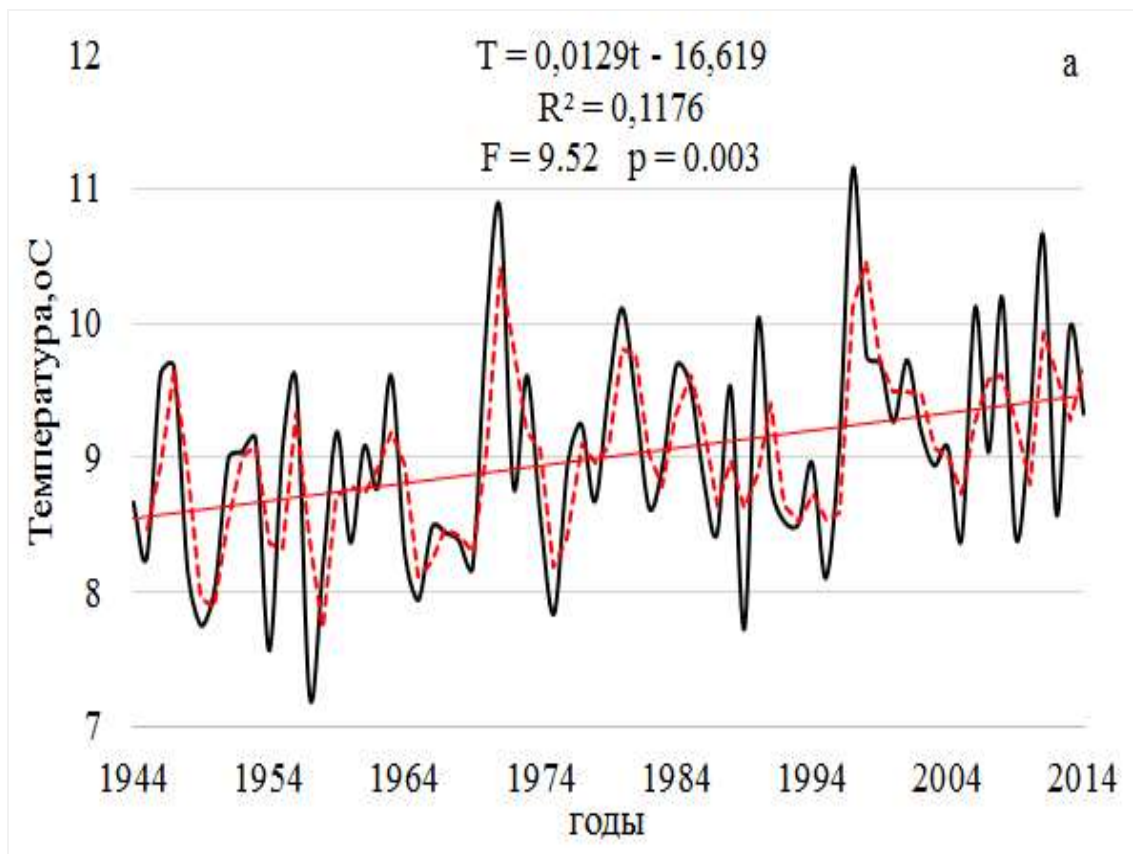


Рисунок 4.2. - Динамика атмосферных осадков в бассейне реки Гунт с 1944 по 2015(а), с1944 по1979 (б) и с 1980 по 2015гг (в)



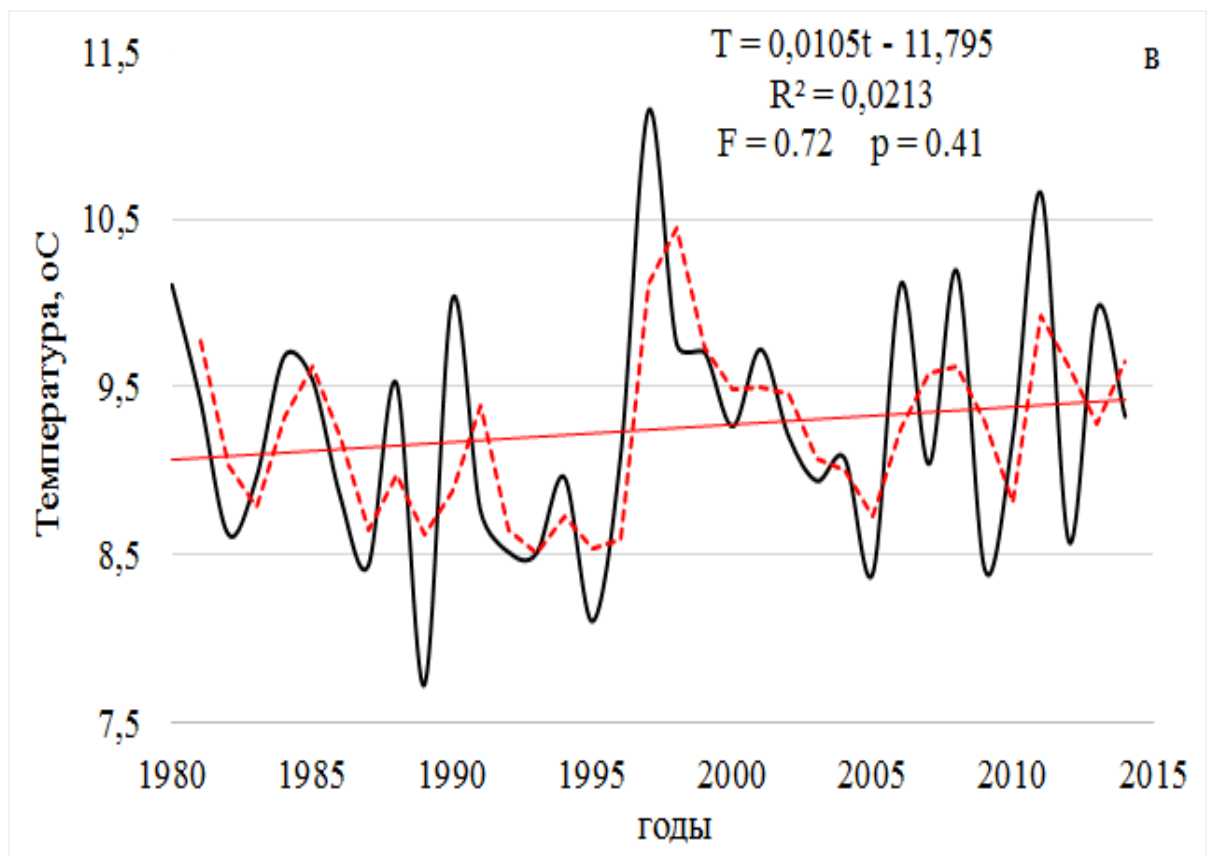
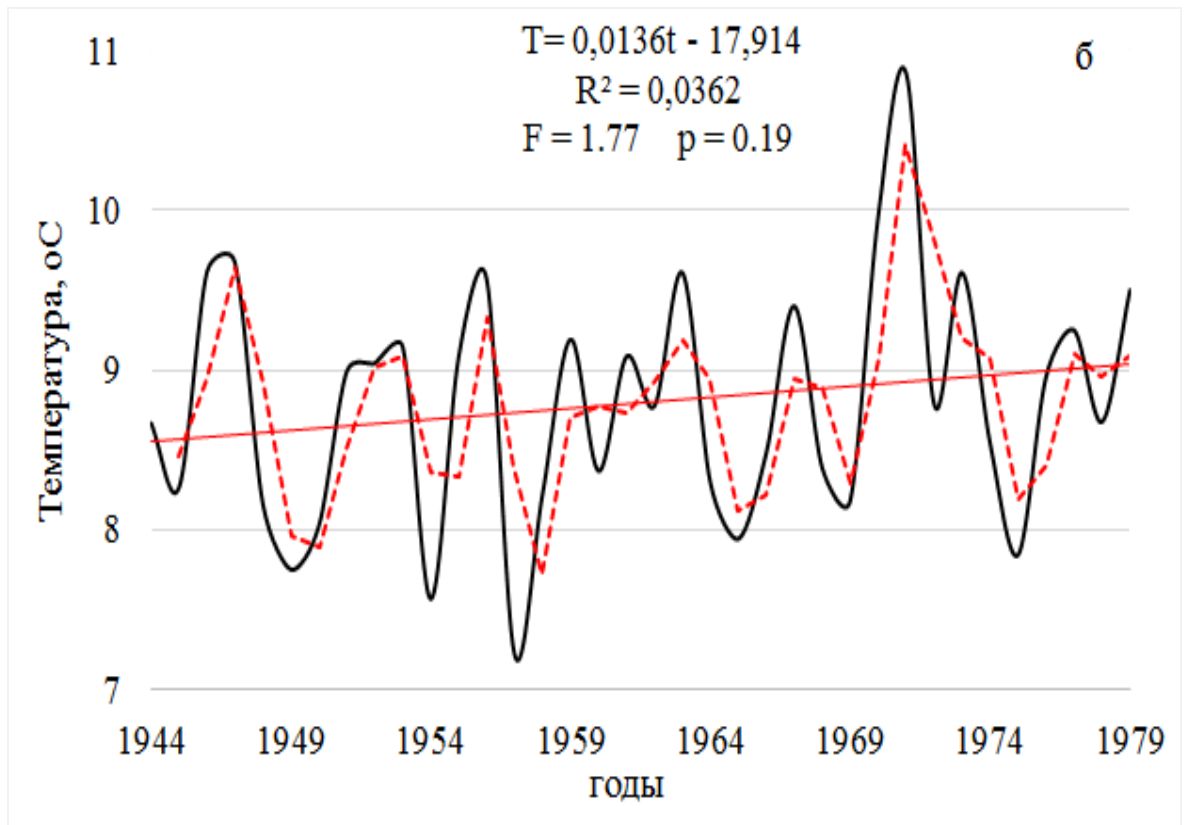
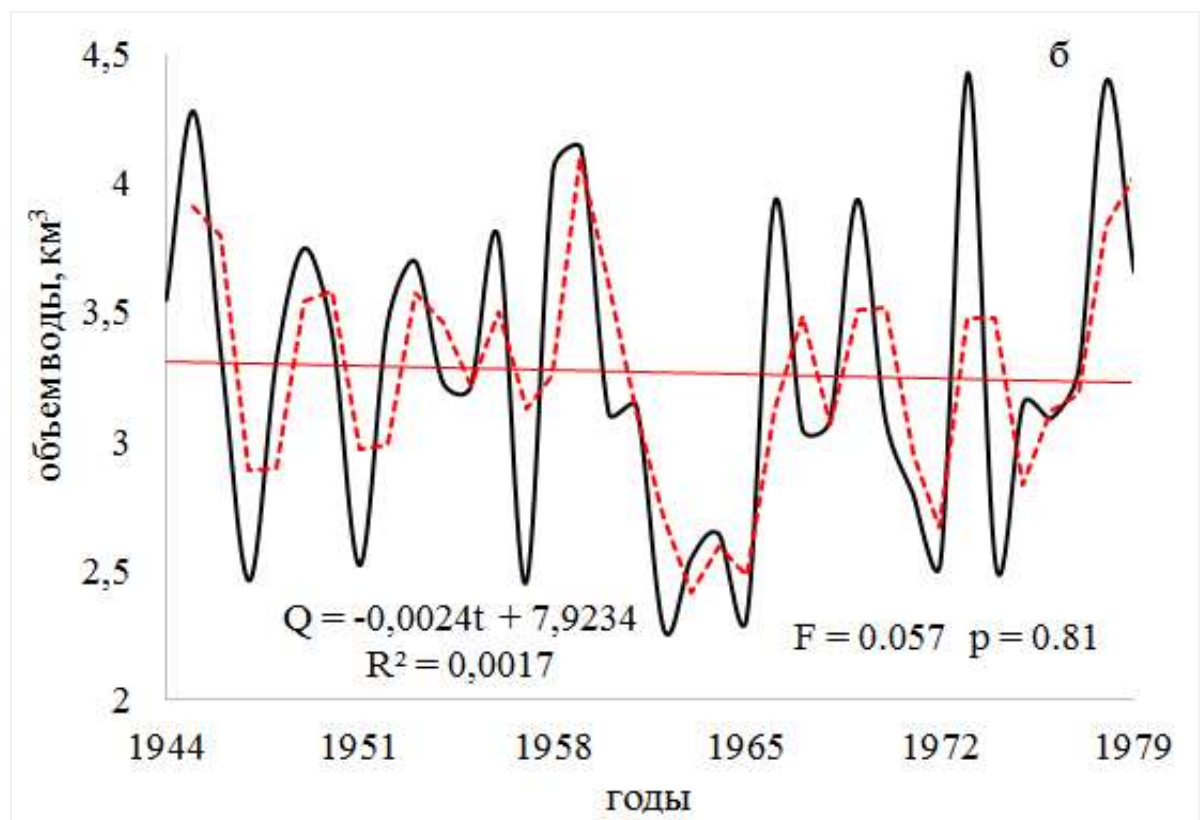
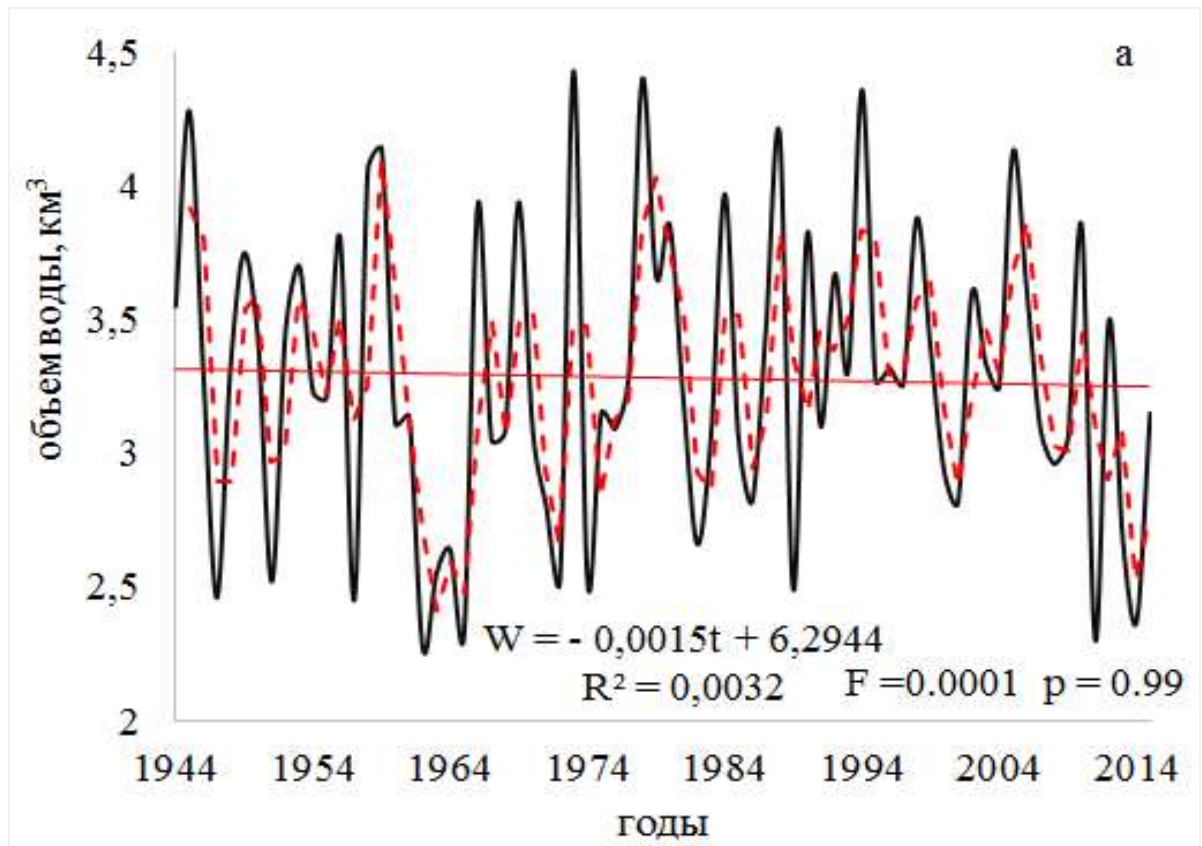


Рисунок 4.3. – Динамика температуры бассейна реки Гунт с 1944 по 2015 (а), с 1944 по 1979 (б) и с 1980 по 2015 гг (в) (F-критерий Фишера, р-уровень значимости)

Динамика объема стока реки Гунт с 1944 по 2015 гг представлена на рисунке 4.4 показывающий почти ее неизменности.



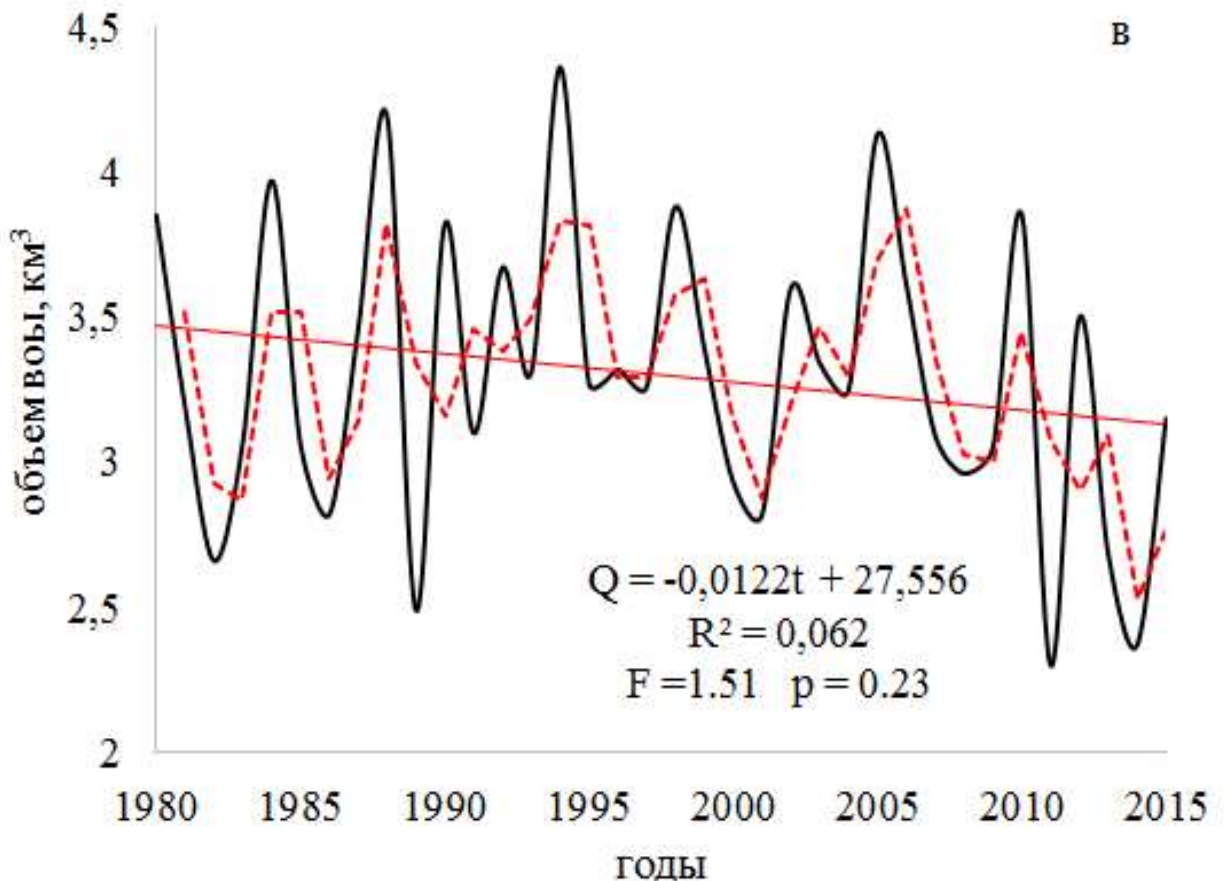


Рисунок 4.4. - Сток реки Гунт с 1944 по 2015 гг (а), с 1944 по 1979 гг (б), 1980-2015 гг (в) (F-критерий Фишера, p-уровень значимости)

Изменения стока с 1944 по 1979 гг и с 1980 по 2015 гг приведено на рисунке 4.4, б, в демонстрирующее убывание стока в второй рассматриваемый период.

4.3. Динамика изменения температуры и атмосферных осадков в бассейне реки Гунт за период 1940-2020 гг

Рассмотрены изменения стока реки Гунт и метеорологические условия Западной и Восточной частей бассейна реки Гунт за период 1940-2020 гг.

На рисунке 4.5 приведена динамика среднемноголетних атмосферных осадков бассейна реки Гунт с 1940 по 2020 гг.

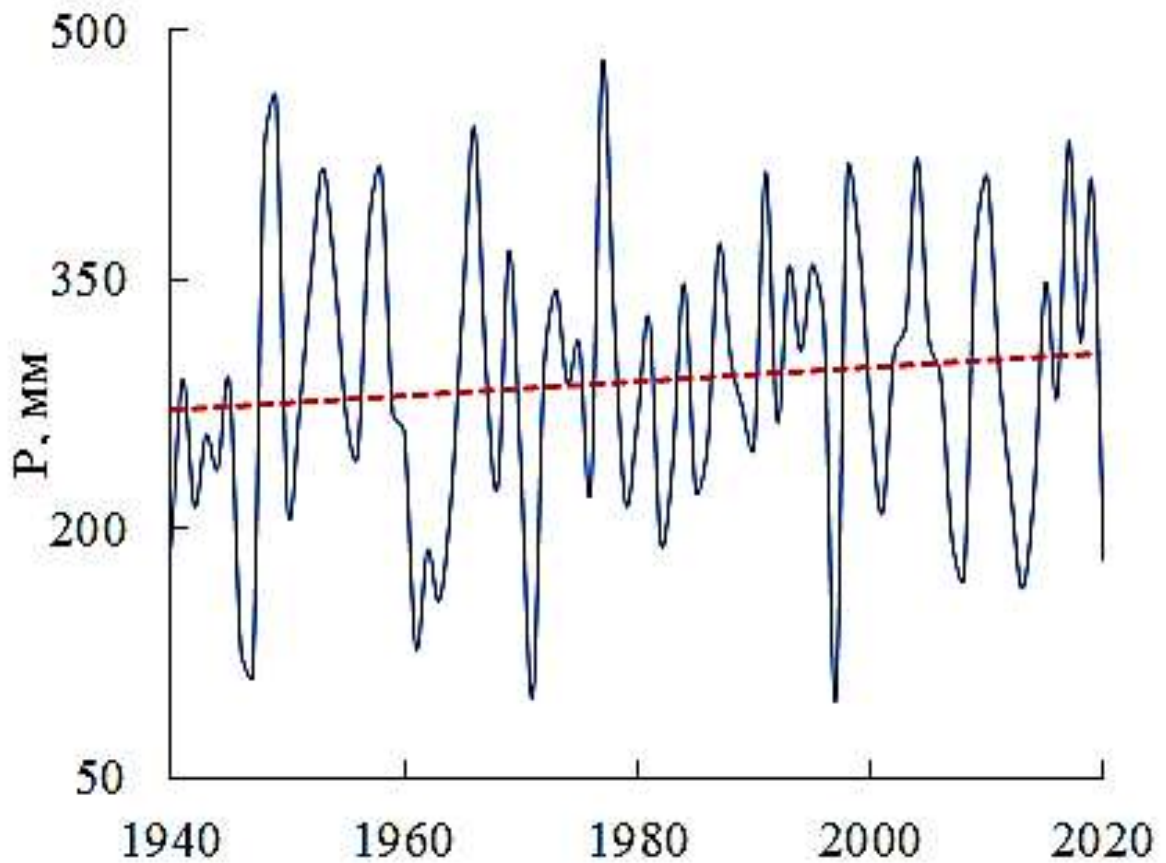


Рисунок 4.5.- Динамика осадков бассейна реки Гунт с 1940 по 2020 гг

На протяжении 80 лет (1940-2020 гг), как показано на рисунке 4.5, осадки в западной части бассейна реки Гунт были практически постоянными. Однако ежегодная температура повышалась со скоростью $0,007\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рисунок 4.6).

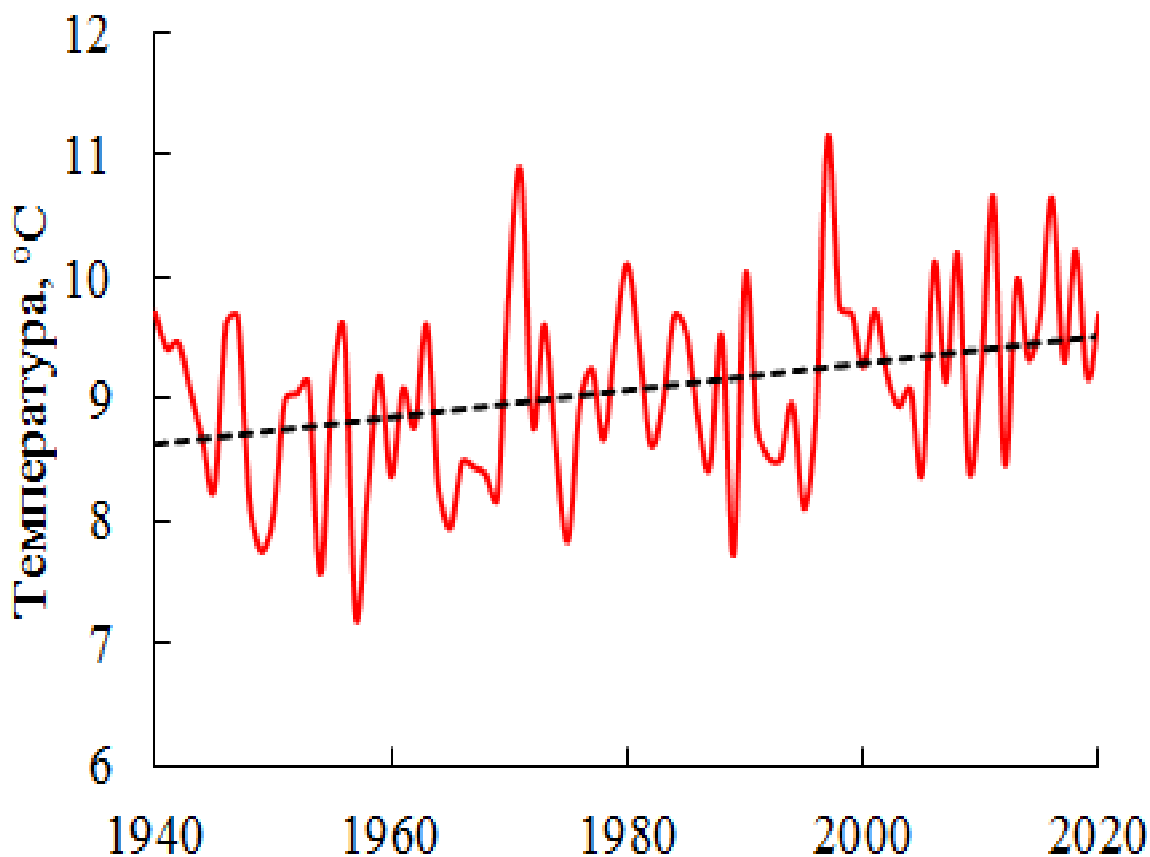


Рисунок 4.6.- Тренд температуры бассейна реки Гунт с 1940 по 2020 гг

Изотопным анализом ($\delta^{2}\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) вод притоков южной и северной части реки Гунта было установлено, что основными воздушными потоками в водосборную площадь реки Гунт является из Каспийского моря [164]. Достаточная концентрация тяжелых металлов в составе вод западных и восточных притоков р. Гунт обусловлены переносимыми воздушными массами из Каспийского и Средиземноморских морей.

На восточной части водосбора реки Гунт тренд динамики температуры и осадков являются противоположными (рисунок 4.7).

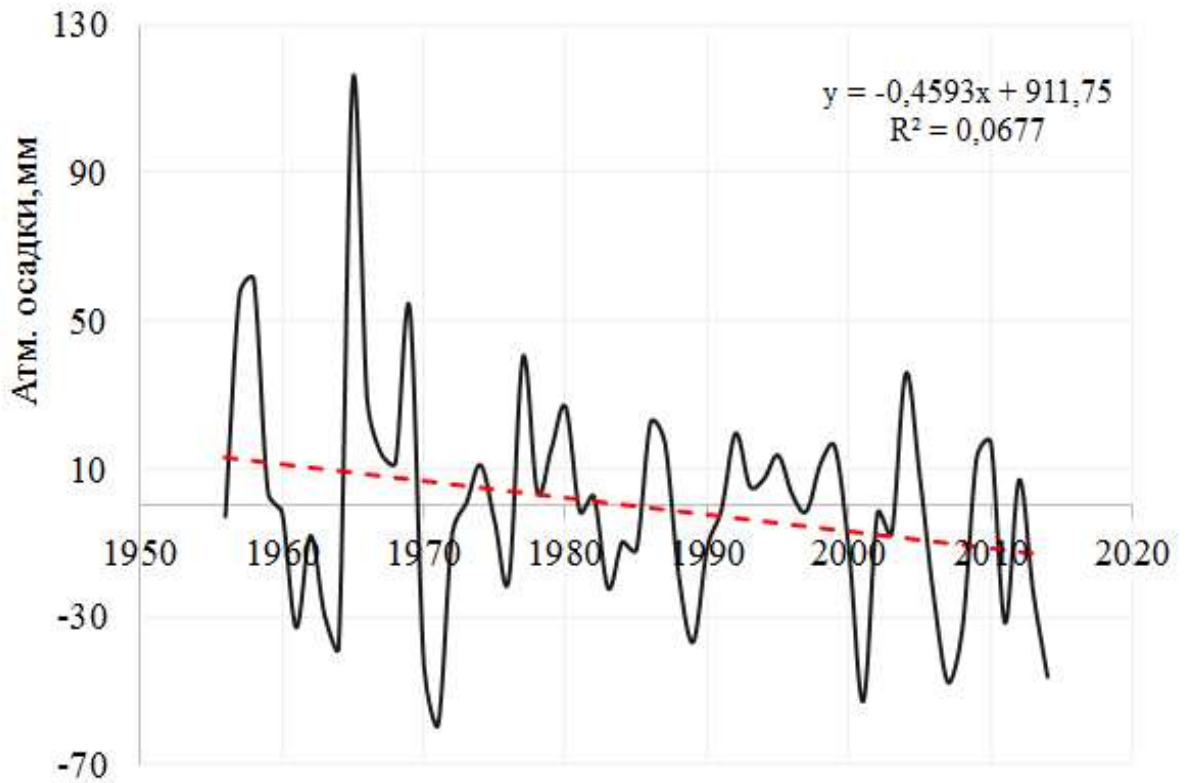


Рисунок 4.7. – Среднегодовое значение осадков в Булункуле по отношению к периоду с 1956 по 2018 гг

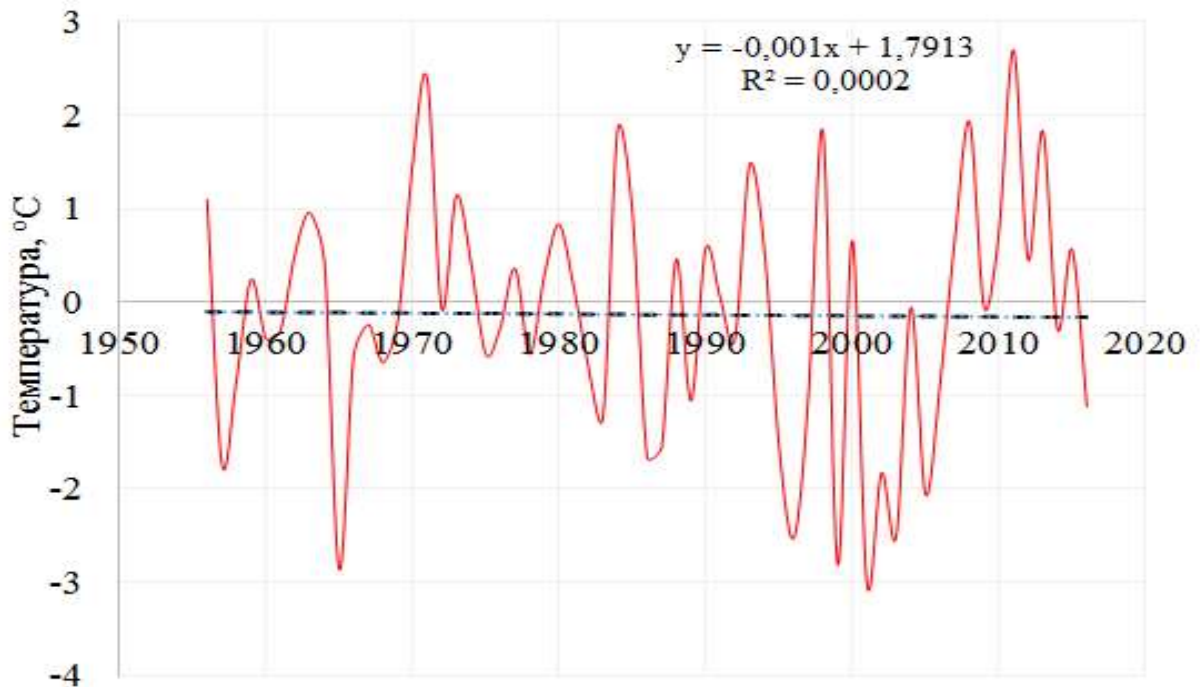


Рисунок 4.8. - Значения среднегодовых температур к среднему многолетнему значению на станции Булункул за период 1956-2018 гг

Тенденция уменьшения количества атмосферных осадков и практически постоянное значение температуры по данным метеостанции Булункул за период 1956-2020 гг. приведена на рисунке 4.7.

Следует отметить, что расположение хребтов к направлению солнечной радиации определяет продолжительности залегания снегов. Относительное географическое расположение хребтов западной и восточных широт бассейна реки Гунт отличающихся количеством падающей радиации определяет в какой-то степени продолжительности установившегося температурного режима и состояние снегового запаса (рисунок 4.8).

Представляет значительный интерес и отражение метеорологических особенностей бассейна на формирование водного стока реки Гунт. Проведенные расчеты показали, что за более 70 лет расход воды в реке Гунт уменьшился на 5%, т.е. около 68 млн. м³ в год.

4.4. Динамика изменения стока реки Гунт за период 1940-2020 гг

На рисунке 4.9, представлено изменение стока реки Гунт за период 1940-2020 гг по отношению к базисному периоду 1960-1990 гг. Из рисунка 4.9 видно, что тренд изменения стока воды имеет уменьшающийся характер. Для объяснения характера изменения стока реки Гунт необходимо анализировать состояние оледенения бассейна реки Гунт.

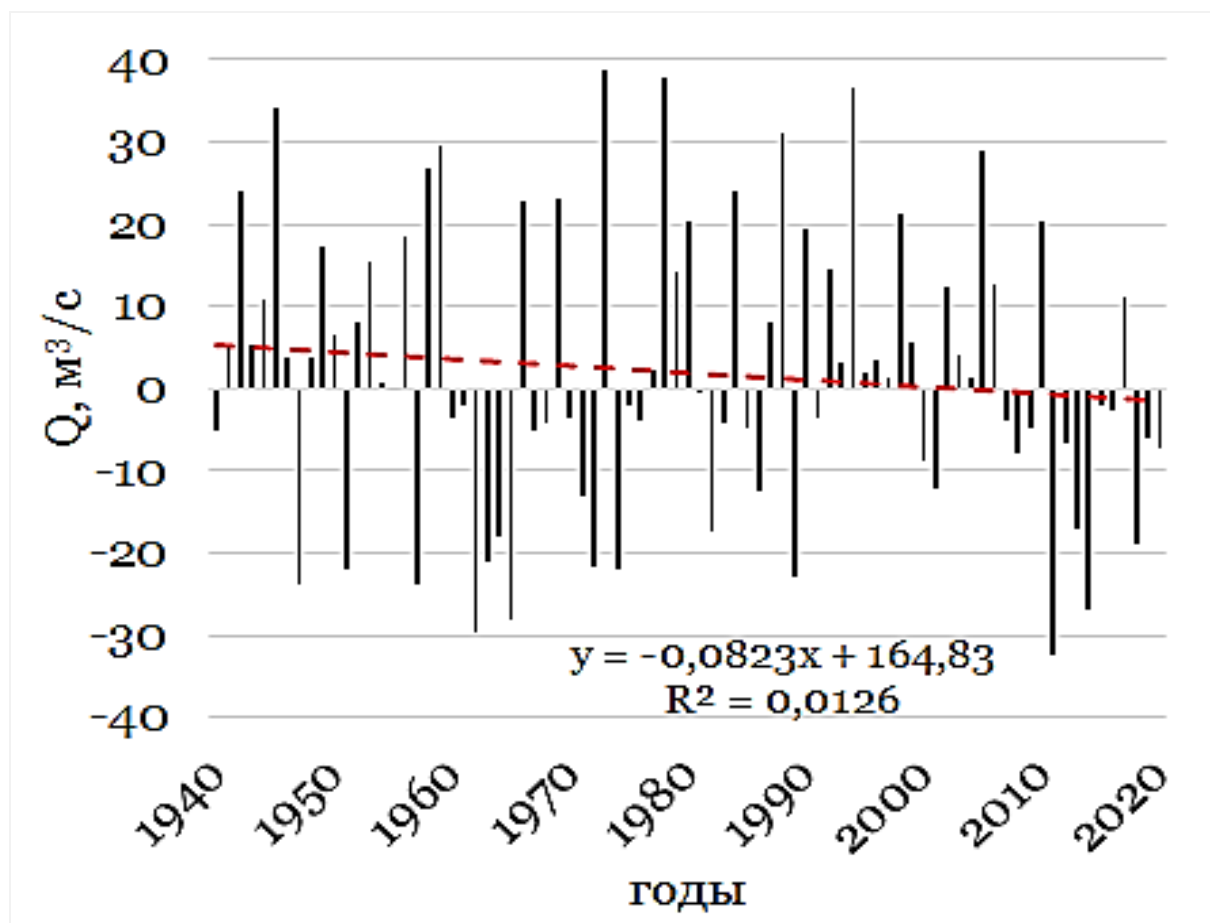


Рисунок 4.9. - Среднегодовые значения расхода воды реки Гунт за период 1940-2020 гг по отношению к базисному период 1960-1990 гг

Резкое сокращение площади оледенения бассейна реки Гунт приводит к убыванию ледникового вклада в формирование стока реки и наряду с этим отступление ледникового покрова приводит к появлению пространственного разрыва системы река-ледник.

Изменение объема стока реки Гунт при разных метеорологических условиях представлено на рисунке 4.10 который показывает, что озеро Яшилькул почти не влияет на изменение стока и тем самым показывает недействительности утверждения работы [158].

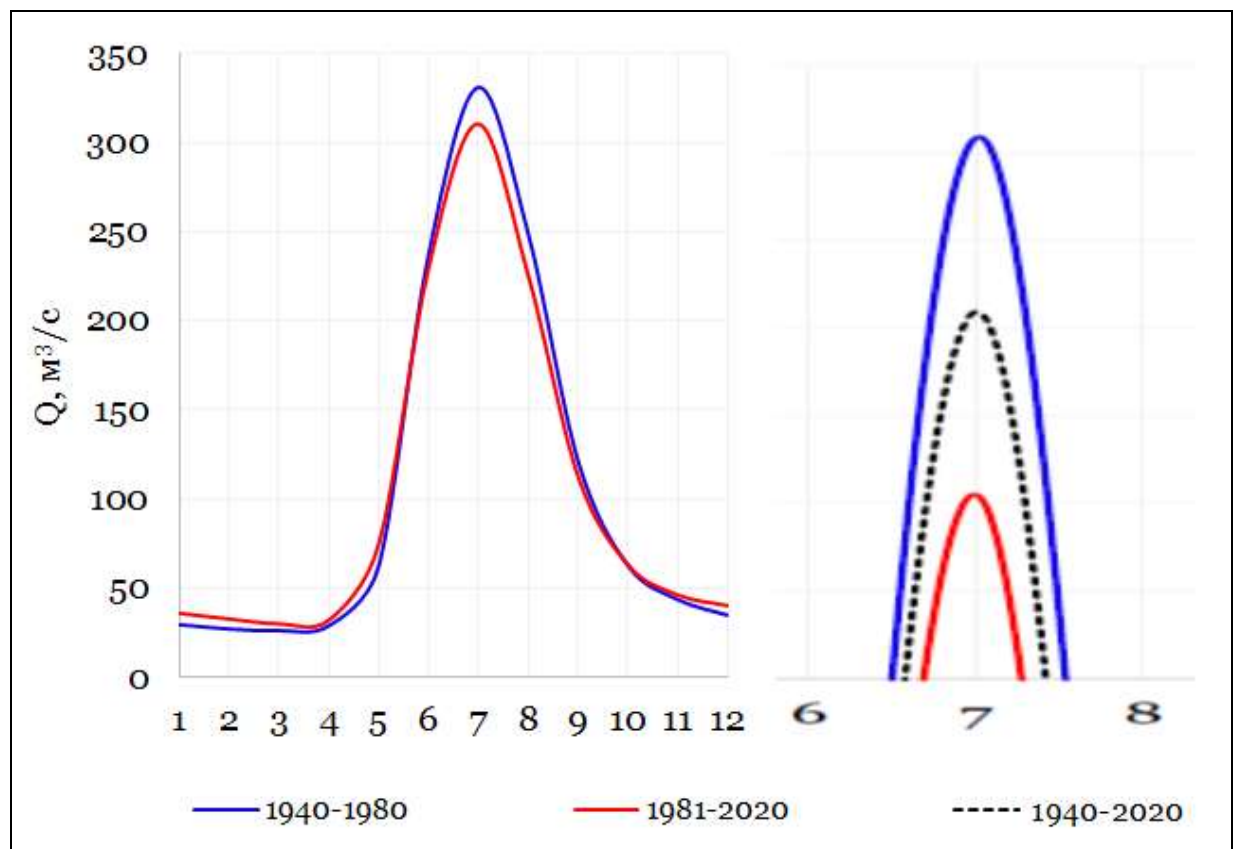
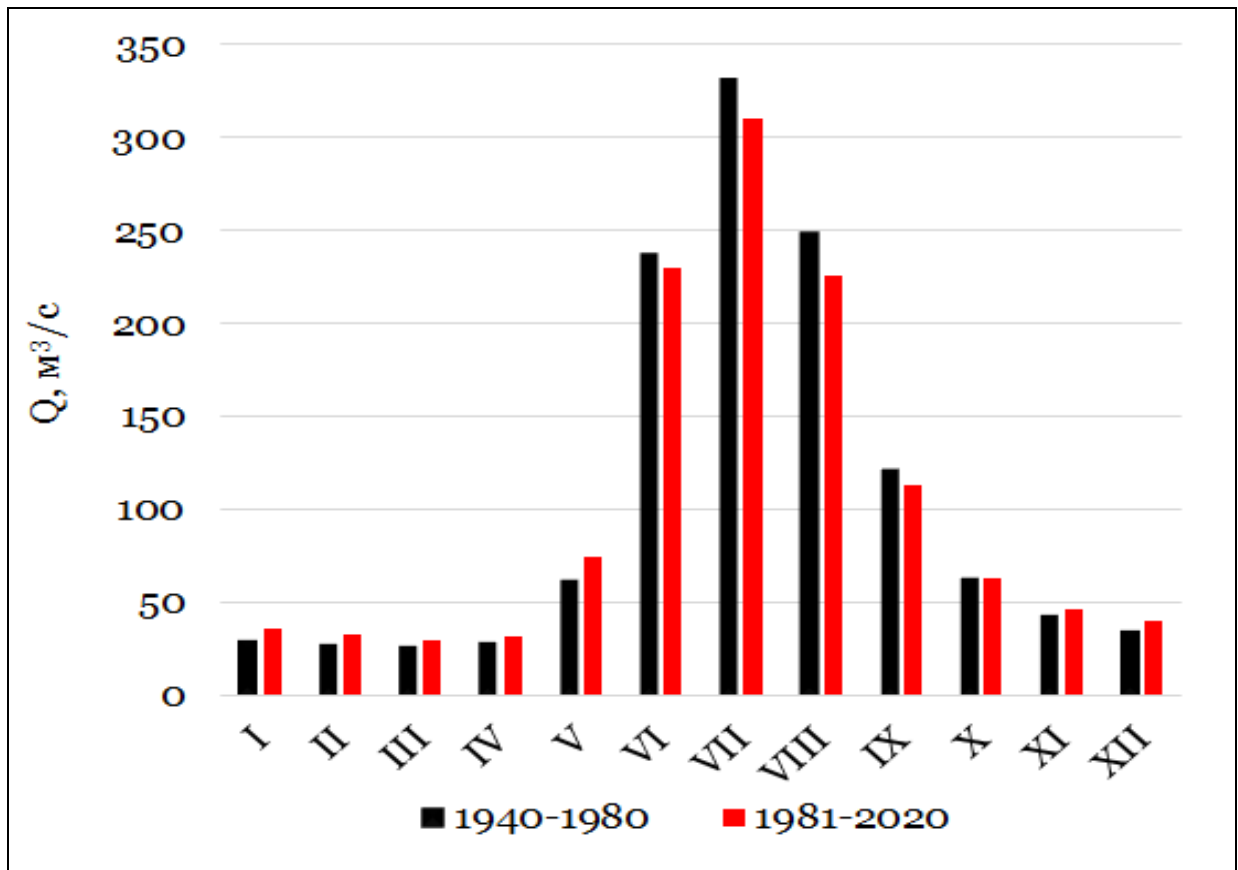


Рисунок 4.10. - Гидрографы реки Гунт за периоды 1940-1980 и 1981-2020 гг

Расчеты по определению объема стока реки в двух выбранных периодах наблюдений показывают, что объем стока в сезон таяния ледников (VI-VIII) периода 1981-2020 гг меньше чем их значения в соответствующий сезон 1940-1980 гг. Об уменьшение объема стока и вклада ледников за период 1981-2020 гг также свидетельствует уменьшение максимального значения паводка в июле месяце.

Согласно хронологии динамики ледников бассейна реки Гунт в 1961 году уменьшение площади ледников составляло 514,6 км² [160], то уже к 1980 г уменьшилась до 441,1 км² [161,162], к 1991г до 400,2 км² [164], к 2000г до 360,3 км² и с 1961 по 2000 гг сокращение площади ледников составило 30% [159].

При концентрации CO₂ около 368 млн⁻¹ в 2000 году по прогнозам МГЭИК выбросы парниковых газов в атмосферу в 2100 году составит 540-970 млн⁻¹ и прогнозируется возрастание количество снега благодаря обильных осадков в зимний сезон. Следовательно, можно ожидать, что при увеличении температуры водность рек резко возрастает. На равнинных бассейнах атмосферные осадки из-за процессов инфильтрации мало влияют на образование стока и возрастание температуры приводит к замерзанию тонкого слоя почвы и соответственно к увеличению коэффициента инфильтрации.

При постоянном значении атмосферных осадков и увеличении температуры к 2030 г. ожидается сокращение до 10% объем формируемой воды (по отношению базовой нормы) в водосборной площади Аму - Дарьи.

Если принять значение среднегодового объема стока рек Вахш (19.1км³) и Пяндж (31.9 км³) в 1990 году за нормой с учетом изменения температуры и атмосферных осадков ожидается сокращения объема стока рек Вахш и Пяндж к 2020 году на более 4% и 3.8% и к 2050 году на 8% и 7% соответственно.

Если сток реки Гунт к 2050 году относительно его значений с 1940 по 2020 гг может уменьшится на 3-4%, сток реки Ванч увеличивается до 7%.

“Аномалия”, то есть преобладание западных воздушных течений и ряд пока неопределенных метеорологических факторов происходят в бассейне реки Гунт [157,163,165].

По результатам работ [163,166] ледники вносят 30% воды к годовому стоку реки Гунт, а по результатам работы [167] вклад ледников составит $10\% \pm 4\%$. Значительное увеличение расхода воды реки Гунт после пятидесятих годов прошлого века отмечается в [161] хотя по рисунку 4.11 сток реки характеризуется убывающим трендом.

Более 50% слоев снега на высокогорьях Памира (более 4300 м н.у.м) остаются на период ноябрь - март) [163,165]. Ожидается, что из-за продолжительного снежного покрова и большого количества осадков, выпадающих в виде зимних осадков, таяние снега будет играть важную роль в водном балансе.

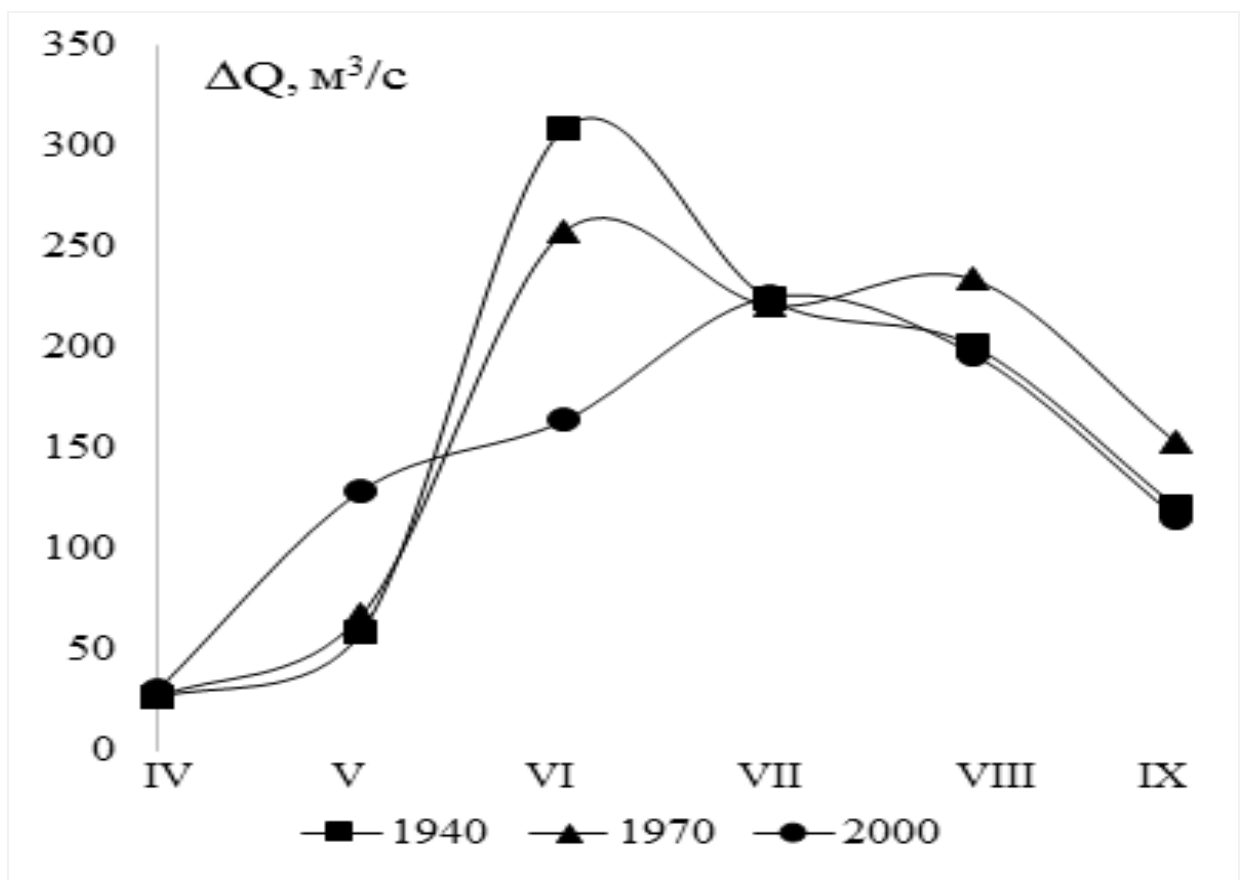


Рисунок 4.11. – Сезонное распределение расхода воды реки Гунт в 1940, 1970 и 2000 годы

Максимум стока реки Гунт, как следует из рисунка 4.11, проявляется в июне и августе.

Таким образом можно утверждать, что снежный покров и ледниковый сток вносят существенный вклад в образовании стока реки Гунт.

4.5. Влияние изменения климата на пространственное распределение сезонных осадков и гидрологию бассейна реки Гунт

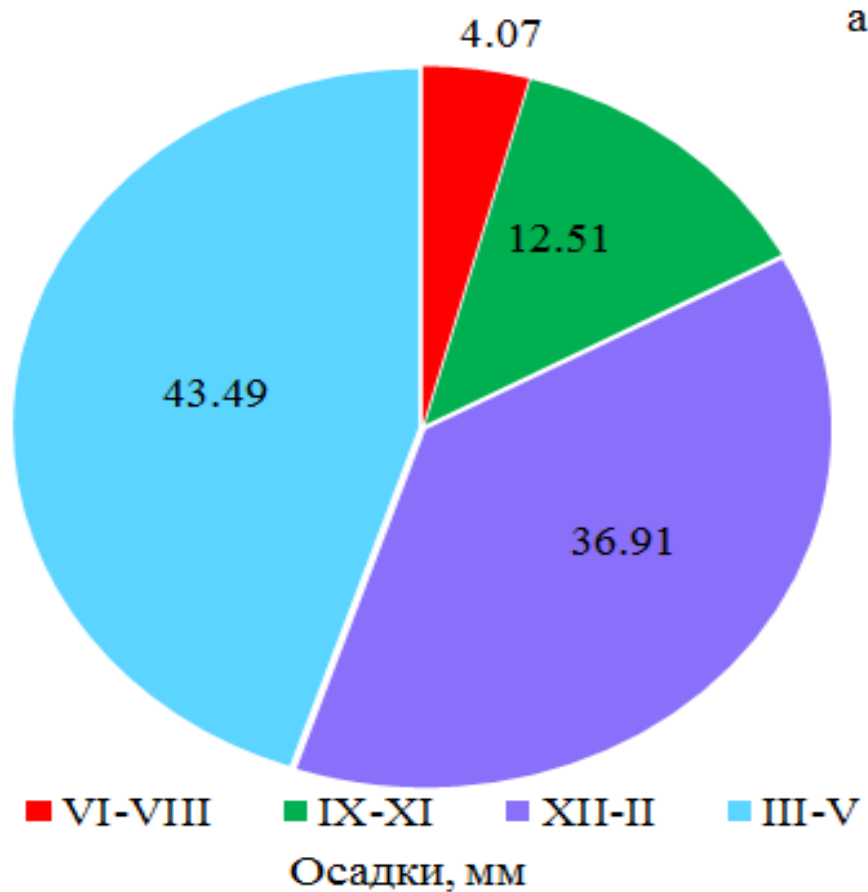
Сокращение оледенения и осадков на Памире напрямую связано с локальным изменением речного стока. Сток имеет отчетливую сезонность с устойчиво низким значением зимой, быстрым ростом весной, высоким максимумом с изменчивостью летом и резким спадом ранней осенью.

Проникновение и распределение воздушных масс на террасах высокогорий как фактор образования осадков и снежного покрова в основном зависят от орографии горного рельефа. Существенно, что разное среднемесячное количество осадков и разные сценарии развития метеорологических величин в западной и восточной частях бассейна реки Гунт и в климатических зонах Памира являются результатом влияния орографии на движение воздушных масс.

Использованы данные гидрометеостанции Хорог в бассейне реки Гунт. Тенденцию изменения изучаемых параметров с 1940 по 2020 гг. определяли с помощью программы Excel. С помощью статистических методов рассчитаны значения абсолютных и относительных частот метеорологических параметров и их гистограмм, кумулятивная повторяемость, градации, числовые равные и неравные значения, средние значения, медианы случайных величин, коэффициенты вариации.

Для анализа метеорологических данных с 1940 по 2020 гг. и оценки связи стока реки Гунт с метеорологическими данными использовались статистические методы, такие как корреляция Пирсона, Спирмена и Стьюдента. Для оценки значимости тренда изменения корреляционных зависимостей были выполнены соответствующие расчеты уравнений тренда.

Для оценки влияния метеорологических условий бассейна р. Гунт на формирование стока р. Гунт изучена их взаимная корреляция. С использованием данных, графически представленных на рисунке 4.12, рассмотрено влияние сезонных осадков на сток реки Гунт.



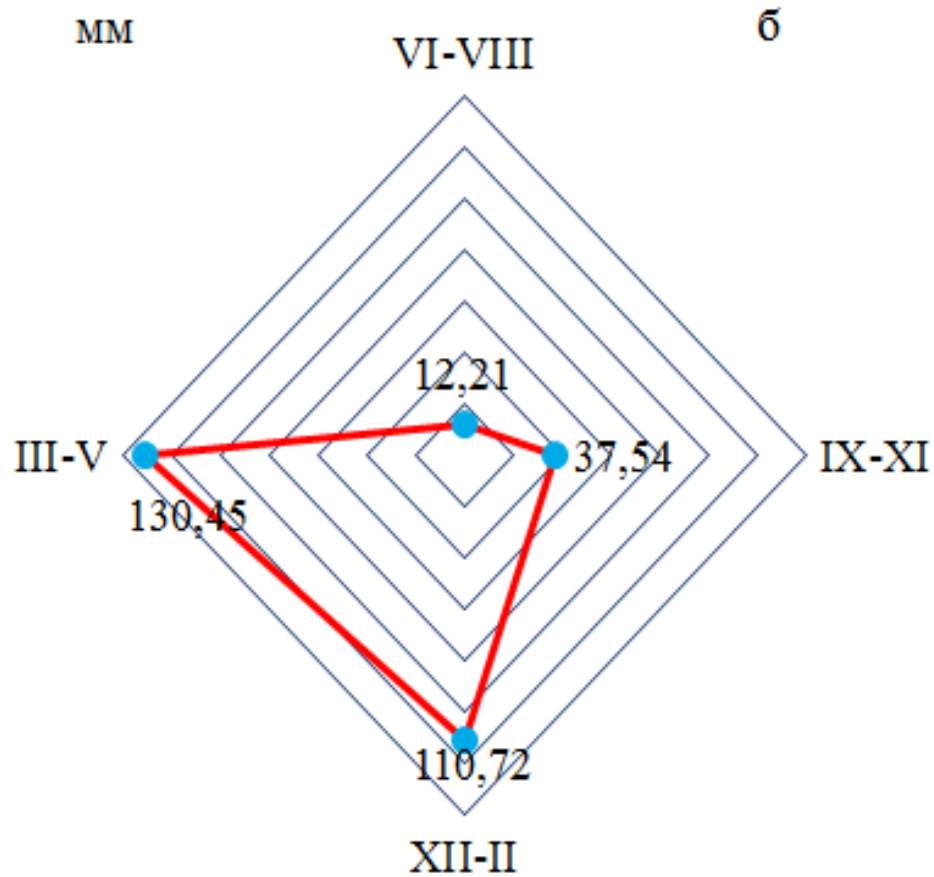


Рисунок 4.12. - сезонное распределение осадков в водосборной зоне р. Гунт

Из рисунка 4.12 (а, б) видно, что в бассейне реки Гунт преобладают осадки весной и зимой с соответствующими среднесезонными нормами более 130 и 110 мм. Максимальное значение расхода воды реки Гунт приходится на летний сезон (июнь-август) (рисунок 4.13).

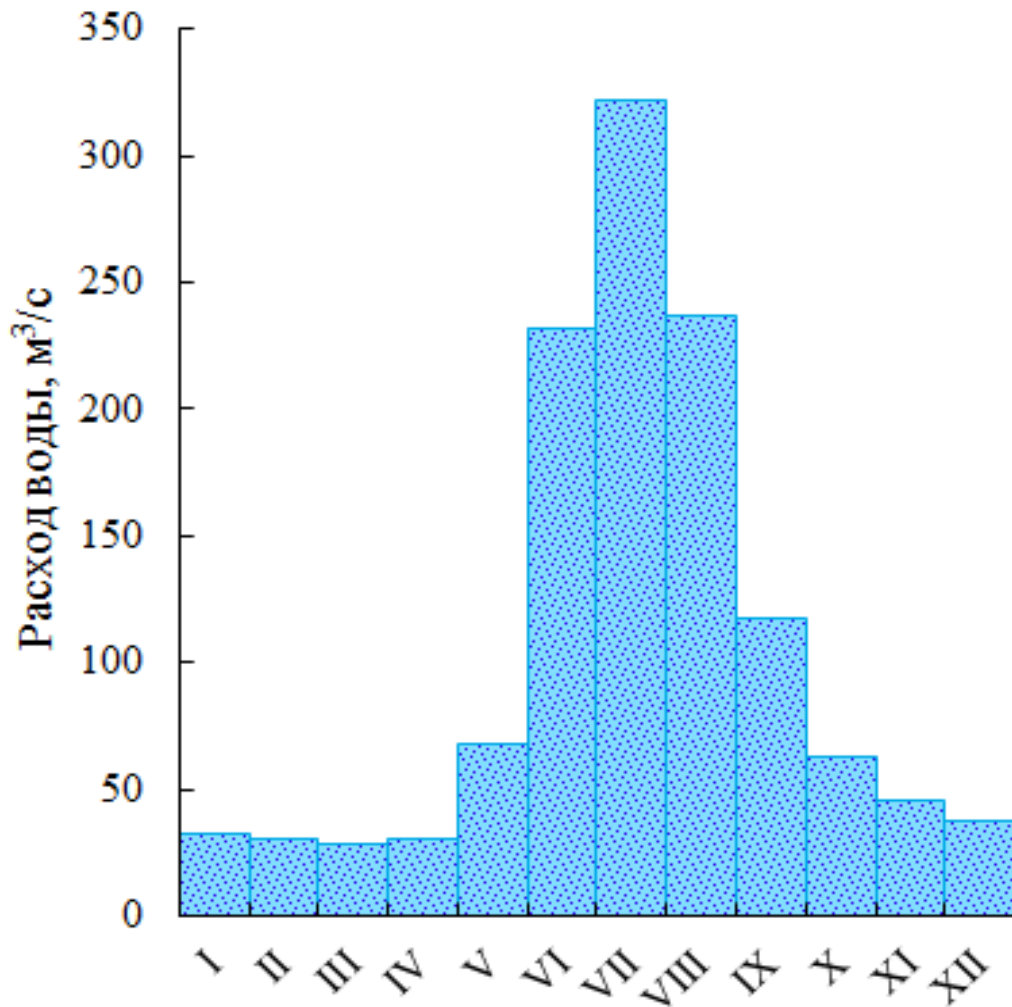


Рисунок 4.13. - Гидрограф реки Гунт

Максимальное значение атмосферных осадков весной связано с проникновением средиземноморской воздушной массы на территории Западного и Центрального Памира.

Результаты корреляций стока реки Гунт с сезонными значениями осадков показаны на рисунке 4.14.

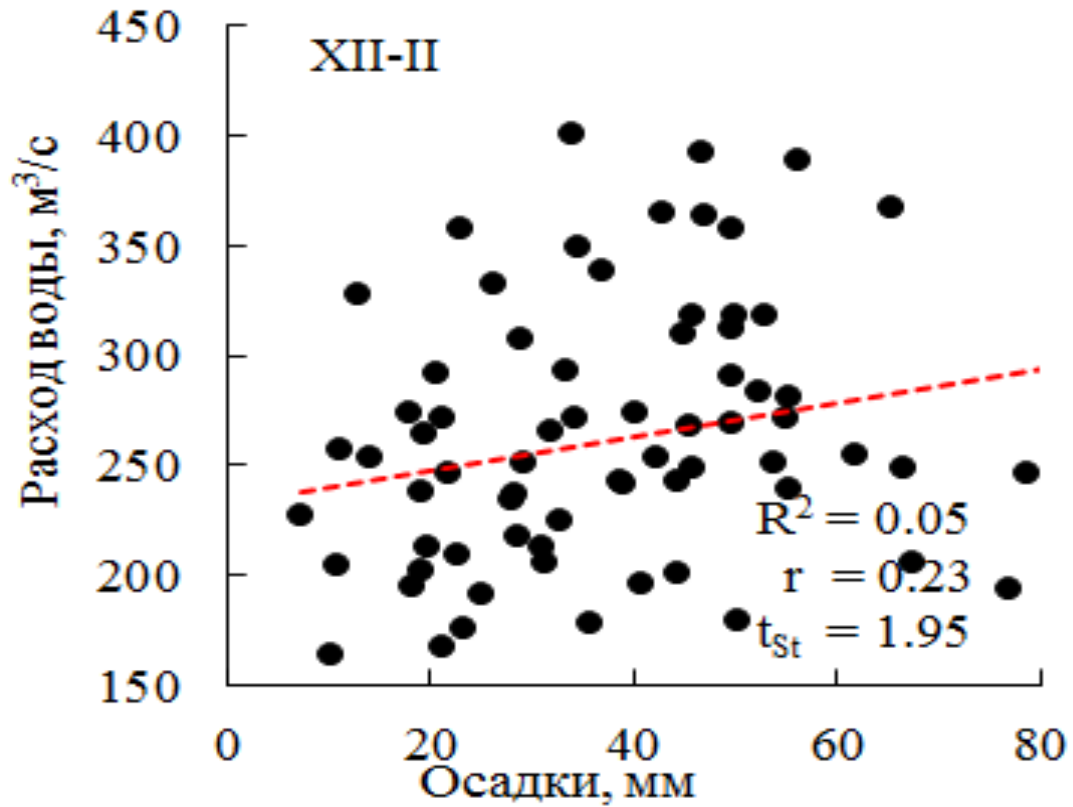
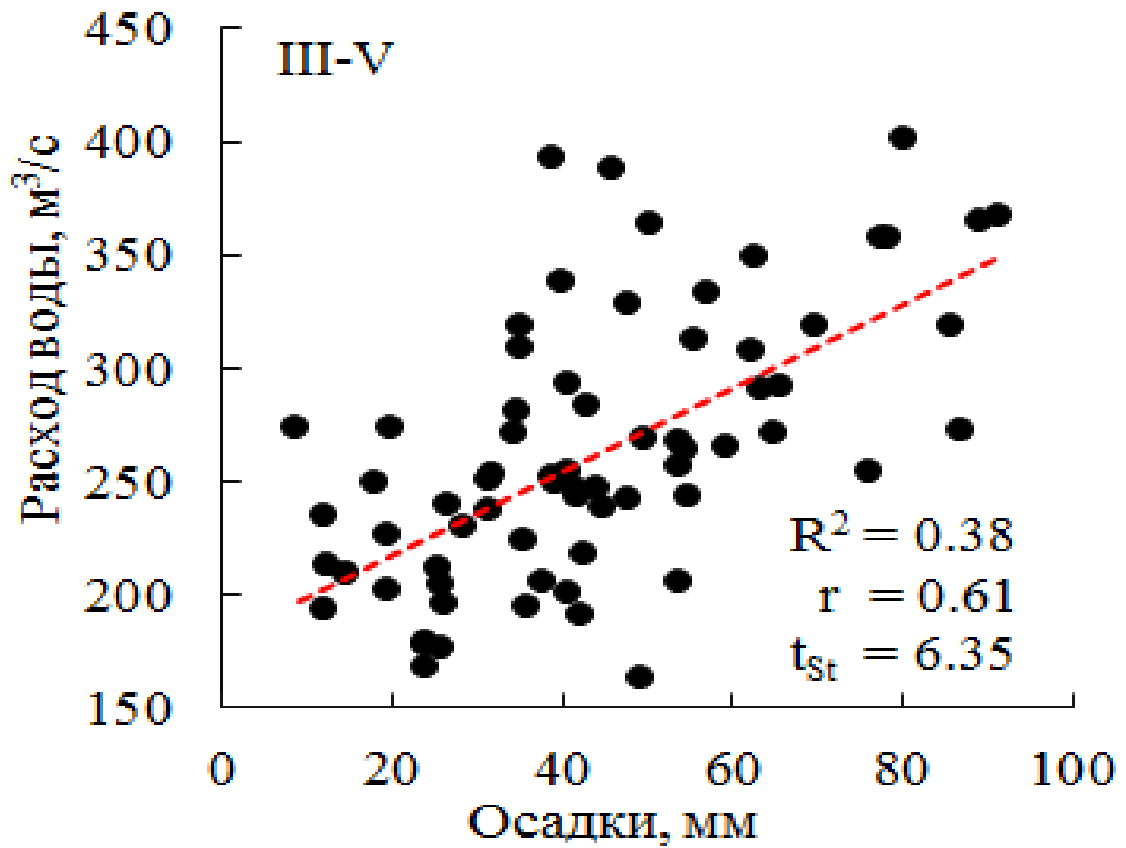
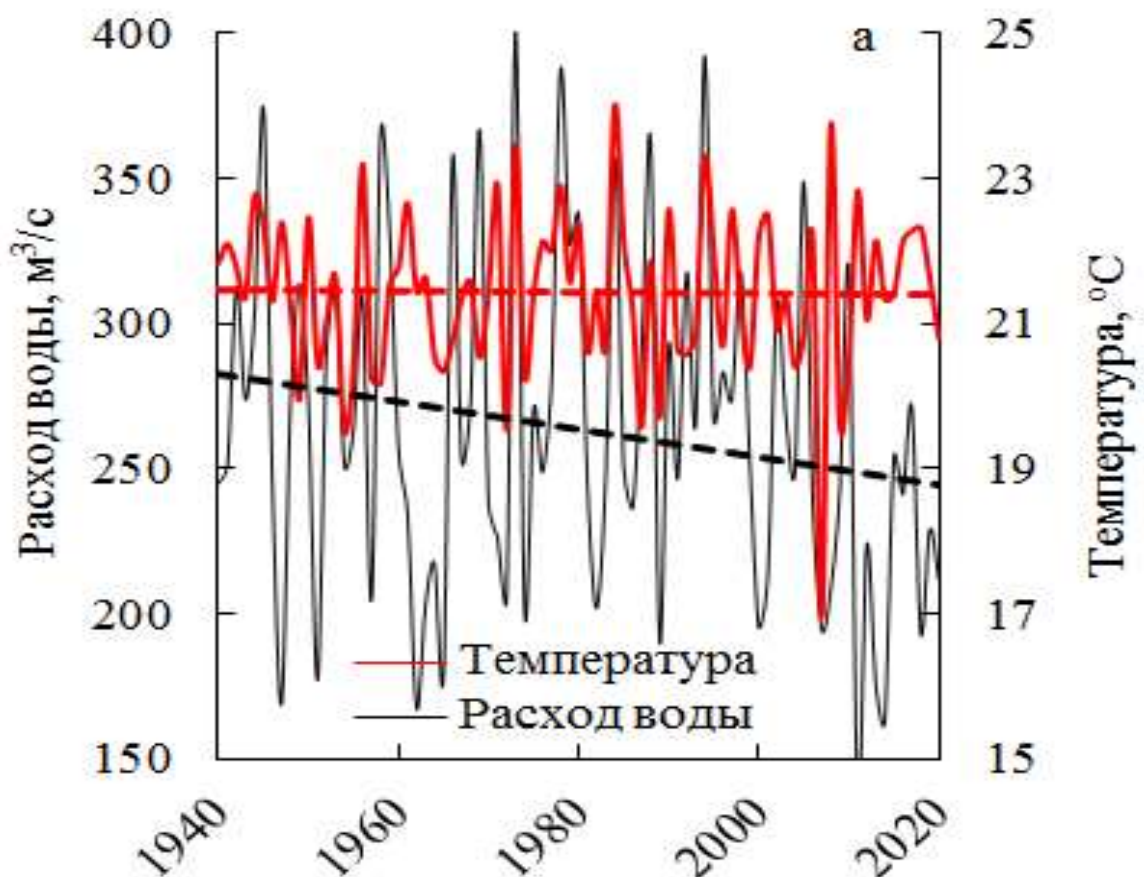


Рисунок 4.14.- Связь между летним стоком реки Гунт и сезонным количеством осадков

Как видно из рисунка 4.14, максимальный сток реки Гунт, наблюдаемый в летний период, более тесно коррелирует с весенними осадками, чем с зимними. Это означает, что в формировании стока реки Гунт преобладают весенние осадки. Весенние осадки предохраняют снежный покров зимнего периода от теплового воздействия и уплотняют его. Среднемесячная летняя (июнь-август) температура в бассейне реки Гунт, составляющая чуть более 20 °С, способствует таянию в основном снежного покрова в весенний и небольшой части в зимний период. Обобщение данных метеостанции бассейна реки Гунт показало, что отсутствию существенного изменения среднегодовой температуры с 1940 по 2020 гг (рисунок 4.15).



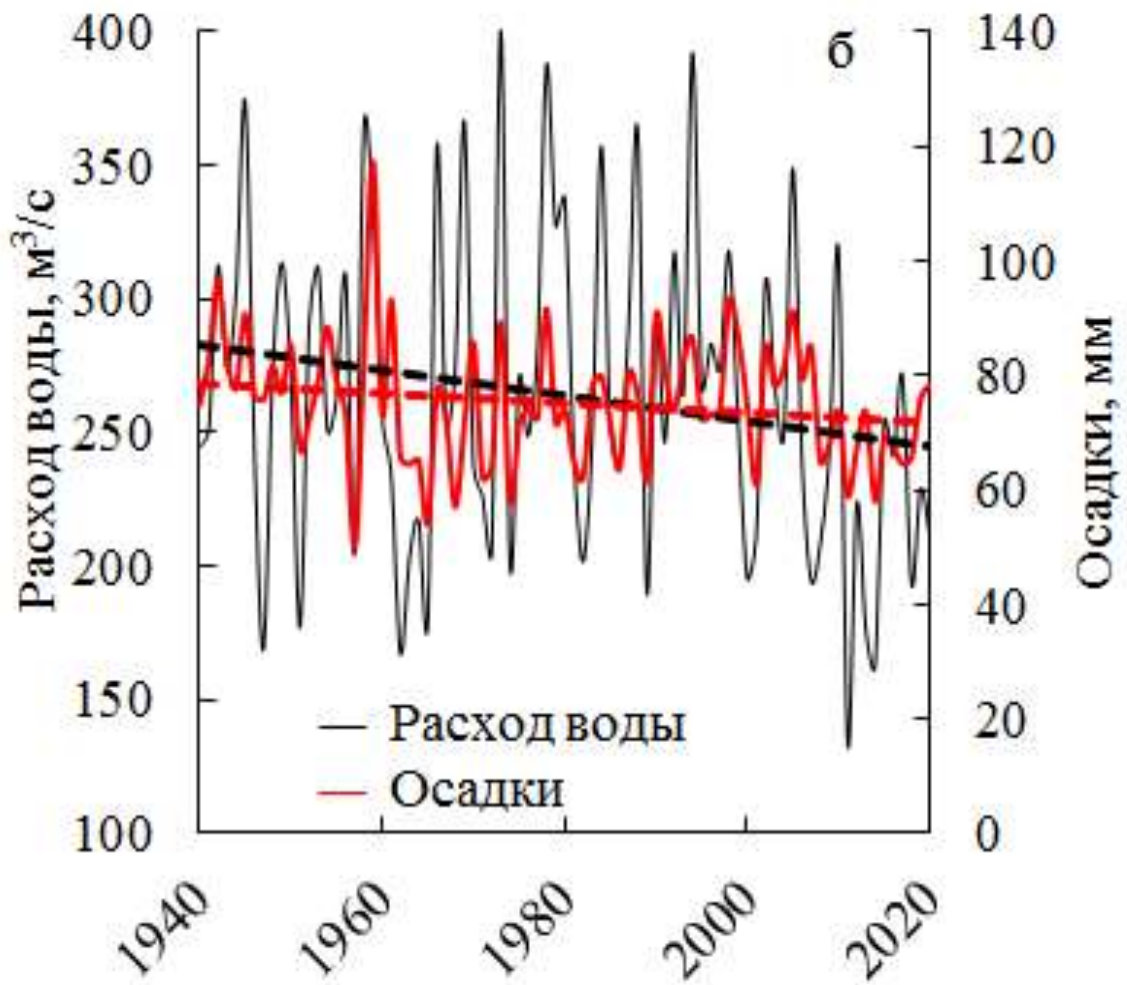


Рисунок 4.15. - Динамика стока реки Гунт, температуры (а) и осадков (б) речного бассейна за период 1940-2020 гг.

Динамика атмосферных осадков и речного стока за период 1940-2020 гг. характеризуется нисходящим трендом (рисунок 4.15, а, б). Следовательно, можно предположить, что с деградацией оледенения вклад снежного покрова в формирование стока реки Гунт становится преобладающим.

Результаты наблюдения за динамикой осадков в бассейне реки Гунт с 1940 по 2020 гг. показали, что их среднегодовая величина зимой (XII-II) начинает преобладать над весенними осадками (рисунок 4.16).

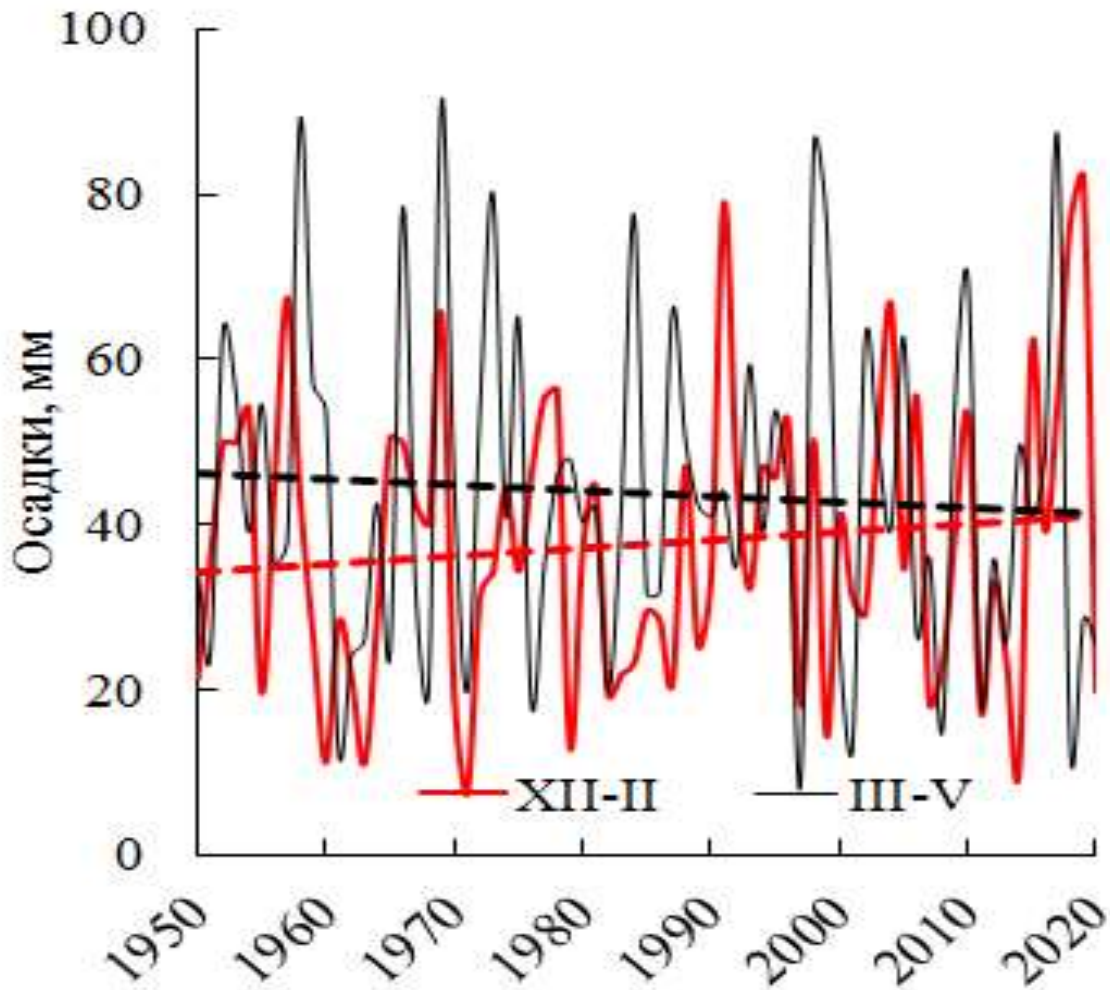


Рисунок 4.16. - Среднегодовое изменение среднегодового количества осадков зимой и весной в бассейне реки Гунт

Благоприятные условия для конденсации влаги западных воздушных масс с осадками в твердой фазе сместятся на более холодный период, т. е. на зимний сезон (XII-II). Наблюдаемый эффект может свидетельствовать о влиянии климатических изменений на формирование осадков и, соответственно, снежно-ледовых ресурсов бассейнов горных рек.

Годовое уменьшение вклада весенних осадков в формирование максимального стока реки Гунт в летний период за период 1940-2020 гг. составляет 1,0 млн.м³. При этом вклад зимних осадков характеризуется возрастающим трендом.

Объем среднегодового стока реки Гунт составляет около 3,3 км³, а по расчетам вклад весенних, зимних, осенних и летних осадков в формирование

среднегодового стока составляет (%): 18,3; 15,8; 5,4 и 1,8 общим объемом 1,35 км³, что составляет 41,2 % объема многолетнего стока реки Гунт. Поэтому можно предположить, что вклад талых ледниковых вод в формирование стока реки Гунт составляет чуть более 20 %.

Таким образом установлено, что в бассейне реки Гунт преобладают зимние и весенние осадки, а результаты корреляции прослеживают важную роль их вклада в формирование стока. Динамика температуры бассейна реки Гунт за период 1940-2020 гг. не претерпела существенных изменений. Динамика мониторинга атмосферных осадков в бассейне реки Гунт за период 1940-2020 гг. показала, что их среднегодовая величина зимой (XII-II) начинает преобладать над весенней. Следовательно, вклад весенних, зимних, осенних и летних осадков в формирование стока составляет в среднем (%): 18,3; 15,8; 5,4 и 1,8 соответственно, общим объемом 1,35 км³, что составляет 41,2 % объема многолетнего стока реки Гунт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом в результате проведения исследований выявлено, что влияние изменения климата на климат, водные ресурсы, глубины снежного покрова с 1940 по 2020 гг вносит существенные коррективы в естественные динамики снежно-ледовых и водных компонентов высокогорья Памира. С 1940 по 2020 гг по всем климатическим зонам Горно-Бадахшанской Автономной области являющихся зоной формирования реки Пяндж обнаружено увеличение температуры относительно базисного периода 1960-1990 гг. Температура и высота климатической зоны над уровнем моря являются основными факторами определяющие соотношения количества атмосферных осадков к высоте снежного покрова. Установлено, дефицит атмосферных осадков на Восточном Памире обусловлено сложностью переваливания влажных западных воздушных масс через горные вершины. Обнаружено смещение гидрографа реки Ванч на более ранние месяцы года, свидетельствующий о раннем таянии ледников бассейна реки благодаря их

разрыхлению под влиянием потепления климата. Было установлено, что изменение тренда температуры происходит с интенсивностью $0,007$ °C/год. Происходит уменьшение объема стока реки Гунт в сезон таяния ледников с 1981 по 2020 гг по сравнению с соответствующим сезоном с 1940 по 1980 гг и уменьшение максимального значения паводков в июле месяце, что свидетельствуют о существенном деградации ледников бассейна реки. Предположено, что таяние снежного покрова в июне и вклад ледниковой воды в августе являются основными компонентами формирования стока реки Гунт.

ВЫВОДЫ

1. Установлено увеличение температуры за период 1940-2020 гг по всем климатическим зонам Горно-Бадахшанской Автономной области являющихся зоной формирования реки Пяндж относительно базисного периода 1960-1990 гг [2-А; 3-А; 4-А];
2. Обнаружено существенное влияние высоты и температурного режима местности на образование высоты снега из общего количества атмосферных осадков [1-А; 2-А; 3-А; 4-А, 7-А];
3. Установлено, что дефицит атмосферных осадков на Восточном Памире обусловлено сложностью переваливания влажных западных воздушных масс через горные вершины. Выпадение достаточных объемов осадков зафиксированы в Центральной и Западной части Памира. На восточной части март месяц является месяцем, когда образуется достаточная глубина снега [2-А; 3-А];
4. Установлено проявления максимального количества атмосферных осадков в бассейне реки Ванч в март-апреле, а максимальный объем воды в реке Ванч в июле месяце. Обнаружено также не значимая и положительная корреляция расхода воды реки Ванч с атмосферными осадками и температурой соответственно. Это означает, что река Ванч характеризуется ледниковым питанием [3-А; 4-А];

5. Обнаружено смещение гидрографа реки Ванч на более ранние месяцы года, свидетельствующий о раннем таянии ледников бассейна реки благодаря их разрыхлению под влиянием потепления климата [4-А, 6-А];
6. Установлено уменьшение объема стока реки Гунт в сезон таяния ледников за период 1981-2020 гг по сравнению с соответствующим сезоном периода 1940-1980 гг и уменьшение максимального значения паводков в июле месяце, что свидетельствуют о существенном деградации ледников бассейна реки. Предполагается, что таяние снежного покрова в июне и вклад ледниковой воды в августе являются основными компонентами формирования стока реки Гунт [1-А; 2-А; 4-А];
7. Установлено уменьшение объема стока реки Гунт в сезон таяния ледников за период 1981-2020 гг по сравнению с соответствующим сезоном периода 1940-1980 гг и уменьшение максимального значения паводков в июле месяце, что свидетельствуют о существенном деградации ледников бассейна реки. Предполагается, что таяние снежного покрова в июне и вклад ледниковой воды в августе являются основными компонентами формирования стока реки Гунт [2-А; 3-А; 4-А,].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Евразийская экономическая комиссия. Предварительная оценка состояния трансграничных рек в бассейне Аральского моря и их основных трансграничных притоков. IV Совещание конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. Бонн, Германия.-2006г.- 20-22 ноября.- С.19.

[www.unece.org/ece.mp.wat.2006.16.add.4.r.pdf](http://www.unece.org/ece/mp.wat.2006.16.add.4.r.pdf).

[2]. Саидмурадов, Х.М. Таджикистан: Природа и природные ресурсы / Саидмурадов Х.М., Станюкович К.В // Душанбе: Дониш.- 1982.-С.604.

[3]. Умаров, Х.У. Пянджский трансграничный бассейн: ресурсы и проблемы социально-экономического развития / Умаров Х.У., Мухаббатов Х.М., Ақобиров Ш.З // <http://eurazvitiye.org/publication/20150711>.

[4]. Viviroli, D. Assessing the hydrological significance of the world's mountains / Viviroli, D., Weingartner, R., and Messerli, B // Mountain Research Development.- 2003.-№23. - P.32-40.

[5]. Langston, G. Internal structure and hydrological functions of an alpine proglacial moraine /Langston, G., Bentley, L.R., Hayashi, M., et al // Hydrol. Proc. 2011.-№25.-P.2967-2982.

[6]. Immerzeel, W.W. Large-scale monitoring of snow cover and runoff simulation in Himalayan river basins using remote sensing / Immerzeel, W.W., Droogers, P., De Jong, S.M., et al // RemoteSensing Environment.-2009.-№113–P.40-49.

[7]. Jeelani, G. Role of snow and glacier melt in controlling river hydrology in Liddar watershed (western Himalaya) under current and future climate / Jeelani, G., Feddema, J., Van der Veen, C.J., and Stearns, L // Water Resources Research.- 2012.-№1.-P.48-56.

[8]. Verbunt, M. The hydrological role of snow and glaciers in alpine river basins and their distributed modeling / Verbunt, M., Gurtz, J., Jasper, K., et al // Hydrology.-2003.-№282.–P.36-55.

[9]. Zhang, S.Q. A modified monthly degree-day model for evaluating glacier runoff changes in China Part II / Zhang, S.Q., Gao, X., Ye, B.S., et al // application, *Hydrological Processes*.- 2012.-№26.-P.1697-1706.

[10]. Klok, E.J. Distributed hydrological modelling of a heavily glaciated Alpine river basin / Klok, E.J., Jasper, K., Roelofsma, K. P., et al // *Hydrological Sciences*.- 2001. -№46-P. 553-570.

[11]. IPCC: Climate change. /Synthesis Report, Ed.: Pachauri, R.K., Reisinger A., // Geneva, Switzerland.-2007.-P. 234.

[12]. Adam, J.C. Implications of global climate change for snowmelt hydrology in the twenty-first century / Adam, J.C., Hamlet, A.F., and Lettenmaier, D.P // *Hydrological Processes*.-2009. -№23.-P. 962-972.

[13]. Hosaka, M. Changes in snow cover and snow water equivalent due to global warming simulated by a 20 km-mesh global atmospheric model / Hosaka, M., Nohara, D., and Kitoh, A // *SOLA.2005*.-№1.-P. 93-96.

[14]. Christensen, J.H. Regional climate projections *Climate Change 2007*. / Christensen, J.H // *The Physical Science Basis*, Ed.: Houghton, J.T., et al. Cambridge University Press.-2007.-P.847–940.

[15]. Deser, C. The seasonal atmospheric response to projected Arctic sea ice loss in the late twenty-first century /Deser, C., Thomas, R., Alexander, M., and Lawrence, D// *Climate*.-2010.-№23.-P.333-351.

[16]. Barry, R.G. The parameterization of surface albedo for sea ice and its snow cover / Barry, R.G // *Progress in Physical Geography*.-1996.-№20.-P.63-79.

[17]. Robinson, D.A. Hemispheric snow cover from satellites / Robinson, D.A. // *Annals of Glaciology*.1993.-№17. -P.367-371.

[18]. Frei, A. Decadal to century scale trends in North American snow extent in coupled atmosphere-ocean general circulation models / Frei, A., Gong, G.// *Geophysical Research Letters*.2005.-№32.-P. 235-239.

[19]. Lemke, P., et al. Observations: Changes in snow, ice and frozen ground / Lemke, P. // *Climate Change. The Physical Sciences Basis*, Ed.: S. Solomon, S., et al., Cambridge University Press.-2007.-P.337–383.

[20]. Prokop, A. A comparison of measurement methods: terrestrial laser scanning, tachymetry and snow probing for the determination of the spatial snow depth distribution on slopes / Prokop, A., Schirmer, M., Rub, M., et al.// Ann. Glaciological.-2008. -№49(1).- P. 210-216.

[21]. Lindström, G. Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – a water quality model for different spatial scales / Lindström, G, Pers, C., Rosberg, J., et al.// Hydrological Research.-2010. -№41(3-4).- P.295-319.

[22]. Kolberg, S.A. Updating of snow depletion curve with remote sensing data. / Kolberg, S.A., Gottschalk, L. // Hydrolysis Process.-2006.-№20(11).- P.2363-2380.

[23]. Udnæs, H.C. Improving runoff modelling using satellite-derived snow covered area // Udnæs, H.C., Alfnes, E., and Andreassen, L.M / Nordic Hydrology, 38(1), 2007.–P.21-32.

[24]. Arheimer, B. Development and test of a new Swedish water quality model for small-scale and large-scale applications / Arheimer, B., Lindström, G., Pers, C., et al // Proc. XXV Nordic Hydrology. Conf., Reykjavik.- 2008.- August 11-13.

[25]. Dahlke, H. E. Contrasting trends in floods for two sub-arctic catchments in northern Sweden – does glacier presence matter./ Dahlke H. E., S. W. Lyon S. W., Stedinger J. R., et al.// Hydrology and Earth System Sciences.-2012.-№16.-P.2123–2141. <https://doi.org/10.5194/hess-16-2123-2012>.

[26]. Hock, R. Glaciers melt a review of processes and their modelling Prog / Hock R.// Physical geography.-2005.-№29.- P. 362–91.

[27]. Farinotti, D. Runoff evolution in the Swiss Alps: projections for selected high-alpine catchments based on ENSEMBLES scenarios / Farinotti D., Usselman S., Huss M., Bauder A., Funk M // Hydrological Processes.-2012.- №V.26, Is-13.-P.1909-1924.

[28]. Schaner, N. The contribution of glacier melt to streamflow. Environ / Schaner N. , Voisin N., Nijssen B., Lettenmaier D.P // Res. Lett.-2012.-№7.- P.034029. Online at stacks.iop.org/ERL/7/034029

[29]. Immerzeel, W.W. Hydrological response to climate change in a glacierized catchment in the Himalayas / Immerzeel, W.W. ,Van Beek, L.P.H., Konz, M., et al.// Clim Change.-2012. -№110. –P. 721-736.

Available at: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10584-011-0143-4>

[30]. Stahl, K. Coupled modelling of glacier and streamflow response to future climate scenarios / Stahl, K., R. D. Moore, J. M. Shea, D. Hutchinson, and A. J.// Water Resour. Res.2008. -№44.- W02422, doi: 10.1029/2007WR005956.

[31]. Huss, M. Modelling runoff from highly glacierized alpine drainage basins in a changing climate / Huss M., Farinotti D., Bauder A., Funk M.// Hydrological Processes.-2008.-№22 (19). –P.3888 – 3902.

DOI: 10.1002/hyp.7055.

[32]. Young, G.J. Hydrology research in the Upper Indus basin, Karakoram Himalaya / Young G.J., Hewitt, K. // Pakistan. IAHS Publications.-1990. -№190.- P.139-152.

[33]. Жеткер, М.И. Гляциология горных областей: снежный покров, ледники, лавины / Жеткер, М.И., Царев, Б.К.//Trudi SARNIGMI. СССР: Среднеазиатский гидрометеорологический институт. Ташкент.-1991. -№140. –С.134.

[34]. Кренке, А.Н. Ледниковый сток в реки Средней Азии и возможности его регулирования / Кренке, А.Н. // Водные ресурсы.-1980. -№3. -С.5-19.

[35]. Glazirin, G.E. Hydrometeorological monitoring system in Uzbekistan. In: Assessment of snow, glacier and water resources in Central Asia, eds / Glazirin, G.E., Braun, L.N.; Hagg, W.; Severskiy, I. V.; Young, G.// ИП-НWRP.-2009. - №8.- P.65-83.

[36]. Котляков, В.М. (Ред.). Атлас снеголедниковые запасов мира / Котляков В.М.// Москва, Россия: Академия наук.-1997. - С.512.

[37]. Котляков, В.М. Возможные изменения абляции и ледникового стока в Высокой Азии в связи с глобальным потеплением / Котляков В.М., Лебедева И.М.// Данные гляциологических исследований.-1999. -№88. - С.3-15.

[38]. Winiger, M. Karakoram–Hindukush–Western Himalaya: assessing high-altitude water resources /Winiger, M., Gumpert, M.; Yamout, H.// Hydrological Processes.-2005. -№19.- P.2329-2338.

[39]. Fowler, H.J. Hydro-climatological variability in the Upper Indus Basin and implications for water resources / Fowler, H.J., Archer, D.R. // IAHS Publications.-2005. -№295.- P.131-138.

[40]. Forsythe, N. Assessing climate pressures on glacier-melt and snowmelt-derived runoff in the Hindu Kush-Karakoram sector of the Upper Indus Basin / Forsythe, N., Kilsby, C.G.; Fowler, H.J.; Archer, D.R.// International Symposium on Managing Consequences of a Changing Global Environment. Newcastle, UK: British Hydrological Society.-2010.- P.1-8.

[41]. Hewitt, K. The Karakoram anomaly? Glacier expansion and the ‘elevation effect,’ Karakoram Himalaya./ Hewitt, K.// Mountain Research and Development.-2005.-№25.- P.332-340.

[42]. Armstrong, R.L. The glaciers of the Hindu Kush-Himalayan Region. A summary of the science regarding glacier melt/retreat in the Himalayan, Hindu Kush, Karakoram, Pamir, and Tien Shan mountain ranges / Armstrong, R.L.// USAID/ICIMOD, Technical Paper. Kathmandu: ICIMOD.- 2010.- P.16.

[43]. Viviroli, D. Climate change and mountain water resources: Overview and recommendations for research, management and policy / Viviroli, D., Archer, D.R.; Buytaert, W. 2011. // Hydrology and Earth System Sciences.-15. - P.471-504.

[44]. Alford, D. Glacier retreat in the Nepal Himalaya. The role of glaciers in the hydrologic regime of the Nepal Himalaya / Alford, D., Armstrong, R.; Racoviteanu, A. // Technical Report for the World Bank, South Asia Sustainable

Development (SASDN) Environment and Water Resources Unit. Kathmandu: World Bank.-2009. – P.86.

[45]. Alford, D. The role of glaciers in stream flow from the Nepal Himalaya / Alford, D., Armstrong, R. // The Cryosphere Discussions.-2010.-№4.- P.469-494.

[46]. Andermann, C. Impact of transient groundwater storage on the discharge of Himalayan rivers / Andermann, C., Longuevergne, L.; Bonnet, S.; Crave, A.; Davy, P.; Gloaguen, R.// Nature Geosciences.-2012.-№5. – P.127-131.

[47]. Львович, М.И. Опыт классификации рек СССР / Львович, М.И.// Труды Государственного гидрологического института.-1938. -№6. – С.79.

[48]. Шульц, В.Л. Реки Средней Азии / Шульц В.Л.// Гидрометеиздат.-1965. - С.285.

[49]. Щеглова, О.П. Питание реки Средней Азии / Щеглова О.П.// Ташкент: Университетское издательство.-1960. – С.243.

[50]. Кеммерих, А.О. Роль ледников в стоке реки Средней Азии / Кеммерих, А.О.// Данные гляциологических исследований.-1972.-№20.– С.82-94.

[51]. Камалов, Б.А. Современное оледенение и сток в бассейне Сырдарьи Ташкент /Камалов, Б.А.// Среднеазиатский гидрометеорологический институт. Труды САРНИГМИ.-1974. -№ 12 (93).- С.79-81.

[52]. Кренке, А.Н. Массообмен в ледниковых системах на территории СССР/ Кренке, А.Н. //Ленинград: Гидрометеиздат.-1982. – С.188.

[53]. Коновалов, В.Г. Таяние и сток с ледников в бассейнах реки Средней Азии / Коновалов, В.Г.// Ленинград, СССР: Гидрометеиздат.-1985 – С.235.

[54]. Рацек, И.В. Колебания и эволюция ледникового стока в Нарынской котловине / Рацек, И.В.//Аннотация кандидатской диссертации. Москва: Российская академия наук.-1991.– С. 20.

[55]. Сокальская, А.М. Формирование ледникового стока Тянь-Шаня / Сокальская, А.М.// Аннотация кандидатской диссертации. Москва: Российская академия наук.-1994. – С.26.

- [56]. Дюргеров, М.Б. Ледниковая система Тянь-Шаня / Дюргеров, М.Б., Лу, С.; Се, З.-К. (ред.)// Институт географии РАН.- Москва 1995.– С.163.
- [57]. Лебедева, И.М. Изменения ледникового стока рек Гиндукуша в условиях глобального потепления /Лебедева И.М.// Данные гляциологических исследований.-1997.-№83.– С.65-72.
- [58]. Щетинников, А.Г. Ледники в бассейне реки Пскем / Щетинников А.Г.// Ленинград: Гидрометеиздат. – С.120.
- [59]. Щетинников, А.Г. Морфология и ледниковые системы Памиро-Алая. //Ташкент: САНИГМИ. -219с.
- [59]. Маматканов, Д.Л. Водные ресурсы Кыргызстана на современном этапе. / Маматканов Д.Л., Бажанова, Л.В.; Романовский, В.В. // Бишкек.- Илим 2006. – С.265.
- [60]. Kuzmichenok, V.A. Monitoring of water, snow and glacial resources of Kyrgyzstan. In: Assessment of snow, glacier and water resources in Central Asia, eds./ Kuzmichenok, V.A., Braun, L.N.; Hagg, W.; Severskiy, I.V.; Young, G.//. IHP-HWRP.-2009. -№8. - P.84-98.
- [61]. Sorg, A. Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia). / Sorg, A., Bolch, T.; Stoffel, M.; Solomina, O.; Beniston, M.// Nature Climate Change.-2012. -№2. –P.725-73.
- [62]. Аболин, Р. И. Основы естественно-исторического районирования Средней Азии / Аболин Р. И.// Труды Среднеазиатского университета. Сер. XII а. География Ташкент.- 1929.-№ Вып.2.– С.37.
- [63]. Балашова, Е.Н. Климатическое описание республик Средней Азии. /Балашова Е.Н., Житомирская О.М., Семенова О.А.// Ленинград: Гидрометиздат.-1960. – С.242.
- [64]. Курбоншо, Ё.К. Климатические особенности Памира / Курбоншо Ё.К., Краудцун Т.М., Мухаббатов Х.М. // Известия АН Республики Таджикистан.-2014. -№3.- С.121-133.

[65]. Молчанов, Л. А. Климатическое районирование Средней Азии / Молчанов Л. А., Циммерман Р.Р.// Бюллетень Комитета по районированию, Ташкент.-1926. -№3. – С.12.

[66]. Влияние изменения климата на водные ресурсы бассейна реки Пяндж Республики Таджикистан.//

<https://niiгим.tj/wpcontent/uploads/2020/12/1.jpg>

[67]. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/15/Tajikistan_map_of_Köppen_climate_classification.svg/779px-](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/15/Tajikistan_map_of_Köppen_climate_classification.svg/779px-Tajikistan_map_of_Köppen_climate_classification.svg/779px-)

[68]. Normatov, I. Sh. Distribution of snow cover by climatic zones of the transboundary Pyanj river basin. / Normatov I. Sh., V.V. Goncharuk V.V., P.I. Normatov P.I., Odinaev Q.N.// Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.-2020. -№ V.3, No.385.-P.77-85.

[69]. Finaev, A.F. Impact of climate and water resources changes on land degradation in Tajikistan/ Finaev A.F.//http://lcluc.umd.edu/sites/default/files/lcluc_documents/finaev_lcluc_sep2007_presentation_0.pdf.

[70]. IPCC. Climate change Synthesis Report. Eds: /C.W. Team C.W., R.K. Pachauri R.K., A. Reisinger A.// Geneva, Switzerland.- 2007.

[71]. Adam, J.C. Implications of global climate change for snowmelt hydrology in the twenty-first century / Adam J.C., Hamlet A.F., Lettenmaier D.P.// Hydrological Processes.-2009. -№ Vol. 23.–P.962-972.

[72]. Jost, G. Quantifying the contribution of glacier runoff to streamflow in the upper Columbia River Basin, Canada / Jost G. Moore R. D., Menounos B., Wheate R.// Hydrol. Earth Syst. Sci.-2012. -№ Vol. 16.– P.849–860.

[73]. Dahlke, H. E. Contrasting trends in floods for two sub-arctic catchments in northern Sweden – does glacier presence matter / Dahlke H. E., Lyon S. W., Stedinger J. R., Rosqvist G., Jansson P. // Hydrology and Earth System Sciences.-2012. -№ Vol. 16.– P.2123–2141.

[74]. Hock, R. Contribution from glaciers and snow cover to runoff from mountains in different climates / Hock R., Rees G., Williams M. W., Ramirez E. Preface:// Hydrolysis Process.-2006. -№ Vol.20.– P. 2089–2090.

[75]. Immerzeel, W. W. Hydrological response to climate change in a glacierized catchment in the Himalayas / Immerzeel W. W., Van Beck L. P. H., Konz M., Shrestha A. B., Bierkens M. F. P. // *Climate change*.-2012. -№ Vol. 110.-P.721–736.

[76]. Государственная программа изучения и сохранения ледников Республики Таджикистан на 2010-2030 годы.// Постановление Правительства Республики Таджикистан, 3.05.2010 г.-(№ 209.).

[77]. Hosaka, M. Changes in snow cover and snow water equivalent due to global warming simulated by a 20 km-mesh global atmospheric model / Hosaka M., Nohara D., Kitoh A. // *SOLA*.-2005. -№ Vol. 1.— P.93–96.

[78]. Christensen, J. H. Regional climate projections. *Climate Change 2007* / Christensen J. H., Coauthors H.// *The Physical Science Basis*. Ed.: J. T. Houghton et al. Cambridge University Press.-2007.–P.847–940.

[79]. Barry, R. G. The parameterization of surface albedo for sea ice and its snow cover / Barry R. G.// *Progress in Physical Geography*.-1996. -№ Vol. 20.– P.63–79.

[80]. Robinson, D. A. Hemispheric snow cover from satellites./ Robinson D. A. // *Ann. Glaciol*.-1993. -№ Vol. 17.- P.367–371.

[81]. Frei, A. Decadal to century scale trends in North American snow extent in coupled atmosphere-ocean general circulation models / Frei A., Gong G.// *Geophysical Research Letters*.-2005.-№Vol. 32.- L18502 ,.

[82]. Lemke, P. Observations: Changes in snow, ice and frozen ground. *Climate Change 2007* / Lemke P.// *The Physical Sciences Basis*. Eds: S. Solomon S., et al. Cambridge University Press.-2007. – P.337–383.

[83]. Петрушков, М. Ледники Таджикистана: грядет ли катастрофа / Петрушков М.// 23.09.2018 <http://www.dialog.tj/news/ledniki-tadzhikistana-gryadet-li-katastrofa>.

[84]. Normatov, P.I. Meteorology and Hydrology of the tributary's basins of the Transboundary Amudarya River in condition of Climate Change./ Normatov,

P.I., Normatov I. Sh., Eshankulova R.U., Muminov A.O.// *Modern Environmental Science and Engineering*.-2017. -№ Vol.3.N3.–P.563-571.

doi: 10.15341/mese (2333-2581)/12.03.2017/

[85]. Stahl, K. Coupled modelling of glacier and streamflow response to future climate scenarios / Stahl K., Moore R. D., Shea J. M., Hutchinson D., Cannon A. J.// *Water Resources Research*.-2008. -№Vol.44.- W02422.

[86]. Коновалов, В.Г. Таяние и сток с ледников в бассейнах рек Средней Азии / Коновалов В.Г.//Л.: Гидрометеиздат.-1985. – С. 236.

[87]. Коновалов, В.Г. Динамика оледенения Центральной Азии по материалам дистанционного зондирования /Коновалов В.Г.// *Совр. Проблемы дисстан. зондиров. Земли из космоса*.-2012. -№ Т.9. N1.– С.281-288.

[88]. Huss, M. Present and future contribution of glacier storage change to runoff from macroscale drainage basins in Europe / Huss, M.// *Water Resources Research*.-2011. -№Vol. 47.- W07511.

[89]. Engelhardt, M. Contribution of snow and glacier melt to discharge for highly glacierized catchments in Norway / Engelhardt M., Schuler T.V., Andreassen L.M. // *Hydrology and Earth System Sciences*.-2014. -№ Vol. 18. – P. 511-523.

[90]. Young, G.J. Hydrology research in the Upper Indus basin, Karakoram Himalaya, Pakistan./ Young G.J., Hewitt K.// *IAHS Publications*.-1990. -№ Vol. 190.– P.139-152.

[91]. Жеткер, М.И. Гляциология горных областей: снежный покров, ледники, лавины /Жеткер М.И., Царев Б.К. // *Труды САНИГМИ 140*. Ташкент: Гидрометеорологический институт Средней Азии.-1991. – С.134.

[92]. Кренке, А.Н. Массообмен в ледниковых системах на территории СССР / Кренке, А.Н.// Ленинград: Гидрометеиздат.-1982. – С. 188.

[93]. Глазырин Г.Е. Распределение и режим горных ледников / Глазырин Г.Е.// Ленинград, СССР: Гидрометеиздат.-1985. - С.116.

[94]. Атлас снежно-ледовых запасов мира. Под ред.: /Котлякова В.М.// Москва, РФ: Академия наук.-1997. - С.512.

[95]. Winiger, M. Karakoram–Hindukush–Western Himalaya: assessing high-altitude water resources /Winiger M., Gumpert M., Yamout H.// Hydrological Processes.-2005. -№ Vol. 19.– P.2329-2338.

[96]. Котляков, В.М. Возможные изменения абляции ледников и ледникового стока высочайших горных стран Азии в связи с глобальным потеплением климата /Котляков В.М., Лебедева И.М.// Данные гляциологических исследований.-1999.-№ Т. 88.– С.3-15.

[97]. Fowler, H.J. Hydro-climatological variability in the Upper Indus Basin and implications for water resources / Fowler H.J., Archer D.R. // IAHS Publications.-2005. -№Vol. 295.-P.131-138.

[98]. Fowler, H.J. Conflicting signals of climatic change in the Upper Indus Basin./ Fowler H.J., Archer D.R. // Journal of Climate.-2006.-№ Vol. 19. N17.– P.4276-4293.

[99]. Forsythe, N. Assessing climate pressures on glacier-melt and snowmelt-derived runoff in the Hindu Kush-Karakoram sector of the Upper Indus Basin / Forsythe N.,Kilsby C.G., Fowler H.J., Archer D.R.// International Symposium on Managing Consequences of a Changing Global Environment. Newcastle. UK: British Hydrological Society.-2010. – P.1-8.

[100]. Hewitt, K. The Karakoram anomaly? Glacier expansion and the ‘elevation effect,’ Karakorum Himalaya / Hewitt K.// Mountain Research and Development.-2005.-№ Vol. 25.–P.332-340.

[101]. Immerzeel, W.W. Glaciers as a proxy to quantify the spatial distribution of precipitation in the Hunza Basin / Immerzeel W.W., Pellicciotti F., Shrestha A.B. 2012. // Mountain Research and Development.-2012. -№ Vol. 32. N1.– P.30-38.

[102]. Armstrong, R.L. The glaciers of the Hindu Kush-Himalayan Region. A summary of the science regarding glacier melt/retreat in the Himalayan, Hindu

Kush, Karakoram, Pamir, and Tien Shan mountain ranges /Armstrong R.L.// USAIDICIMOD, Technical Paper. Kathmandu: ICIMOD.-2010. – P.16.

[103]. Alford, D. Glacier retreat in the Nepal Himalaya. The role of glaciers in the hydrologic regime of the Nepal Himalaya / Alford D., Armstrong R., Racoviteanu A.// Technical Report for the World Bank, South Asia Sustainable Development (SASDN) Environment and Water Resources Unit. Kathmandu: World Bank.-2009. – P.86.

[104]. Alford, D. The role of glaciers in stream flow from the Nepal Himalaya / Alford D., Armstrong R.// The Cryosphere Discussions.-2010.-№ Vol. 4. – P.469-494.

[105]. Оледенение Тянь Шаня. Под ред.: /Дюргерова М.Б., Лу С., Се З.С. М.// Институт географии Академии наук.-1995 – С.163.

[106]. Лебедева, И.М. Изменение в ледниковом стоке реки Гиндукуш при глобальном потеплении /Лебедева И.М.// Данные гляциологических исследований.-1997 -№. N83. – С.65-72.

[107]. Щетинников, А.Г. Морфология и оледенение Памиро-Алая / Щетинников А.Г.// Ташкент САНИГМИ.-1998. – С.219.

[108]. Норматов, П.И. Метеорологические особенности климатических зон бассейна трансграничной реки Пяндж / Норматов П.И., Маркаев Б.А., Норматов И.Ш.// Известия Иркутского государственного университета Сер. Наука о Земле. -2017. -№ Т.21. – С.106-113.

[109]. Гуломов, М.Н. Геоморфологические особенности и режим пульсирующих ледников долины реки Ванч / Гуломов М.Н.// Наука, Новые технологии и инновации.-2016. -№ N12.– С.75-79.

[110]. Kotlyakov, V. M. Investigations of the hydrological conditions of alpine regions by glaciological methods / Kotlyakov V. M., Krenke A. N. // IAHS Publ.-2012. -№ N 138.–P.31-42.

[111]. Bhattarai, B.Ch. Impact of Climate Change on Water Resources in View of Contribution of Runoff Components in Stream Flow.A Case Study from

Langtang Basin./ Bhattarai B.Ch., B.Ch. Bhattarai, R. D. Dhananjay. // Nepal. Journal of Hydrology and Meteorology.-2011.- V. 9. - №.1.- P.75-84.

[112]. Dietz, A. Identifying Changing Snow Cover Characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from Remote Sensing Data / Dietz, A., A. Dietz, C. Conrad, C. Kuenzer, G. Gesell, S. Dech // Remote Sens.-2014.-№- V. 6.- P.75–77.

[113]. Kolberg, S. A. Updating of snow depletion curve with Remote sensing data./ Kolberg S. A., S.A. Kolberg, L. Gottschalk.// Hydrological Processes.-2006. - V. 20. -№ 11.–P.2363–2380.

[114]. Pu, Z. MODIS.Terra observed seasonal variations of snow cover over the Tibetan Plateau / Pu, Z., Z. Pu, L. Xu, V.V. Salomonson.// Geophys. Res. Lett.-2007.-№- V.34P.-106-112.

[115]. Massakbayeva, A. Temperature and precipitation trend in the Aral Sea and Aral Sea region during 1960-2016. Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan / Massakbayeva, A., Abuduwaili, J., et al.//.-2019. -№ Vol. 3. Number 379.– P.6-15. ISSN 1991-3494

[116]. Lindström, G. Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – a water quality model for different spatial scales / Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J. // Hydrol. Res. -2010.- V.41. №3, 4.-P.295–319.

[117]. Normatov, P.I. Meteorological Features of Climatic Zones in the Basin of the Transboundary River Pyanj./P.I. Normatov, B.A. Markaev, I. Sh. Normatov, A.O. Muminov.// J. Bull. Irkutsk St. Univ. -2017. -№ V.21.– P.106-113.

[118]. Deser, C. The seasonal atmospheric response to projected Arctic sea ice loss in the late twenty-first century /Deser, C., Thomas, R., Alexander, M., et al. // Climate.-2010. -№ Vol. 23. - P.333–351.

[119]. Robinson, D.A. Hemispheric snow cover from satellites. Annals of Glaciology / Robinson, D.A. //.-1993. -№ Vol.17. – P.367–371.

[120]. Matthew, S.M. Estimating Snow Water Equivalent Using Snow Depth Data and Climate / Matthew, S.M., Taras, B., Liston, G., et al.//Classes J. Hydromet.-2010. -№ Vol. 11. –P.1380-1394.

[121]. Prokop, A. A comparison of measurement methods: terrestrial laser scanning, tachymetry and snow probing for the determination of the spatial snow depth distribution on slopes / Prokop, A., Schirmer, M., Rub, M., et al.// Anal. Glaciol.-2008. -№ Vol. 49(1). –P.210-216.

[122]. Lindström, G. Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – a water quality model for different spatial scales / Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J., et al.// Hydrological Research, Volume.-2010. -№41(3-4).–P.295–319.

[123]. Kolberg, S.A. Updating of snow depletion curve with remote sensing data Hydrological / Kolberg, S.A., Gottschalk, L.// Processes.-2006. -№ Vol. 20(11).– P.2363–2380.

[124]. Udnæs, H.C. Improving runoff modelling using satellite-derived snow covered area / Udnæs, H.C., Alfnes, E., Andreassen, L.M.// Nordic Hydrology.-2007. -№ Vol 38(1).- P.21–32.

[125]. Alford, D. The role of glaciers in stream flow from the Nepal Himalaya / Alford, D., Armstrong, R. // The Cryosphere. Discus.-2010. -№ Vol. 4.–P.469-494.

[126]. Andermann, C. Impact of transient groundwater storage on the discharge of Himalayan Rivers / Andermann, C., Longuevergne, L., Bonnet, S., et al.// Nature Geoscience.-2012. -№ Volume. 5.– P.127-131.

[127]. Normatov, P. I. Meteorological features of climate zones in the basin of the Transboundary Pyanj river / Normatov, P. I., Markaev, B. A., Normatov, I. Sh.// Bul. Irkutsk State University. Ser. Earth Sciences.-2017. -№ Vol. 21.– P.106-113.

[128]. Normatov, P.I. Meteorology and Hydrology of the tributaries basins of the Transboundary Amudarya River in condition of Climate Change /

Normatov, P.I., Normatov, I. Sh., Eshankulova, R.U., et al.// *Modern Environmental Science and Engineering*.-2017. -№- Vol.3. No3.- P.563-571.

[129]. Kuchment, L.S. Statistical self-similarity of spatial variations of snow cover: verification of the hypothesis and application in the runoff generation models. *Hydrol* / Kuchment, L.S., Gelfan, A.N. // *Processes*.-2001. -№ Vol. 15. No. 18.– P.3343–3355.

[130]. Udnaes, H.C. Improving runoff modelling using satellite-derived snow covered area / Udnaes, H.C., Alfnes, E., Andreassen, L.M.// *Nordic Hydrology*.-2007. -№ Vol. 38. No. 1.- P.21-32.

[131]. Wagner, S. Glacier volume changes in the Pyanj and Vakhsh basins / Wagner, S., Hoelzle, M. Study 4.//Application of simple parameterizations to estimate past and future glacier changes in the Pyanj and Vakhsh river subbasins. *FAO*. -2010. -P.112-134.

[132]. Prokop, A. A comparison of measurement methods: terrestrial laser scanning, tachymetry and snow probing for the determination of the spatial snow depth distribution on slopes. *Ann. Glaciology* / Prokop, A., Schirmer M., Rub M., et al.//. -2008. -№- Vol. 49. No1.-P.210–216.

[133]. Immerzeel, W. W. Rising river flows throughout the twenty-first century in two Himalayan glacierized watersheds / Immerzeel, W. W., Pellicciotti, F. Bierkens, M.F.P.// *Nature Geoscience*.-2013. -№ V. 6. -P.742–745.

[134]. Komatsu, T. Glacier-Related Hazards and Their Assessment in the Tajik Pamir: A Short Review / Komatsu T., Watanabe T.// *Geograph. Studies*.-2013. -№ Vol. 88, no. 2.- P.117-131.

[135]. Pohl, E. Remote Sensing-Based Assessment of the Variability of Winter and Summer Precipitation in the Pamirs and Their Effects on Hydrology and Hazards Using Harmonic Time Series Analysis / Pohl E., Gloaguen R., Seiler R.// *Remote Sensing*.-2015. -№ V.7.- P.9727-9752.

[136]. Pohl, E. Glacier melt buffers river runoff in the Pamir Mountains / Pohl E., Gloaguen R., Andermann Ch., Knoche M.// *American Geophysical Union*

Publication: Water Resources Research.-2017. -№ 10.1002/2016WR019431.- P.2467-2489.

[137]. Normatov, I. Sh. Comparative estimation of river runoff formation in the climatic zones of Gorn Pamir / Normatov I. Sh., Armstrong, R., Normatov, P.I.// J. Sustainable Development in Mountain Areas.-2020. -№ V.12. N3 (45). - P.366-372.

[138]. Normatov, P.I. Assessment of the influence of climate change on snow-ice resources and hydrology of Mountain Pamir rivers / Normatov P.I. , Armstrong, R., Normatov, I. Sh.// J. Sustainable Development in Mountain Areas.- 2019. -№ V. 11. N 3 (41). -P.295-304.

[139]. Normatov, I. Climate change impact on hydrological characteristics and water availability of the Mountain Pamir Rivers /Normatov P.I.// Proc. IAHS.- 2020.-№ 97.-P.1–11.

[140]. Mergili, M. Changes of the cryosphere and related geohazards in the high-mountain areas of Tajikistan and Austria / Mergili, M., Kopf, C., Müllebner, B., et al.// A comparison. Geogr. Ann. -2012. -№ V. 2(1). -P.56–62.

[141]. Space Weather Live. История солнечных циклов // Электронный ресурс. Дата обращения URL: 20.01.2021. https://www.spaceweatherlive.com/ru/solnechnaya-aktivnost/solnechnyy_cikl/istoriya-solnechnyh-ciklov.html.

[142]. Kotlyakov, V.M. Cascades of subglacial lakes in Antarctica / Kotlyakov, V.M., Vasiliev, L.N., Kachalin, A.B. et al.// Dokl. Earth Sc.-2012. -№ 443.-P.509–512. <https://doi.org/10.1134/S10283334X12040149>

[143]. Petrov, G.N. Conflict of interests between water users in the Central Asian Region and possible ways to its elimination /Petrov G.N., Normatov I. Sh.// Water resources.-2010. -№ Vol.37 (1). – P.113-120.

[144]. Pohl, E. Remote sensing-based assessment of the variability of winter and summer precipitation in the Pamirs and their effects on hydrology and hazards using harmonic time series analysis / Pohl E., Gloaguen R., Seiler R.// Remote Sens.-2015. -№ Vol.7 (8).- P.9727–9752. Doi: 10.3390/rs70809727.

[145]. Kapnick, S. B. Snowfall less sensitive to warming in Karakoram than in Himalayas due to a unique seasonal cycle./ Kapnick S. B., Delworth T.L., Ashfaq M., et al.// *Nature Geoscience*.- 2014. -№ Vol. 7(11). – P.834–840. Doi: 10.1038/ngeo 2269.

[146]. База знаний по использованию земельных и водных ресурсов бассейна Аральского моря: Реки, Речные системы // www.cawater-info.net

[147]. Chevallier, P. River flow regime and snow cover of the Pamir Alay (Central Asia) in a changing climate / Chevallier P., Pouyaud B., Mojaïsky M. et al.// *Hydrological Sciences*.-2014. -№ vol.59.-P.1491–1506.

[148]. Dietz, A. Identifying Changing Snow Cover Characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from Remote Sensing Data / Dietz A. , Conrad C., Kuenzer C., et al.// *Remote Sens*.-2014. -№ vol. 6.- P.12752–12775.

[149]. Pohl, E. Sensitivity analysis and implications for surface processes from a hydrological modelling approach in the Gunt catchment, high Pamir Mountains / Pohl E., Knoche M., Gloaguen M. R., et al. // *Earth Surface Dynamics*.-2015. -№ V. 3.- P. 333–362.

[150]. Fuchs, M. C. Tectonic and climatic forcing on the Pyanj river system during the Quaternary / Fuchs M. C., Gloaguen R., Pohl E. // *International Journal of Earth Sciences*.-2013. -№Vol 102. – P.1985–2003.

[151]. Aizen, V. B. Stable-isotope and trace element time series from Fedchenko glacier (Pamirs) snow/firn cores / Aizen V. B., Mayewski P. A., Aizen E. M., et al. // *Journal of Glaciology*.-2009. -№ Vol 55.– P.275–291.

[152]. Syed, F. S. Effect of remote forcings on the winter precipitation of central southwest Asia part 1: observations /Syed F. S., Giorgi F., Pal J. S., King M. P.// *Theor. Appl. Climatol*.-2006. -№ Vol 86.– P.147–160.

[153]. Palazzi, E. Precipitation in the Hindu-Kush Karakoram Himalaya: observations and future scenarios / Palazzi E., Hardenberg J. V., Provenzale A.// *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*.-2013. -№ Vole 118.– P.85–100.

[154]. Meier, K. Discharge pattern in the Gunt valley, western Pamir, with respect to $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ and hydrochemistry / Meier K. , Knoche M., Brehme M., et

al.// In Book: Chapter 43. Geostatistical and Geospatial approaches for characterization of Natural resources in the Environment. Ed.: N. Janardhana Raju. New York Dordrecht London: Springer.-2016. – P.281-284.

[155]. Meier, K. Stable isotopes in river waters in the Tajik Pamirs: regional and temporal characteristics / Meier K., Knoche M., Brehme M., et al.// *Isotope Envir. Health Study*.-2013. -№ Vole 49.- P.542-554.

[156]. Каталог ледников СССР //Т.14. Вып.3. часть 1-12. Л.: Гидрометеоиздат (1971-1978).

[157]. Щетинников, А.С. Морфология оледенения речных бассейнов Памиро-Алая по состоянию на 1980 год (Справочник) / Щетинников А.С.// Ташкент: САНИГМИ.-1997. – С.148.

[158]. Щетинников, А.С. Морфология и режим ледников Памиро-Алая / Щетинников А.С.// Ташкент: САНИГМИ.1998.- С.219.

[159]. Коновалов, В.Г. Многолетние колебания оледенения и стока рек Центральной Азии в современных климатических условиях / Коновалов В.Г., Вильямс М.// *Мет и климатол*.-2005.-№9.– С.69-83.

[160]. Immerzeel, W.W. Rising river flows throughout the twenty-first century in two Himalayan glacierized watersheds / Immerzeel W.W., Pellicciotti F., Bierkens M.F.P.// *Nature Geoscience*.-2013.-№vol. 6.-P.742–745.

[161]. Kaab, A. Brief communication: Contending estimates of 2003–2008 glacier mass balance over the Pamir–Karakoram–Himalaya / Kaab A., Treichler D., and Nuth C., Berthier E.// *Cryosphere*.-2015.-№ vol.9.- P.557–564.

[162]. Tarasova, L. Effects of input discretization, model complexity and calibration strategy on model performance in a data-scarce glacierized catchment in Central Asia / Tarasova L., Knoche M., Dietrich J., Merz R.// *Water Resources Research*.-2016. -№ vol. 52.- P.4674–4699.

[163]. Kapnick, S.B. Snowfall less sensitive to warming in Karakoram than in Himalayas due to a unique seasonal cycle / Kapnick S.B., Delworth T.L., Ashfaq M., et al.// *Nature Geoscience*.-2014. -№ Vol.7.-P.1–7.

[164]. Sharif, M. Trends in timing and magnitude of flow in the Upper Indus Basin. Hydrol / Sharif M., Archer D.R., Fowler H.J., Forsythe N.// Journal of Earth System Science.-2013. -№ Vol. 17.-P.1503–1516.

[165]. Pu, Z. Terra observed seasonal variations of snow cover over the Tibetan Plateau / Pu Z., Xu L., Salomonson V. V. MODIS// Geophysical Research Letters.-2007. -№ Vol.34.- P.L06706 –L06714.

[166]. Pohl, E. Sensitivity analysis and implications for surface processes from a hydrological modelling approach in the Gunt catchment, high Pamir Mountains / Pohl E , Knoche M., Gloaguen R., et al.// Earth Surface Dynamics.- 2015. -№ Vol.3.-P.333–362.

Список публикаций соискателя по теме диссертации:

[1-А]. **Одинаев, К.Н.** Современное состояние топливно-энергетического сектора и перспектива развития зеленой энергетики в Центральной Азии [Текст] / И.Ш. Норматов, Р. Армстронг, П.И. Норматов, **К.Н. Одинаев** // Устойчивое развитие горных территорий. - 2020.-Т.12. №1 (43).- С.145-153.

[2-А]. **Odinaev, Q.N.** Hydrology of the Vanch river the tributary of the Transboundary Pyanj river under climate change [Текст] / I. Sh. Normatov, V.V. Goncharuk, P.I. Normatov, **Q.N. Odinaev**// Bull. NAS Republic of Kazakhstan.- 2020.- V. 3, No 385.- P. 86–93. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.73>.

[3-А]. **Odinaev, Q.N.** Distribution of snow cover by climatic zones of the Transboundary Pyanj river basin [Текст] / I. Sh. Normatov, V.V. Goncharuk, P.I. Normatov, **Q.N. Odinaev** // Bull. NAS Republic of Kazakhstan.-2020.- V. 3. No 385.-P. 77–85. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.72>.

[4-А]. **Одинаев, К.Н.** Изменение гидрологических характеристик реки Гунт в зависимости от метеорологических условий [Текст] / П. И. Норматов, **К. Н. Одинаев**, И. Ш. Норматов. // Известия Иркутского государственного университета, Сер. Наука о Земле.-2020.-Т. 32.-С.103–112. DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.32.103>.

[5-А]. **Odinaev, Q.N.** Integrated Water Resources and Environmental Management in the Transboundary Rivers Basins of Central Asia (Chapter 1) / P.I. Normatov, I. Sh. Normatov, **Q. N. Odinaev** // In Book: Water resource management in Central Asia and Afghanistan – Current and Future., Springer Nature Switzerland AG.-2021.- P.34-41.

[6-А]. **Odinaev, Q.N.** The Impact of Climate Change on the Hydrological Characteristics and Water Availability of the Pamir Mountain rivers / P. Normatov, R. Eshankulova, I. Normatov, **Q. N. Odinaev** // Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions. Proceedings by Springer of the 2nd Euro-Mediterranean Conference for

Environmental Integration (EMCEI), Sousse, Tunisia 10-15 October 2019. (2nd Edition).-2021.- P.971-976.

[7-A]. **Одинаев, К.Н.** Мониторинг формирования и распределения снежного покрова по климатическим зонам верховья трансграничной реки Пяндж / П.И. Норматов, **К.Н. Одинаев**, И.Ш. Норматов // Тез. докл. Международной научно-практической конференции «Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ», посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета, Санкт-Петербург, Россия, 22-24 Октября 2020 г. – С. 87.

[8-A]. **Odinaev, Q.N.** Monitoring chemical analyses of the Vakhsh river and the Nurek reservoir sediments / Inom Normatov, Rano Eshankulova, **Qodirjon Odinaev**, Parviz Normatov // 2nd International Conference on Contaminated Sediments, 9 – 11 June 2021.- University of Bern, Switzerland. – P.9.