

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА ОХРАНЫ ВОДНЫХ
РЕСУРСОВ» КОМИТЕТА ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН**

ТАДЖИКСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



На правах рукописи

УДК 551.576.551.521.3(575.3)

АБДУРАХИМОВ Бозор Хабибуллаевич

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БАССЕЙНОВ
РЕК ПАМИРО-АЛАЯ И ИХ ВКЛАД В
ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА**

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	7
ГЛАВА I. ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ БАССЕЙНОВ РЕК ПАМИРО – АЛАЯ	12
1.1. Бассейн реки Зеравшан.....	12
1.2. Состояние оледенения бассейна реки Зеравшан.....	17
1.3. Гидрометеорологические условия бассейна реки Вахш и ее основных притоков в условиях изменения климата.....	18
1.4. Прогнозы изменения состояния ледников бассейнов рек Памиро-Алая к 2050	28
1.5. Метеорологические особенности бассейна реки Пяндж и гидрологические характеристики основных притоков реки Пяндж.....	33
ГЛАВА II. КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СТОКА РЕКИ ЗЕРАВШАН ОТ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ БАССЕЙНА РЕКИ	38
2.1. Оценка вклада зимних и весенних осадков в формирование расхода воды реки Зеравшан.....	41
2.2. Взаимная корреляция расхода воды реки Зеравшан и осенне-летними осадками по данным метеорологических станций бассейна реки.....	47
2.3. Использование корреляционных зависимостей стока и сезонных атмосферных осадков в определении снежно- ледниковой части стока реки Зеравшан.....	54
ГЛАВА III. ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БАССЕЙНА РЕКИ ВАХШ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	58

3.1. Гидрометеорология бассейна реки Вахш в прошлом и В настоящем.....	58
3.2.1. Мониторинг изменения температуры бассейна реки Вахш с 1950 по 2020 годы.....	59
3.2.2. Мониторинг изменения атмосферных осадков в бассейне реки Вахш с 1950 по 2020 годы.....	64
3.3. Влияние атмосферных осадков на формирование стока рек Сурхоб и Обихингоу.....	69
3.4. Динамика расхода воды рек Сурхоб, Обихингоу и Вахш в условиях изменения климата.....	74
3.4.1. Корреляционные зависимости между расходами вод рек Сурхоб, Обихингоу и атмосферных осадков бассейнов.....	80
ГЛАВА IV. МЕТЕОРОЛОГИЯ БАСЕЙНОВ РЕК ВАНЧ И ГУНТ, ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	82
4.1. Исследование корреляционных зависимостей атмосферных осадков бассейнов и стока воды притоков реки Пяндж.....	82
4.2. Гидрохимия притоков реки Пяндж по степени их применимости в орошении орошаемых земель.....	87
4.3. О механизмах влияния атмосферных условий в образовании химического состава река Шохдара и ее вклад в гидрохимию трансграничной реки Пяндж.....	97
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	103
ВЫВОДЫ.....	106
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	108
СПИСОК ПУБЛИКАЦИИ СОИСКАТЕЛЯ.....	129

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И (ИЛИ) УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

НАСА	Аэрокосмическое агентство США
МГЭИК	Межправительственная группа экспертов по изменению климата
MAGICC	Модель для оценки воздействий парниковых газов и изменения Климата
САНИГМИ	Среднеазиатский научно-исследовательский гидрометеорологический институт
НИГМИ	Научно-исследовательский гидрометеорологический институт
АФС	Аэрофотосъемки
КФС	Космофотосъемки
ГП	Гидрографическая партия
SAR	доля адсорбции натрия
SSP	доля растворимого натрия
ESP	доля обменного натрия
CROSS	Коэффициент структурной стабильности катионов
СЗ	Северо-Запад
ЮЗ	Юго-Запад

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Горные водосборы являются важными источниками столь жизненно важными для обеспечения народонаселения долин пресной водой. Ледники и снежные покровы в верховьях рек, обеспечивающих водность, тонко реагируют на малейшие колебания климатических условий. Нынешнее состояние резервуаров воды на высокогорьях под влиянием климатических катаклизмов характеризуются доминированием процессов деградации. Это вызывает особую тревогу в связи с нарастанием проблемы дефицита воды.

Особенность и существенное различие климата в различных географических широтах бассейна Аральского моря создает определенную трудность в создании единой сценарии для описания перспектив развития гидрометеорологических процессов региона.

Ныне уже не вызывает сомнений факт существования глобальной проблемы – изменение климата с последующими его последствиями. Согласно Всемирному кадастру ледников, подготовленному в середине XX века бассейны рек Пяндж (площадь оледенения 3913 км²) и Вахш (площадь 3675 км²) только за период с середины двадцатого столетия до 2003 года потеряли 8,2% и 7,5% площади своих оледенений соответственно. Это соответствует сокращению объема ледников бассейнов соответственно на 10,5% и 4,1%. По данным Региональной модели климата к 2050 году ожидается потепление климата на 2 °С и сокращение запасов льда на 75,5% в бассейне реки Пяндж и на 53% в бассейне реки Вахш.

Президент Республики Таджикистан, Лидер нации, уважаемый Эмомали Рахмон отмечал: “...Процессы изменения климата становятся причиной быстрого таяния ледников, оказывая влияние 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 более 13 тысяч ледников полностью растаяли более одной тысячи из них...”.

Степень изученности научной проблемы, теоретическая и методологическая основа исследования.

Метеорологические и гидрологические условия бассейнов рек Памиро-Алая как объекты природной лаборатории привлекали интерес зарубежных и национальных научных школ. Результаты полевых работ и дистанционных исследований по мониторингу динамики климатических, гидрологических параметров высокогорья бассейнов рек Памиро – Алая вносили и будут вносить существенный вклад в калибровку и усовершенствование математических моделей по прогнозу изменения климата и гидрологии водных артерий на ближайшие сто и более лет. Водно-ледовые ресурсы, климат и другие компоненты экосистемы бассейнов рек Памиро-Алая являются объектом исследований многих международных и национальных научных проектов, финансируемых международными финансовыми, научными и экологическими организациями.

Глобальное изменение климата и его катаклизмы внесли ощутимые изменения в развитие природного тренда компонентов экосистемы. Для достижения Целей Тысячелетия и обеспечения экологической и продовольственной безопасности населения возникла необходимость в разработке механизмов адаптации к изменению климата. В последние годы, благодаря ряду глобальных инициатив Президента Республики Таджикистан уважаемого Эмомали Рахмона, существенно активизировались исследования по комплексному изучению метеорологических условий бассейнов трансграничных рек и тесно связанные с ним состояние оледенения, гидрологии и гидрохимии рек, чрезвычайные природные явления. В решении неотложных водно-климатических проблем Таджикистана и Центральной Азии оказывают помощь широко представленные климатические, гидрологические и гляциологические информации в сайтах ряда профилирующих международных и национальных организаций.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель исследования. Изучение гидрометеорологических условий бассейнов рек Памиро-Алая (Зеравшан, Вахш и Пяндж) и их притоков, особенности пространственного распределения и влияния осадков на формирование стока рек, а также мониторинг гидрохимии притоков реки Пяндж как результат выветривания горных пород.

Объектом исследования в данной диссертации являются метеорологические, гидрологические и гидрохимические условия бассейнов рек Зарафшан, Вахш, Пяндж.

Предмет исследования. Климатические характеристики бассейнов рек Памиро-Алая, изучение динамики осадков и определение их вклада в формирование стока рек Памиро-Алая, изучение корреляции атмосферных осадков в бассейнах рек.

Основные задачи:

- изучение корреляции расхода воды реки Зеравшан с сезонными осадками по данным метеорологических станций бассейна реки;
- определении снежно-ледниковой части стока реки Зеравшан с использованием корреляции стока и осадков;
- мониторинг изменения среднемноголетних температур и осадков бассейна реки Вахш за период 1950-2020 гг;
- оценка вклада атмосферных осадков в формировании стока рек Сурхоб и Обихингоу;
- изучение возможности применения статистических методов для корреляционного анализа гидрологических характеристик рек Гунт и Ванч;
- исследование корреляционных зависимостей атмосферных осадков бассейнов и стока воды притоков реки Пяндж;
- мониторинг гидрохимии притоков реки Пяндж как следствие выветривания горных пород;

- оценка степени применимости вод притоков реки Пяндж- рек Гунт и Ванч для орошения сельскохозяйственных земель.

Методы исследования. Для обобщения, обработки и определения динамики гидрометеорологических данных бассейнов рек Памиро-Алая использованы статистические и дифференциально-интегральные методы описания гидрометеорологических характеристик.

Достоверность результатов работы обеспечивается использованием корреляций Пирсона и Стьюдента, статистических и математических методов, а также использованием данных метеорологических и гидрологических сетей Агентства по Метеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан, традиционными и широко используемыми методами интерпретации данных и зависимостей.

Отрасль исследования. Тема исследования диссертации соответствует паспорту номенклатуры специальностей ВАК при Президенте Республики Таджикистан по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология, включая пункт 6: Расчеты, методы и геоинформационные системы в метеорологии, климатологии и агрометеорологии.

Материалы исследований: результаты наблюдений за климатическими и метеорологическими условиями, гидрологическими особенностями бассейнов рек Пяндж, Зарафшан, Вахш на гидрометеорологических станциях речных бассейнов.

Научная новизна исследования:

- установлено, что расход воды реки Зеравшан тесно коррелирует с атмосферными осадками зимнего (XII-II) и весеннего (III-V) сезонов, свидетельствующих о существенном вкладе таяния снегов и ледников верховья реки Зеравшан и ее притоков в формировании стока;
- показано, что корреляция расхода воды реки Зеравшан с осенними осадками (IX-XI) является отрицательным характеризуемым коэффициентом корреляции от 0 до -0.1. Корреляция расхода воды реки

Зеравшан с осадками летнего (VI-VIII) сезона характеризуется почти нулевым значением коэффициента корреляции;

- показано, что ледниковая подпитка реки Зеравшан ныне составляет 1.08 км^3 или 21% от общего стока;
- установлено, что за период 1950-2020 гг. среднегодовое увеличение температуры в бассейнах рек Сурхоб, Кызылсу и Обихингоу составляли $18 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/год}$, $9,4 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/год}$, $14 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/год}$ соответственно;
- рассчитаны коэффициенты корреляции атмосферных осадков бассейнов с расходом воды рек Сурхоб и Обихингоу со значениями в пределах 0.1 – 0.3, свидетельствующих о незначительной взаимосвязи стока рек и осадков;
- изменение среднегодовой температуры в бассейнах рек Ванч и Гунт с 1940 по 2020 годы составляет $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/год}$ и $1,1 \cdot 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C/год}$ соответственно.
- установлено, что между осадками в бассейнах рек Ванч и Гунт наблюдается тесная корреляция, явствующая об обеспечении бассейнов рек одним и тем же источником атмосферных осадков – влажной воздушной массой из Средиземноморья и существенным вкладом ледников бассейнов в формирование стоков рек;
- показано, что реки Бартанг, Гунт, Шохдара, Ванч и Язгулем характеризуются высокими содержаниями катионов кальция и магния. Обогащение речных вод катионами магния и кальция связано с составом горных пород русла рек прежде всего обусловлено процессами вымывания горных пород;
- установлено соответствие химического состава вод притоков реки Пяндж - рек Гунт и Ванч критериям применимости вод для полива сельскохозяйственных земель.

Теоретическая значимость работы. Результаты диссертации могут быть широко использованы:

- в разработке модели циркуляции атмосферы и сценария распространения воздушных масс по горным территориям;
- в установлении механизмов влияния горной орографии на формирование атмосферных осадков;
- в планировании развития сельского хозяйства с учетом формируемого стока горных рек в условиях изменения климата;
- в мониторинге качества вод и выявления локальных и стационарных источников загрязнения речных вод.

Практическая значимость работы. Результаты исследований внедрены в тематические планы Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Академии наук Республики Таджикистан и в Агентства по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан. Основные положения диссертационной работы включены в учебную программу дисциплины “Гидрология суши” и “Метеорология” кафедры Метеорологии и климатологии Таджикского национального университета.

Выносимые на защиту положения:

- корреляционные зависимости расхода воды рек Зеравшан, Сурхоб, Обихингоу, Гунт и Ванч от сезонных атмосферных осадков по данным метеорологических станций бассейнов рек;
- динамика метеорологических характеристик бассейна реки Вахш за период 1950-2020 гг;
- результаты мониторинга гидрохимии притоков реки Пяндж и притоков как результат выветривания горных пород и результаты исследований по возможности применения вод притоков реки Пяндж для орошения сельскохозяйственных земель.

Личный вклад автора заключается в постановке проблемы исследования, методическом обеспечении ее решения и анализе полученных результатов мониторинга метеорологических условий, гидрологических характеристик

бассейнов рек Зеравшан, Вахш, Пяндж и их притоков. В основе диссертации лежат результаты семилетних исследований автора по проблеме метеорологии и гидрологии бассейнов рек Памиро-Алая.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований докладывались на III Международной научно-практической конференции (Пенза, РФ, 2022), Республиканской научно-теоретической конференции “Проблемы современной химии и состояния ее внедрения в учебный процесс” (Дангара, 2022), Республиканской научно-теоретической конференции “Рациональное использование природы и защита окружающей среды в условиях изменения климата” (Душанбе, 2023), Республиканской научно-практической конференции студентов и преподавателей Таджикского национального университета (Душанбе, 2022).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав и выводов, изложена на 129 страницах основного текста и включает 40 рисунков, и 17 таблицы. Список использованных источников включает 181 наименований, в том числе 135 иностранных.

ГЛАВА I. ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ БАССЕЙНОВ РЕК ПАМИРО – АЛАЯ

1.1. Бассейн реки Зеравшан

Атмосферные осадки в бассейн реки Зеравшан выпадают в основном весной и летом со среднегодовым значением 115 – 500 мм [1]. Осадки в долине распределяются крайне неравномерно, что обуславливает различные ландшафты от альпийских лугов до пустынь. Климат Зеравшанской долины субтропический внутриконтинентальный с жарким летом при умеренно холодной зиме.

В начале горного ущелья в окружении небольших гор расположен город Пенджикент. В городе преобладают западные, юго-западные и северные ветра. Основные атмосферные осадки приносятся весной и осенью именно этими ветрами.

Предполагается, влажные массы воздуха с Атлантики являются источниками атмосферных осадков долины Зеравшан. Наблюдаемая в бассейне реки Зеравшан зональность (вертикальная) проявляющаяся в том, что декабрь-январь считаются самыми холодными месяцами года. Высотное распределение температуры в бассейне составляет 0,6-0,7 °С / 100 м. Более мягкая зима наблюдается на высотах 1400-1600 м [2].

Бассейн реки Зеравшан расположенная на высоте $(1-6) \cdot 10^6$ м и площадью более $12 \cdot 10^3$ км² являющийся одним из наиболее селеопасных районов страны, может служить моделью для изучения климатических колебаний и вызываемых ими последствий. Он расположен на высоте от 1000 до 6000 метров и занимает площадь более 12 000 квадратных километров. Ширина долины (дно) колеблется от нескольких метров до 6,8 километров. Образованию большого количества селей способствуют широкое распространение легкосмываемых рыхлых пород, сильная расчлененность рельефа и крутизна склонов, наличие большого количества ледников (до 4000 ледников разной величины), обширная гидрографическая

сеть и континентальный климат, характеризующийся резкими суточными и сезонными колебаниями температуры.

Комплекс инженерно-геономических исследований водотоков бассейна реки Зеравшан позволяет выявить особенности изменений и преобразований геологической среды под воздействием природных и техногенных нагрузок, обуславливающих геориски [5]. В результате исследования выполнена инженерно-геономическая оценка развития селей и типизация сопутствующих георисков, построены инженерно-геономические модели закономерностей латерального и высотного распределения георисков в бассейне реки Зеравшан. построены и определены зоны наибольшей уязвимости. Также был разработан комплекс мероприятий по снижению риска природных и техногенных георисков на данной территории [3]. Для снижения риска природных георисков составлена карта трекинговой сети, которая позволит организовать наблюдения за селевыми процессами и степенью их проявления.

Как известно, в настоящее время существует достаточно большое количество сценариев изменения климата, которые дают сильно отличающиеся прогнозируемые величины.

Для прогноза климатических изменений в Центрально-азиатском регионе была предложена программа модели по оценке воздействий парниковых газов и изменения климата (МГЭИК) [4,6]. Прогнозы изменения среднесуточной температуры воздуха (Т) и годовых сумм осадков (Р) на 2050 г. в бассейне реки Зеравшан проведенные Агентством по гидрометеорологии Комитета по охране окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан по методике [7] обобщены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. – Прогноз изменения среднемноголетней температуры воздуха

Станция	1 CCC-EQ		2 UK-TR		3 GFDL-TR		4 HadCM 2		6 Линейный тренд	
	T	P, %	T, °C	P, %	T, °C	P, %	T, °C	P, %	T, °C	P, %
Дехавз	2,3	-5	2,7	5	2,0	- 0,1	2,3	1 4	0,7	25
Исканде ркул	2,0	-5	2,3	5	1,7	- 0,1	2,0	1 4	0,7	21

(T) и годовых сумм осадков (P) на 2050 г в бассейне реки Зеравшан

Все модели прогнозируют увеличение летней температуры. Однако, модели с использованием удвоения CO₂, прогнозируют увеличение температуры на 1,3-2,7°C, в то время как модель, основанная на спектральном анализе фактических данных за весь период наблюдений, - лишь на 0,6-0,7°C.

Прогноз осадков более разнообразен. Климатические модели CCC-EQ и GFDL-TR дают уменьшение годовых осадков от -0,1% до -5%. Модели UK-TR и HadCM2 дают увеличение осадков от 5% до 14%. Тренды, полученные по спектральному анализу, показывают увеличение осадков от 13 до 25%. Наибольшее увеличение прогнозируется в высокогорных областях (таблица 1.1).

Средняя летняя температура воздуха (июнь - август) и годовые суммы осадков P за весь период наблюдений (1926- 1996 гг.) и вертикальный градиент осадков $\delta P/\delta H$ обобщены в таблице 1.2.

Таблица 1.2. — Средняя летняя температура воздуха (июнь - август) и годовые суммы осадков P за период наблюдений (1926- 1996 гг.) и вертикальный градиент осадков $\delta P/\delta H$

Станция	Н, м	Т, °С	Р, мм/г	$\delta P/\delta H$, мм/км
Дехавз	2564	13,9	365	500
Искандеркул	2204	16,8	306	400

Согласно Пятому докладу об Оценке МГЭИК (5, 2013-2014 гг.), имеются свидетельства того, что, начиная со второй половины XX века, воздействие человека на климат планеты, главным образом из-за сжигания ископаемых видов топлива и сведения лесов, постоянно росло. В 2013 г. концентрация CO_2 в мае 2013 перевисла 400 частей на миллион (символического барьера). Продолжающийся рост выбросов парниковых газов способствует разогреву планеты. По данным глобального анализа НАСА (Аэрокосмического агентства США), Центральная Азия является одним из глобальных регионов с ярко выраженным потеплением климата в период 1950-2013 гг. Поэтому не только Таджикистан, но и все Центрально-Азиатские государства испытывают влияние изменения климата в виде роста температур, таяния ледников, трансформации речного стока.

В долине Зеравшан с конца 30-х по начала 70-х годов XX века образовалось благоприятное условие (низкая температура и достаточное количество твердых осадков) для ледников в плане нарастания баланса массы [8,9]. В свою очередь, наблюдалась противоположная картина динамики температуры, хотя осадки держались при почти постоянном значении с 1981 по 2011 гг [8]. Тенденция к снижению расхода воды в период 1931–1961 гг. может быть объяснена низким и почти постоянным значением температуры,

в результате чего снег накапливается и расширяет ледник, а не тает и способствует стоку рек. Эта интерпретация подтверждается тем фактом, что сток реки Ягноб был почти постоянным в период 1931–1961 гг. Совершенно иная картина стока наблюдается для периода 1981–2011 гг., когда произошло значительное увеличение расхода воды [8].

Бассейн трансграничной реки Амударья располагает около 60% и 70% водными и гидроэнергетическими потенциалами региона Центральной Азии. Реки Республики Таджикистан в основном питаются талыми водами снегов (более 60%) и ледников (до 30%) при активном участии подземных вод в период маловодья. Основными источниками питания малых рек являются дождевые потоки [10].

Определения точной доли ледникового питания рек в настоящее время связано именно с природными процессами в зонах накопления и абляции снежных покров и ледников [11].

Река Зеравшан одна из притоков трансграничной реки Амударья характеризуется достаточной величиной площади бассейна (406000 км²) и длиной (877 км) [12-14].

С освоением новых сельскохозяйственных земель на территории Республики Узбекистан и развитием орошения река не вливает свои воды в Амударью [15].

Таблица 1.3 — Характеристики стока реки Зеравшан ниже места впадения реки Могияндарья

$Q_{ср}$	161 м ³ /с	Сред. за период 1997–2005
Среднемесячное значение:		
м ³ /с		
Октябрь	Ноябрь	Декабрь
91.3	63.4	49.3
Январь	Февраль	Март
42.4	39.7	38.6
Апрель	Май	Июнь
57.1	150	362

Июль 477	Август 370	Сентябрь 193
-------------	---------------	-----------------

Источник: Узгидромет

В настоящее время около 96% водных ресурсов используется для орошения, в основном в Узбекистане.

Наблюдательные метео – и гидрологические станции для мониторинга гидрометеорологических условий бассейна реки Зеравшан и ее притоков на территориях республик Таджикистан и Узбекистан подробно описаны в [16-33].

1.2. Состояние оледенения бассейна реки Зеравшан [34-61]

Многочисленные горные ледники расположены в бассейне реки Зеравшан – одной из главных водных артерий Средней Азии. Свое начало эта река берет из ледника Зеравшанский – одного из крупных ледников Средней Азии. По состоянию на 1980 год, площадь ледника Зеравшанский составляла 25,11 км² [34].

По результатам исследований работ [35-47] начиная с 80-х прошлого столетия площади оледенения региона Центральной Азии подвержены процессам деградации (Таблица 1.4). На рисунке 1.1 представлена схема географических широт площади оледенения Зеравшанского ледника [48].

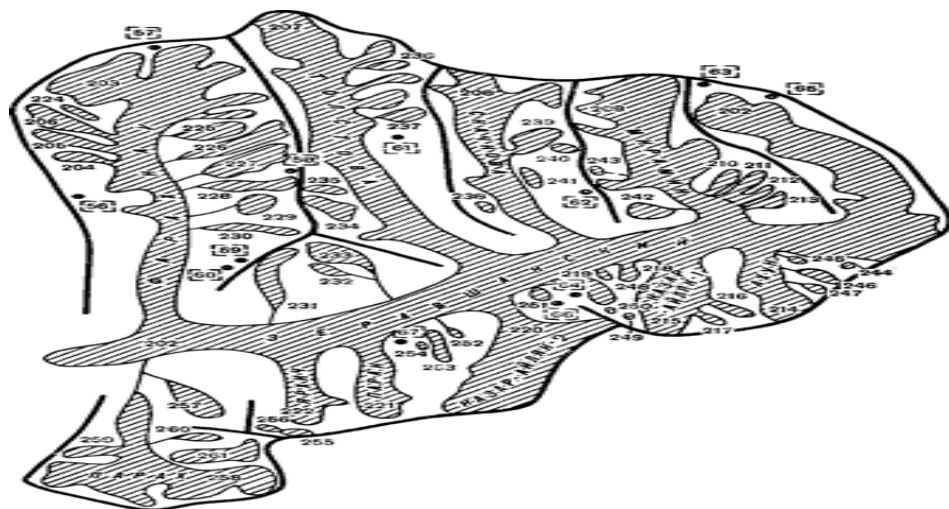


Рисунок 1.1. — Схема расположения ледников в бассейне ледника Зеравшанский [48]

Таблица 1.4. — Площадь (S) и количество ледников (N) бассейна ледника Зеравшанский в разные годы инвентаризации

	S, км ²			N		
	1957	1980	2017	1957	1980	2017
Бассейн Зеравшанского ледника	162	141,6	134,7	72	63	72

Таблица 1.5. — Среднегодовые темпы деградации оледенения бассейна ледника Зеравшан

Бассейн	Площадь ледников, км ²			Средние годовые темпы деградации оледенения, %	
	1957 г.	1980 г.	2017 г.	1957-1980 гг.	1980-2017 гг.
Бассейн ледника Зеравшан	156	141,6	130	0,4	0,3

1.3. Гидрометеорологические условия бассейна реки Вахш и ее основных притоков в условиях изменения климата

Река Вахш приток трансграничной реки Амударья с территорией бассейна более $39 \cdot 10^3$ км², который охватывает географические широты с северной окраины Памира в пределах Памирского и Алайских хребтов до полуаридной зоны Южно-Таджикской депрессии [62]. В Вахшской долине температура в летный период достигает до 35° и зимой до -25°. Среднегодовое количество атмосферных осадков составляет 140-300 мм около 50% которых приходится в весенний период.

Данные по изменению температуры в бассейне реки Амударья и ее притока реки Вахш обобщены в таблице 1.6. Период 1951-2007 гг. был необычным для бассейна с точки зрения изменения температуры, который характеризовался резким увеличением максимальных значений при незначительном изменении среднегодовых минимальных значений [63].

Примечательно, что повышение температуры проявлялось в холодный сезон нежели в теплый [64,65].

Таблица 1.6. — Среднее изменение годовой температуры и годового количества осадков в бассейнах рек Вахш и Амударья в 1951-2007 гг [63]

	Среднее значение за период				За период таяния ледников			
	ΔT (°C)	ΔT^{\max} (°C)	ΔT_{\min} (°C)	ΔP (%)	ΔT (°C)	ΔT_{\max} (°C)	ΔT_{\min} (°C)	ΔP (%)
1951- 2007 гг								
Басс. реки Вахш	0.63	0.38	0.88	- 7.5	0.32	0.06	0.58	- 1.2
Басс. р. Амударья	0.41	0.19	0.63	-10.8	0.20	0.03	0.42	-2.2

За период 1951-2007 гг. осадки в бассейне Амударьи значительно уменьшилось (на 10.8%) (таблица 1.6) проявляющегося пространственной неоднородностью по бассейнам притоков [63-65]. За рассмотренный период сокращение осадков в бассейне реки Пяндж составило 15%, удвоив снижение в бассейнах рек Вахш, Каферниган и Кундуз. Сезонно осадки выпадали в основном в феврале-мае.

На рисунке 1.2 показаны графики межгодового изменения сезонных значений температуры воздуха и осадков за периоды январь – март и апрель – июнь Интерпретация данных по осадкам и температуре воздуха за период 1952–2099 гг проводились с использованием региональной модели REMO-0406 и REMO-0507 с пространственным разрешением $0,5^\circ$ и $0,16^\circ$ основываясь на сценарии развития концентрации парниковых газов CMIP3 SRES-A1B [66].

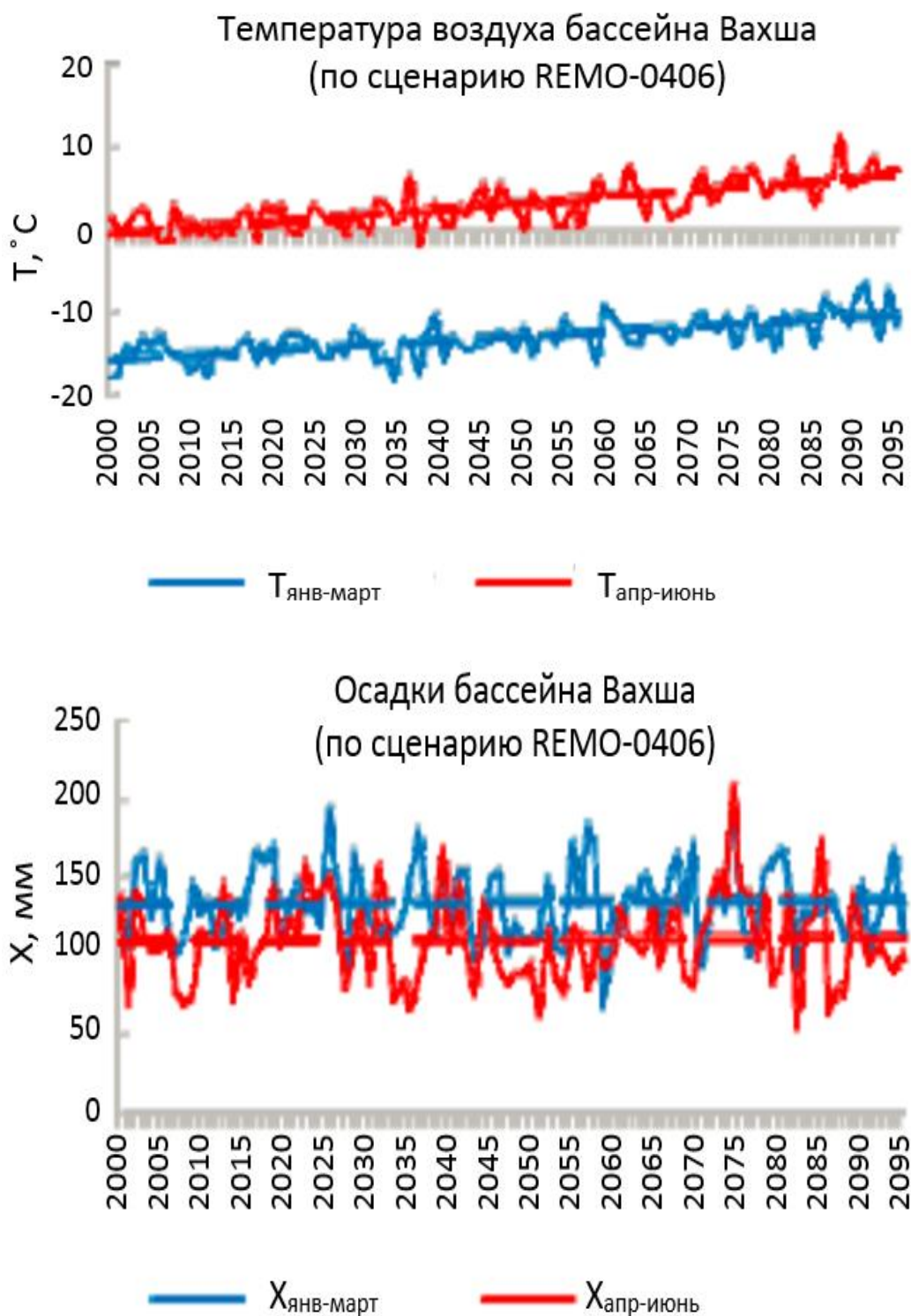


Рисунок 1.2. — Сезонные значения приведенной температуры воздуха и осадков в бассейне реки Вахш [66]

В бассейне реки Вахш преобладают вершины Памиро-Алайской горной системы и многочисленные ледники. Он расположен на высоте от 1100 м до 7450 м со средней высотой 3500 м. климат континентальный, со значительными сезонными колебаниями температуры и осадков. Большая

часть осадков выпадает зимой и весной. Самые сильные осадки выпадают на юге бассейна реки, а самые легкие-на севере и северо-востоке на границе с Кыргызстаном. На рисунке 1.3 представлены результаты внутригодовой динамики температуры, атмосферных осадков и глубины снега [67].

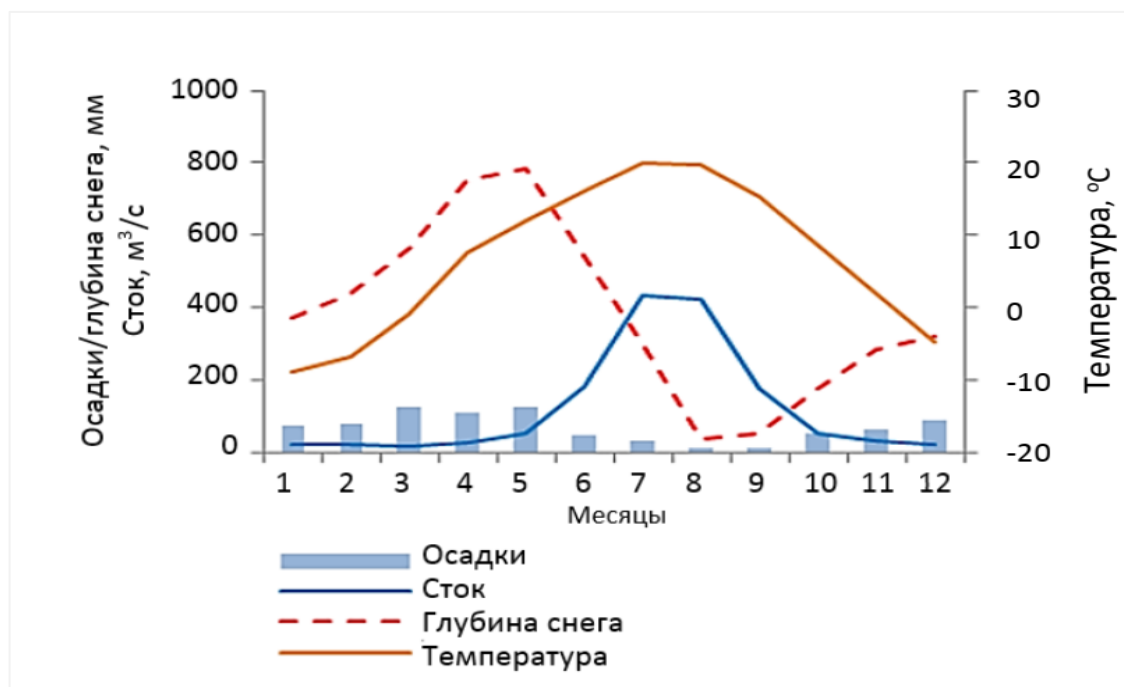


Рисунок 1.3. — Внутригодовая динамика среднемесячных температур, осадков и глубины снега [67]

Климатические условия в течение базового и прогнозного периодов представлены в виде среднего значения за период 1979-2008 и 2070-2099 годов соответственно для оценки состояния ледников к 2100 году. Изменение зимних осадков и летних температур по сравнению с базовым периодом представлен в таблице 10 для водораздела Вахша. Согласно прогнозам, общий климат станет теплее для всех климатических сценариев и условий, в то время как изменения осадков демонстрируют высокую неопределенность из-за различных условий изменения климата. Отмечается, что речные бассейны в Северном полушарии будут испытывать более высокое повышение температуры по сравнению с бассейнами, расположенными в Южном полушарии. Будущие зимние осадки также будут увеличены на +6% до +20% для речных бассейнов в Северном полушарии, тогда как для речных

бассейнов в Южном полушарии (центральное Чили и Мендоса) они уменьшатся на - 7% до -17%.

Климатические прогнозы будущих изменений климата по двум сценариям изменения климата RCPs (Representative Concentration Pathway) (RCP4. 5 и RCP8. 5) и шести связанным моделям Intercomparison Project-5 (CMIP5) в виде среднего значения за период 1979 -2008 и 2070 -2099 для бассейна реки Вахш представлены в таблице 1.7.

Таблица 1.7. — Прогнозируемые изменения летней температуры и зимних осадков в бассейне реки Вахш на период 2079-2099 гг [67]

GCMs	RCP4.5		RCP8.5	
	Лето	Зима	Лето	Зима
	ΔT	ΔP	ΔT	ΔP
bcc-csm1-1	2.63	13.97	5.30	14.01
CanESM2	4.41	11.60	7.75	26.60
CCSM4	2.38	15.37	4.92	19.76
CNRM-CM5	3.02	24.43	4.85	29.90
CSIRO-Mk3-6-0	3.11	24.81	5.26	51.54
GFDL-CM3	7.81	12.84	10.94	5.89
GISS-E2-R	2.60	22.74	4.37	35.27
INMCM4	2.04	-4.48	3.61	-1.14
IPSL-CM5A-LR	4.11	3.48	7.40	0,10
IPSL-CM5A-MR	4.22	-3.51	7.96	-8.62
MIROC5	3.62	16.80	5.98	38.75
MIROC-ESM	3.44	6.77	6.86	-0.86
MPI-ESM-LP	2.55	5.79	5.10	10.84
MRI-CGCM3	1.96	35.91	4.14	61.29
Среднее	3.42	13.32	6.03	20.24

Сценария SRA2 применяется для оценки долгосрочных последствий климатических изменений для многолетнего годового стока и выявление регионов, в которых ожидаются статистически значимые отклонения сценарных оценок расчетных характеристик от текущих. CRU-TS-2.1 - это гомогенизированный интерполированный сетчатый набор данных с высоким разрешением [68].

Таблица 1.8. — Данные наблюдений CRU-TS-2.1 за атмосферными осадками с 1961 по 1990 годы и динамика их изменений в период 2070–2099 гг. для сценария SRA2 [68]

Местоположение	Сред. тем-ра из данных CRU (1961-1990 гг)	Темп. аномалии согласно мульти моделирования (2070-2099 гг)	Осадки (CRU,1961- 1990 гг)	Динамика осадков по мульти моделирования периода 2070- 2099 гг
ВАХШ	17.1	4.6 (3.2/5.6)	328	- 8.1%

В таблице 1.8 показаны прогнозируемые многомодельные среднегодовые аномалии температуры на период 2070–2099 гг. по сценарию SRA2. Прогнозы показывают, что к концу XXI века в бассейне Амударьи по отношению периода 1961–1990 гг. температура значительно возрастает, показывая среднегодовой рост по всему бассейну между 4 и 4,6 °С к 2070–2099 гг. (таблица 1.8). В зимние (ДЯФ) месяцы прогнозируемый рост немного меньше (~ 3–3,5 °С), однако в течение летнего (ИИА) вегетационного периода вероятнее более сильное прогнозируемое повышение температуры (более чем на 5°С). Напротив, мультимодельные прогнозы средних значений осадков указывают на менее значимые изменения к 2070–2099 гг. (таблица 1.8).

Мультимодельные прогнозы предполагают небольшое изменение общего годового количества осадков, что в целом указывает на небольшую тенденцию к снижению низовьях бассейна. Однако в горных районах к востоку от бассейна наблюдается небольшое увеличение зимних осадков (Таблица 1.9).

Прогнозы летних осадков показывают более равномерное уменьшение, особенно в нижележащих районах. Вдали от гор общее годовое количество осадков, как правило, очень низкое, особенно в летние месяцы, поэтому только относительно небольшая часть общего количества осадков может считаться эффективной для удовлетворения потребностей в воде для сельскохозяйственных культур. Таким образом, прогнозируемые пропорциональные изменения в общем годовом количестве осадков переводятся в относительно незначительное изменение в целом.

В бассейне реки Вахш 24% обще бассейновых осадков выпадает непосредственно на оледеневшие участки, которые покрывают 17% площади бассейна.

Таблица 1.9. — Среднегодовые значения температуры и осадков в бассейне реки Вахш с 1951 по 2007 годы

	Годовое изменение				Изменение в сезон таяния ледников			
	ΔT (°C)	ΔT (°C)	ΔT (°C)	ΔP (%)	ΔT (°C)	ΔT (°C)	ΔT (°C)	ΔP (%)
Бассейн реки Вахш	0.63	0.38	0.88	-7.5	0.32	0.06	0.57	-1.2

ΔT -изменение среднегодовой температуры; ΔT_{\min} - изменение минимальной годовой температуры; ΔT_{\max} - изменение максимальной годовой температуры; ΔP - процентное изменение годовых осадков [63]

В регионе Центральной Азии после приобретения независимости бывших республик СССР обострилась проблема между двумя аспектами использования водных ресурсов – гидроэнергетики и сельского хозяйства связанная с отличием географическим расположением зоны формирования и рассеивания водных ресурсов. [69]. Возникла острая проблема строго контроля использования воды, учета количества формируемой воды и последовательного мониторинга состояния водных ресурсов. Однако следует отметить, что горная орография зоны формирования стока рек создает определенные трудности в осуществлении последовательного и систематического мониторинга [70,71]. Кроме того, основываясь на скудном количестве данных разрабатываются модели, прогнозами которых далеко искажают реально ожидаемые процессы.

Реки Сурхоб и Обихингоу наряду с достаточно обширными территориями бассейнов равными 22370 км^2 и 6660 км^2 , с более 245 и 756 ледниками соответственно вносят существенный вклад в формировании стока реки Вахш. В бассейне реки Обихингоу находится Самый большой ледник Памира - Гармо, дающий начало одноименной реке Гармо расположен в бассейне реки Обихингоу Изучение пространственно-временных закономерностей формирования стока, особенностей гидрологического режима рек позволяет выявить основные связи между элементами водного баланса. В частности, о подземных и поверхностных водах и формировании их природных ресурсов в существующих и будущих климатических условиях.

Родники и талые воды ледников южного склона Алайского и северного склона Заалайского хребтов способствует формированию стока притока реки Вахш – реки Кызылсу в которой вклад талых ледниковых вод более 65% от среднегодового стока реки. Наиболее богатым ледниковыми покрытиями с площадью более 2500 км^2 и более 54% -ним ледниковым стоком считается бассейн реки Муксу [72].

Ранее было установлено, что в 1935-1989 гг средний вклад стока из оледеневших районов бассейна реки Вахш составляло 44% ($5,7 \text{ км}^3$) [35]. В крайне маловодные годы очень важна роль ледникового питания в июне-сентябре. В таблице 1.10 представлены данные о ледниковом стоке за ряд таких лет. Видно, что в годы с незначительным зимне-весенним накоплением осадков скорость течения ручья в июне-сентябре в основном обеспечивается стоком из оледеневших районов.

Таблица 1.10. — Относительный (%) и абсолютный (км^3) вклад ледникового питания в общий сток реки Вахш в июне-сентябре в маловодные годы [73]

	Годы					
	1938	1944	1947	1961	1971	1978
Относительный вклад, %	40	64	74	72	62	71
Абсолютный вклад, км^3	4.5	9.1	8.2	8.6	7.6	10.1

За период 1935-1985 гг. наблюдалось изменение среднегодовых объемов ледникового стока в связи с усадкой ледниковой зоны в бассейнах рек Обихингоу и Сурхоб (притоки реки Вахш) на величину $-79.9 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ и $-27.2 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ соответственно [73].

Таблица 1.11. — Изменения гидрометеорологических характеристик в бассейне реки Вахш в периоды, для которых оценивалась эволюция оледенения [73]

	Периоды	
	1950-1965 гг	1966-1980 гг
Объем стока $\times 10^6 \text{ м}^3$	Гидропост Комсомолабад	
Июль-Сентябрь	9455.0	9394.0
Август	3501.5	3585.0
Сентябрь	1895.7	1733.2

Сумма осадков, мм	Метеостанция Гарм Октябрь-Апрель	
	675.9	
Сумма среднемесячных температур, °С	Метеостанция на леднике Федченко Июль-Сентябрь	
	5.4	7.8

Средняя аномалия зимне-весенних осадков в более поздний период времени больше средней аномалии температуры воздуха, что отражается в изменении знака индекса накопления и абляционного баланса в бассейне реки Вахш. Среднее снижение общих объемов таяния ледников на Памире составляет ~5% от среднего стока рек Вахш и Пяндж в июле-августе 1960-80 гг (Таблица 1.11, Таблица 1.12).

Таблица 1.12. — Средние годовые компоненты стока в бассейне реки Вахш
[74]

Бассейн	Площадь Бассейна км ²	Средний годовой расход км ³	Вклад среднего годового стока					
			Сезонные снега		Подземные воды		Ледники	
			%	км ³	%	км ³	%	км ³
Вахш	31200	19.10	37	7.07	37	7.07	26	4.97

1.4. Прогнозы изменения состояния ледников бассейнов рек Памиро-Алая к 2050 году

Большинство горных ледников во всем мире сильно не сбалансированы с климатом и теряют до одной трети своего объема, чтобы достичь состояния равновесия с текущим климатом [75]. Потеря массы ледников за период 2003-2009 гг за исключением ледяных щитов в Гренландии и Антарктиде составило 240 Гт / год, что соответствует водному эквиваленту океана 0,72 мм / год, или примерно 30% наблюдаемого повышения уровня моря за рассматриваемый период. Несмотря на большие потери массы льдов на всех горных хребтах по всему миру, в начале этого столетия в некоторых отдельных регионах, например, в Каракоруме, сообщалось о сбалансированном балансе массы [76,77], что, вероятно, связано с изменениями сезонности, атмосферной циркуляции и усилением зимнего снегонакопления на некоторых ледниках [71].

Прогнозы с использованием моделей глобальной циркуляции (GCM) для горных хребтов всего земного шара указывают на значительное повышение температуры воздуха в течение следующих десятилетий, но непоследовательную картину выпадения осадков. Модели ледников, созданные с использованием данных GCM, указывают на продолжающуюся потерю льда во всех регионах [78-81].

Таблица 1.13. — Расчетные значения относительного изменения объема ледникового льда за период 2010 - 2100 гг. для отдельных регионов по данным различных исследований [82]

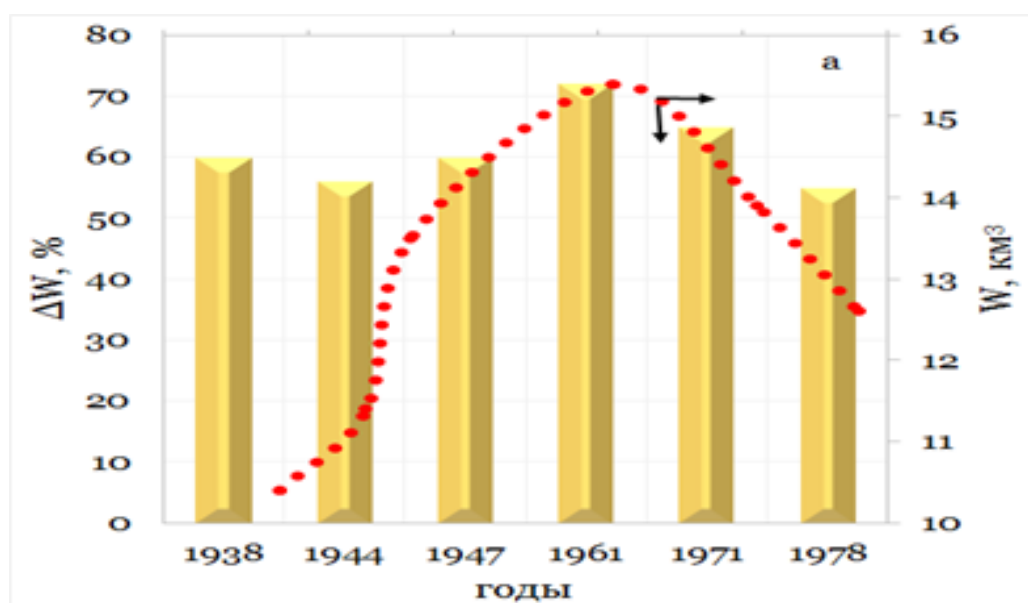
	Marzeion et al [2012]	Giesen and Oerlemans [2013]	Radic et al [2014]	Huss and Hock [2015]	В целом
Центральная Азия	-53±8%	-54±15%	-54±15%	-54±13%	-54±13 %

Примечание: Результаты модели основаны на сценарии выбросов репрезентативный путь концентрации RCP4.5, за исключением (Giesen and Oerlemans, 2013), которые используют сценарий A1B) и на среднем значении 9–14 моделей глобальной циркуляции.

Памиро-Алайские горы характеризуются обширной ледниковой зоны. Достаточно полная информация о размерах ледников в бассейнах рек Пяндж, Вахш и Зеравшан, а также южной части Ферганской долины и некоторых других, расположенных в пределах Памиро-Алайской системы, была получена по данным аэрофотосъемки 1957-59 гг. и использована для составления кадастра ледников СССР. Кроме того, эти данные были использованы для определения средних значений ледникового питания рек Центральной Азии и их долгосрочных вариаций.

Установлено, в частности, что за период 1935-1989 гг. средний вклад стока с оледеневших территорий в основных бассейнах Памира и Гиссаро-Алая в общий сток за июнь-сентябрь в бассейнах рек Пяндж, Вахш и Зеравшан составлял 41% ($7,7 \text{ км}^3$), 44% ($5,7 \text{ км}^3$), 43% ($1,5 \text{ км}^3$) соответственно [31].

На рисунке 1.4 представлены данные о ледниковом стоке за ряд таких лет. Видно, что в годы с незначительным зимнее - весенним накоплением осадков скорость стока ручья в июне-сентябре в основном обеспечивается стоком с оледеневших участков.



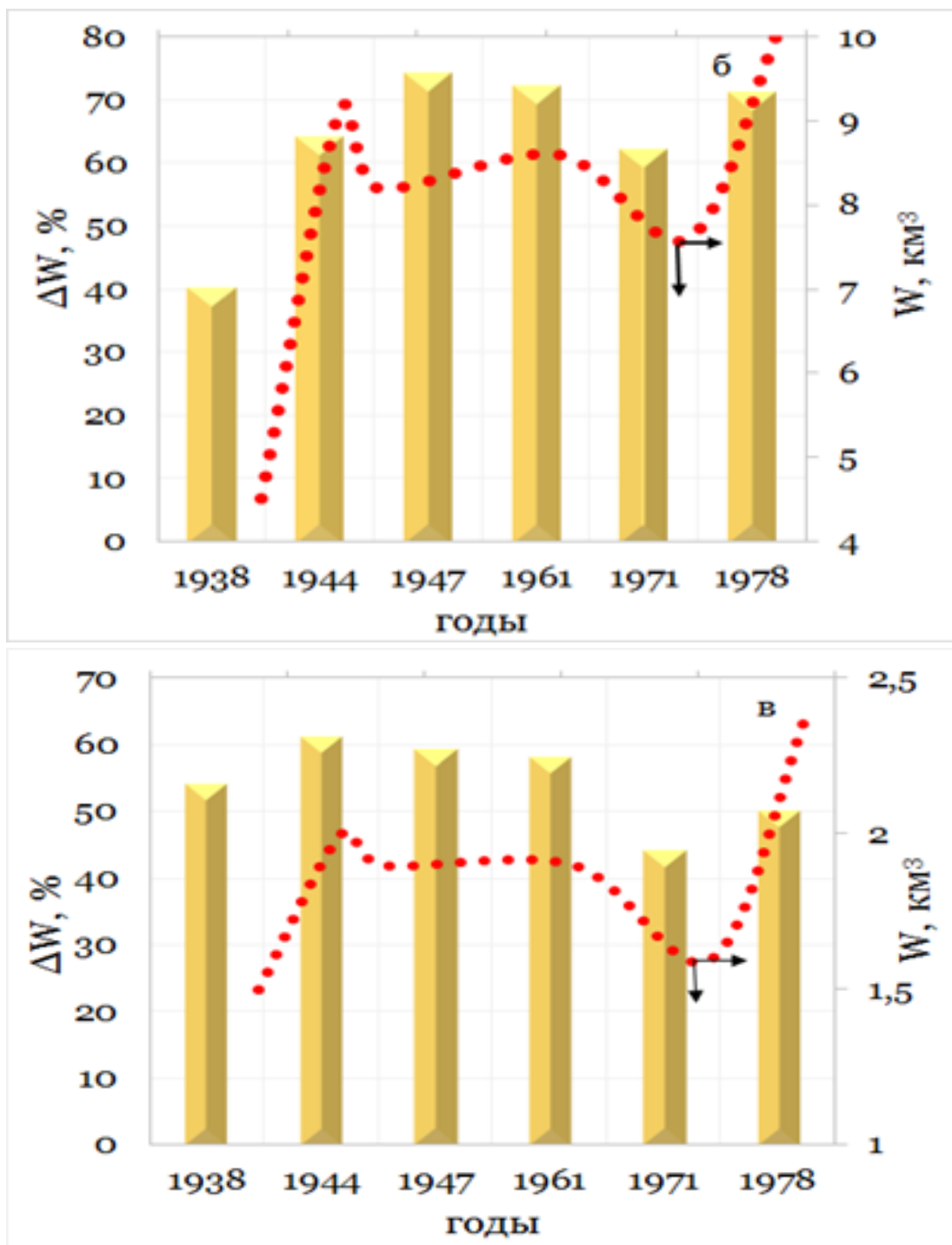


Рисунок 1.4. — Относительный ($\Delta W, \%$) и абсолютный (W, km^3) вклад ледникового питания в общий сток рек Пяндж (а), Вахш (б) и Зеравшан (в) в июне-сентябре в маловодные годы [31]

На рисунке 1.5 представлена динамика изменения площади оледенения в бассейнах рек Гиссаро – Алая и Памира.

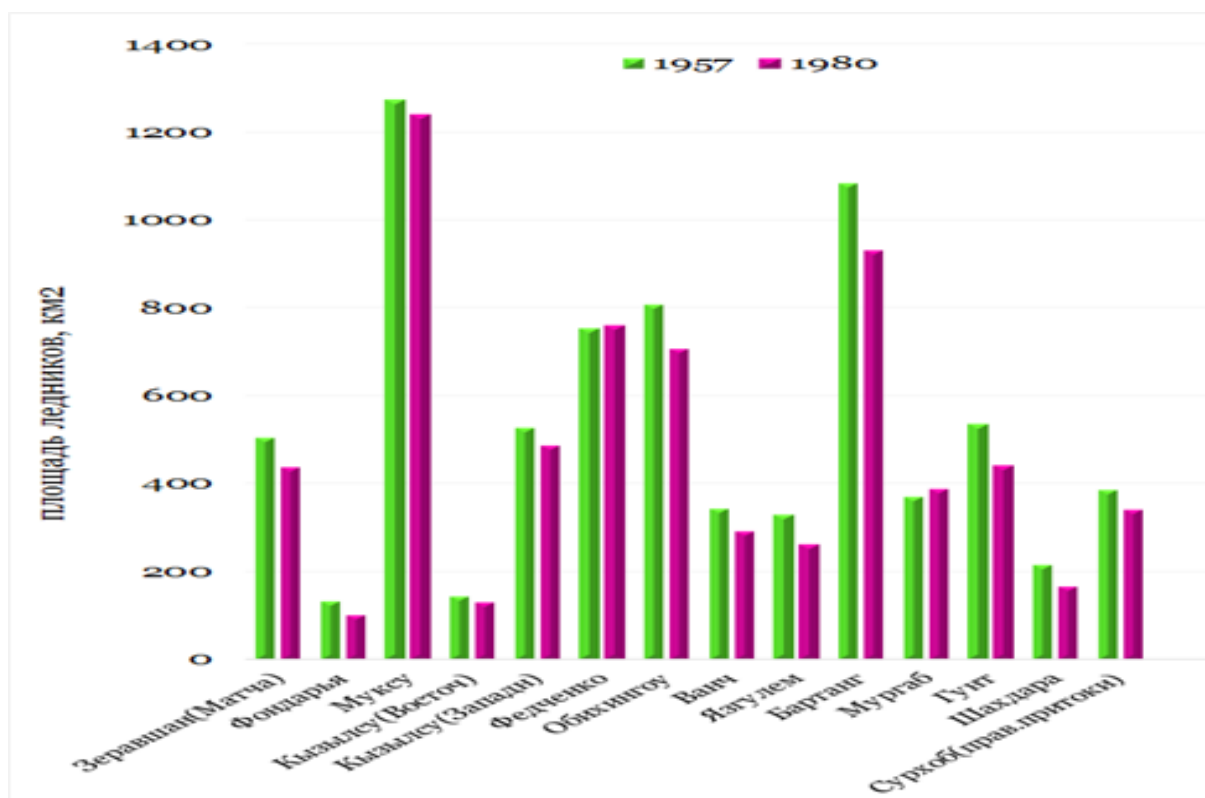


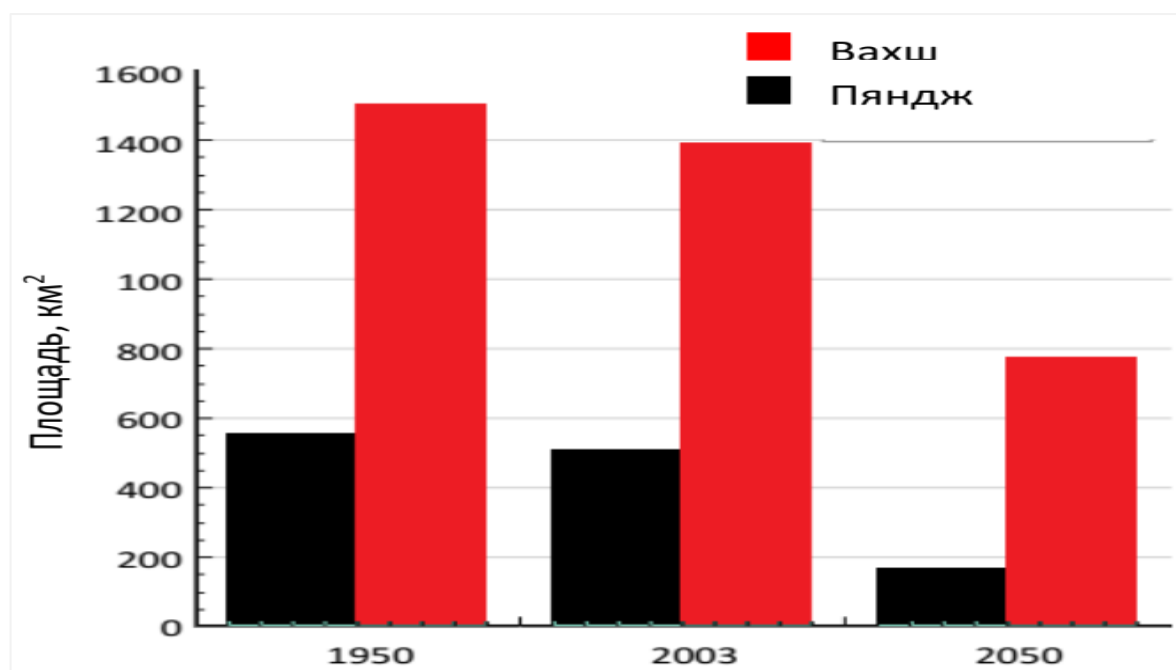
Рисунок 1.5. — Изменение площади оледенения в бассейнах рек Гиссаро-Алая и Памира за период 1957-1980 гг [35]

Оценка изменение площади и объема 67028 ледников высокогорной Азии общей площадью 122969 км² обозначенных в Реестре ледников Рэндольфа 2.0 с использованием региональной климатической модели RegCM 3.0 с разрешением 25 км с учетом прогноза изменения температуры и количества осадков, обусловленные сценарием IPCC A1B показали, что общая потеря площади ледников в высокогорной Азии в 2050 году составит 22% (в настроенной модели) или 35% (без настройки) относительно 2000 года и прогнозу общая площадь и объем ледников будут уменьшаться со среднегодовыми темпами на 0,65–0,70% и 0,41–0,52% соответственно. Результаты показывают, что из 67 028 ледников 24% будут стационарными или наступающими, а 76% отступят в период 2000–2050 гг (таблица 1.14) [83].

Таблица 1.14. — Оценка состояния ледника и изменения объема и площади ледника с 2000 по 2050 год с использованием параметров масштабирования объем–площадь [83]

	Кол-во ледников	Отступ. ледников к 2050 г (%)	Общий объем к 2050 г (км ³)	Скорость сокращения объема (%·г ⁻¹)	Общая площадь к 2050 г (км ²)	Скорость уменьшения площади (%·г ⁻¹)
Гиссаро-Алай	251	100	17	- 1.9	203	- 1.85
Памир	4521	62	2078	- 0.43	10101	- 0.58

К 2050 году в бассейнах реки Вахш и Пяндж происходит увеличение температуры от 1,29 до 1,65°C (МГЭИК). Согласно прогнозам работы [84] ожидается повышение температуры около 2 °С по сравнению с периодом 1960-1990 гг. и с учетом этой величины увеличения температуры в [85] предполагается сокращения объема ледников в бассейнах рек Пяндж и Вахш на 75,5% и 53% соответственно (рисунок 1.6).



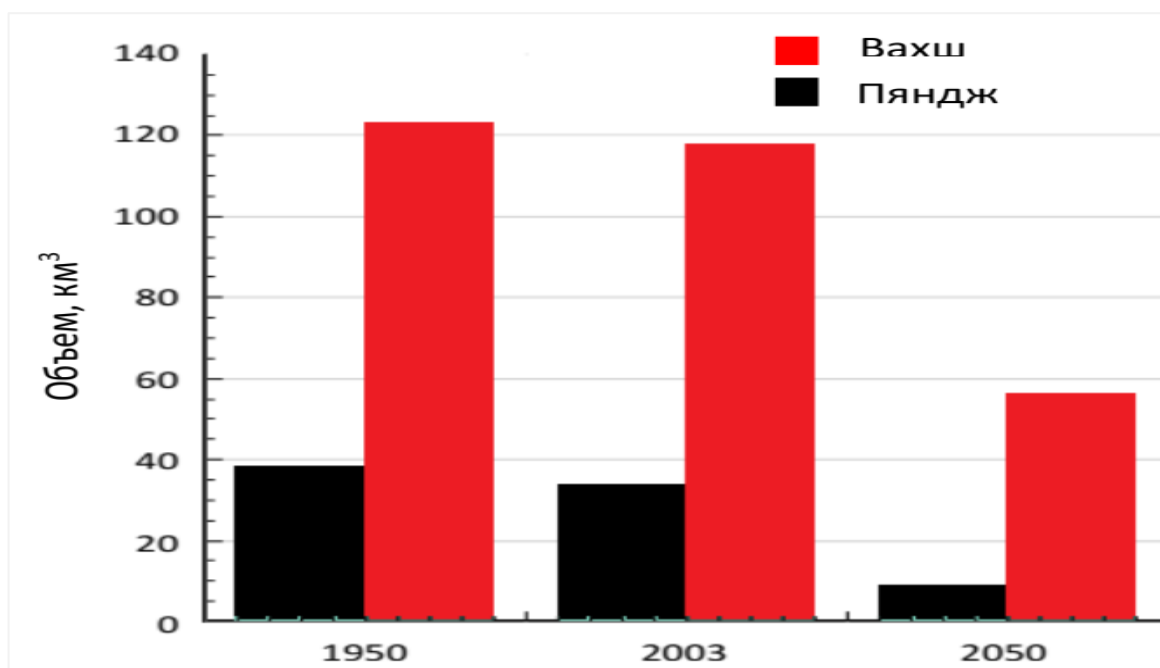


Рисунок 1.6. — Расчетные значения площади оледенения и объем ледников в соответствующие годы в бассейнах рек Пяндж и Вахш [85]

1.5. Метеорологические особенности бассейна реки Пяндж и гидрологические характеристики основных притоков реки Пяндж

В плане развития отраслей экономики, в особенности гидроэнергетики и сельского хозяйства, Республики Таджикистан и региона Центральной Азии в целом высокогорье Памира как источник водообеспечения крупной трансграничной реки региона Амударьи имеет жизненно важное значение [86].

Как источник водоснабжения более 60 населенных пунктов, сосредоточенных по всей длине реки включая административный город Хорог и производства электроэнергии на двух гидроэлектростанциях река Гунт – приток реки Пяндж имеет важное значение в пополнение водного баланса бассейна реки Амударья [87].

Наблюдаемое ныне существенные изменения метеорологических условий, гидрологии, смещение периодов максимальных осадков в более холодные сезоны года и изменение цикла и частоты половодья и межени в бассейнах высокогорных рек обусловлены прежде всего изменением климата.

Успех прогнозирования степени долгосрочного водообеспечения рек и функционирования действующих и запланированных к строительству

гидротехнических сооружений, обеспечения высокой их эффективности во многом определяется той базой многолетних гидрометеорологических данных, которая формируется в результате многолетних, систематических и последовательных наблюдений.

Ныне в условиях изменения климата мониторинг корреляционных зависимостей стока рек от метеорологических параметров водосборов рек позволяет выявить природу и происхождения воздушных масс ответственных за обеспечения бассейна реки атмосферными осадками и оценить место орографии в распределения воздушных масс. [86,88-90]. Многочисленными исследованиями установлено отсутствия определенной закономерности между высотой формируемой снежного покрова от высоты местности [91].

Наблюдаемое достаточная глубина снежного покрова летом на востоке Горно-Бадахшанской Автономной Области связано с приносимой воздушной массой из Индийского океана влагой. Было показано [92], что Высокие значения изотопов водорода и кислорода далеко на западе бассейна реки Гунт свидетельствуют, что бассейн данной реки обеспечивается влагой западными воздушными массами из Средиземноморья и Каспия [92].

Горные водоразделы являются основными источниками водоснабжения населений, проживающих ниже по течению рек [93,94]. Величина и время стока из горных водосборных бассейнов, как правило, очень чувствительны к изменениям климата [95-102].

Превращение Памира в зону смены различных воздушных масс существенно отразится на механизмы формирования гидрологии рек, например, Гунта и Ванча [103].

Отличительная особенность Памира по сравнению других горных систем заключается в том, что в стоках рек с истоком на Памире доминируют таяния снегов и ледников [104-108].

Проявление многообразия климатических условий Средней Азии проявляла интерес многих исследователей к их систематизации и

нахождению критерий взаимного перехода в зависимости от орографии местности и географических особенностей их расположения [109,110].

При этом во всех сценариях климатического районирования Памир рассматривался географическая единица перехода средиземноморского к центральноазиатскому ходу осадков. Для последнего суждения оказался достаточным факт выпадения летних осадков на Восточном Памире, и отсутствие таковых на Западном Памире. С тех пор представление о принципиальных различиях между климатическими ритмами Восточного и Западного Памира прочно вошло в литературу [111].

Ныне вызывает особую обеспокоенность стран бассейна Аральского моря результаты прогноза МГЭИК об увеличении температуры на 3,7 °С к концу столетия [112] влияющего на запасы снега планеты [113-115].

Река Пяндж является правым притоком реки Амударья и берет свое начало в Памирской горной системе – самом высокогорном регионе Центральной Азии с горными вершинами, достигающими 6000 метров. Аллювиальный конус выноса Хамадони, с высотными отметками от 400 до 550 м, радиусом на территории Таджикистана 25 км и площадью около 470 км², был сформирован речными наносами, транспортированными водотоками этого бассейна.

Вклад реки Пяндж в общий региональный объем водных ресурсов около 20% и вся водосборная площадь реки находится в зоне формирования стока. Основное использование водных ресурсов начинается уже после слияния рек Пяндж и Вахш и образования реки Амударья.

Основными притоками реки Пяндж являются реки: Шахдара (3748903N 71.58356E), Гунт (38.87092N 69.99751E), Бартанг (37.93236N 71.59297E), Язгулем (38.15266N 71.33961E) и Ванч (38.30353N 71.33006E), гидрологические характеристики и схема расположения которых представлены соответственно в таблице 1.15 и на рисунке 1.7.

Таблица 1.15. — Гидрологические характеристики некоторых Рек Памира [116]

Река	площадь водосбора (км ²)	длина реки (км)	ср. годовой расход (м ³ /сек)	средний падение (м/км)	высота истока (м)	высота устья (м.н.у.м)
Ванч	2070	103	49,4	-	3317	1995
Шахдара	4180	178	38	17,4	4640	2060
Гунт	9620	296	68	8,7	4680	2060
Язгулем	1940	80	39	21	3300	1930
Бартанг	24700	528	129	3,6	2553	1975

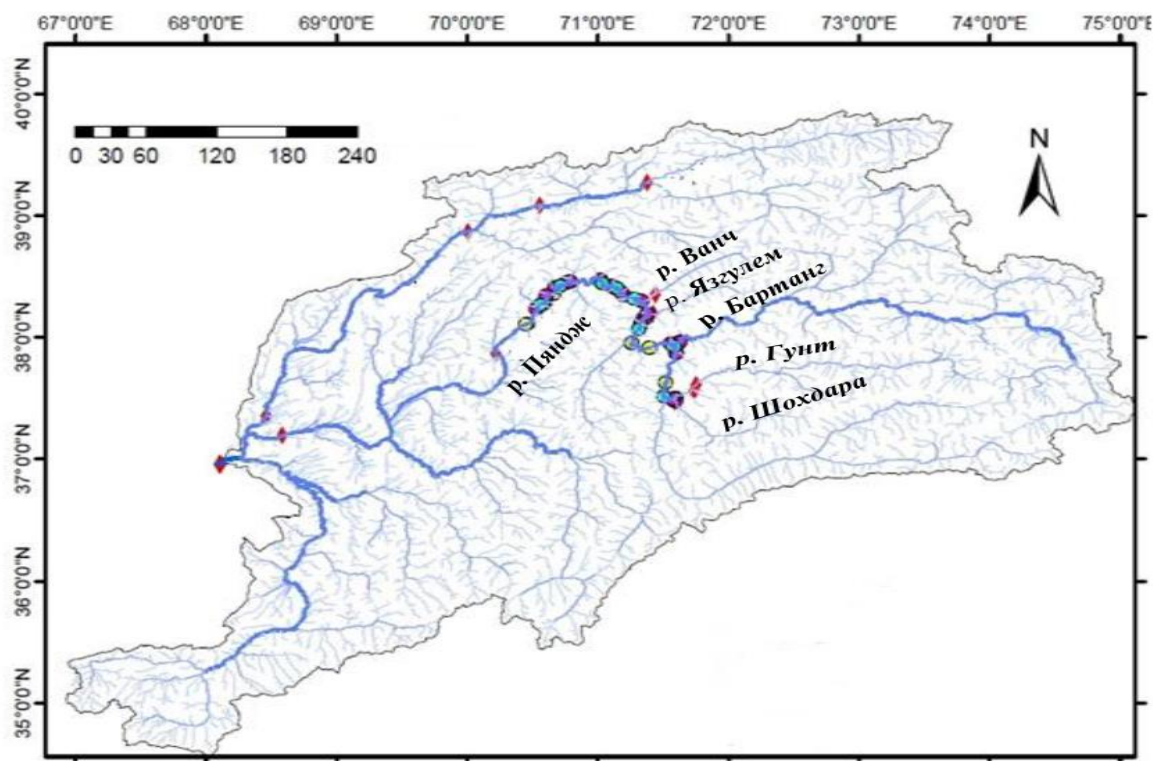


Рисунок 1.7. — Схема расположения основных притоков трансграничной реки Пяндж

Река с развитой площадью оледенения, плотной речной системой с примыканием большого количества притоков (~ 40) длиной каждой более 10 км с площадью бассейна 4130 км² является Шахдара в формировании стока которой вклад таяния снегов, ледников и грунтовых вод составляют 39%, 20% и 41% соответственно [116]. Река Шахдара является крупным притоком реки Гунт.

Река Язгулем начинается от слияния Рек Мазардара и Ракзоу, первая считается основным источником. Мазардара вытекает из загромождённого мореной языка ледника Язгулемского (второе назв. Мазардара) площадью около 25.7 км². Вторая составляющая Язгулема – Ракзоу вытекает из ледника Ракзоу с площадью 47.8 км². В бассейне реки Ракзоу более 73 ледника с общей площадью 144,6 км².

Отличительной особенностью реки Язгулем является существенный вклад подземных вод (36%) бассейна в формировании ее стока при доли талых вод ледников и снегов соответственно 52% и 29% [116].

Среднеземноморские и Каспийские циклоны занимают доминирующее место в формировании метеорологических условий бассейна реки Гунт, хотя бассейн считается транзитным в продвижении ряда воздушных масс [117].

Слияние рек Кашолях и Абдукагор образуют притока реки Пяндж - реку Ванч [118] в формировании стока которой существенный вклад вносят также подземные воды бассейна реки. Ледник Географического общества является считается главным истоком реки, благодаря которой доля ледникового стока реки Ванч достигает 62 % [120].

Наблюдаемое почти постоянное значение расхода воды реки Гунт в маловодье и зимой связано с озером Яшилькуль, который сглаживает среднегодовое значение стока реки [119]. На Восточном Памире максимальное значение глубины снега наблюдается марту месяцу [121].

ГЛАВА II. КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СТОКА РЕКИ ЗЕРАВШАН ОТ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ БАССЕЙНА РЕКИ

Изменение климата является непосредственной причиной расстройств природной цикла развития почти всех компонентов экосистемы и тем самым нарушения экологического равновесия между составляющими окружающей среды компонентов [64, 69, 122, 123].

В настоящее время усилия мирового сообщества направлены на сдерживание динамики потепления. По имеющимся прогнозам, уровень совокупных выбросов парниковых газов может достигать в 2030 году 55 Гт, в то время как, по подсчетам экспертов ООН, эта максимальная отметка должна составить не более 40 Гт.

Нейтрализацию катаклизмов климата можно достичь освобождением от зависимости из ископаемых видов топлива и вкладыванием средств в альтернативные источники энергии, которые являются чистыми, доступными, недорогими, устойчивыми и надежными.

Ныне многие экологи и природоохранные специалисты считают гидроэнергетику как средство для существенного ослабления потепления климата. Отрадно, что в настоящее время во всем мире широко распространена сеть гидротехнических сооружений, обеспечивающих планету чистой энергией. Наблюдается стремление многих стран к полному переходу к возобновляемым источникам энергии. Ныне на долю гидроэнергетики в Норвегии приходится около 100% от общего энергетического потенциала (по прогнозам за период 2022-2030 гг мировые гидроэнергетические мощности увеличатся на 17%). Преимущества аккумулирующих гидроэлектростанций прежде всего заключаются в том, что по сравнению с другими видами производства энергии (атомные и др.) оперативно реагирует на малейшие изменения потребляемой энергии.

На рисунке 2.1 приведена схема расположения метеостанций долины Зеравшан, которые широко используются для оценки метеорологических характеристик бассейна реки Зеравшан.

В целом долина Зеравшан подразделяется на климатические зоны, таких как Северо-Западная (СЗ), Центральная (Ц), Юго-Западная (ЮЗ) и Восточная (В). Необходимость такой классификации географических широт долины вызвано прежде всего существенным различием климат зон друг от друга. Например, среднегодовая температура воздуха менее пяти градусов и среднегодовые атмосферные осадки менее 300 мм характерны восточной климатической зоны, то для западной климатической зоны характерны среднегодовая температура воздуха выше пятнадцати градусов и низкое количество осадков (меньше 300 мм).

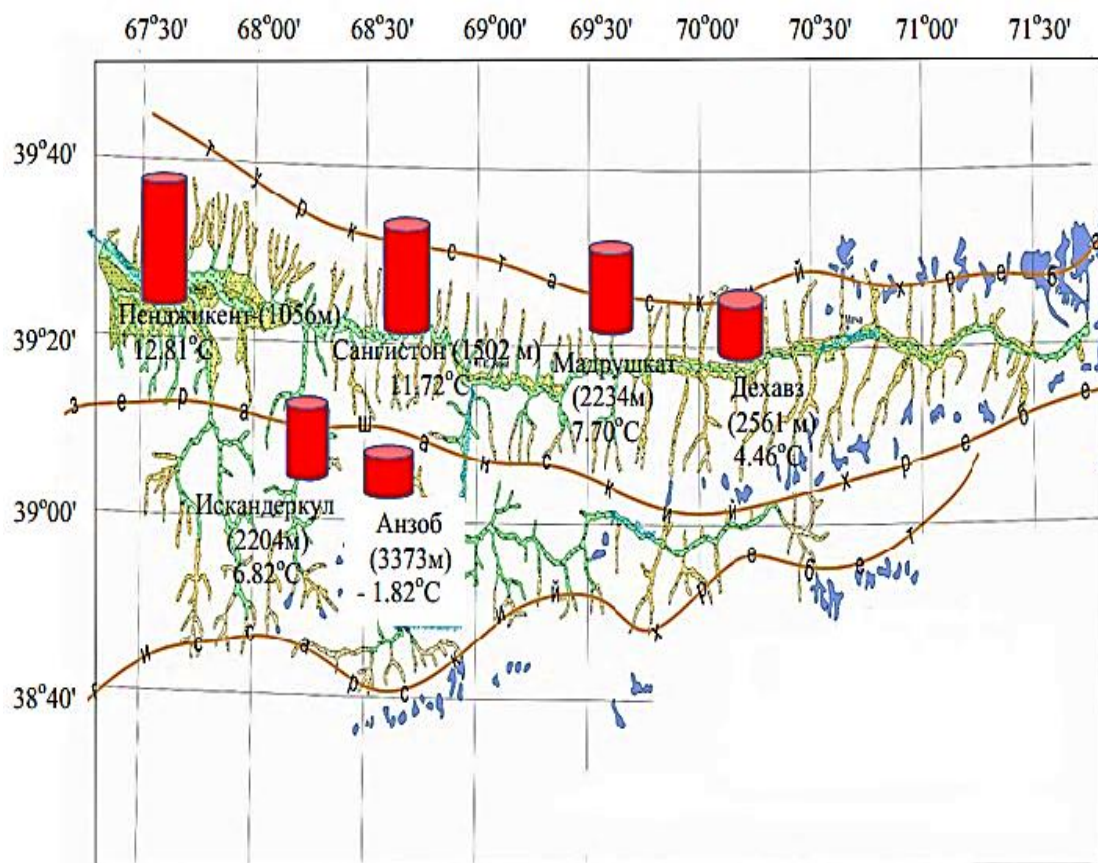


Рисунок 2.1. — Сеть метеорологических станций бассейна реки Зеравшан и среднемноголетние значения температуры в географических частях бассейна реки Зеравшан

Бассейн реки Зеравшан с севера закрыт Туркестанским хребтом, а с юга - Зеравшанским и Гиссарскими хребтами, благодаря которым бассейн сохраняет на более продолжительный период узкий диапазон значений метеорологических параметров.

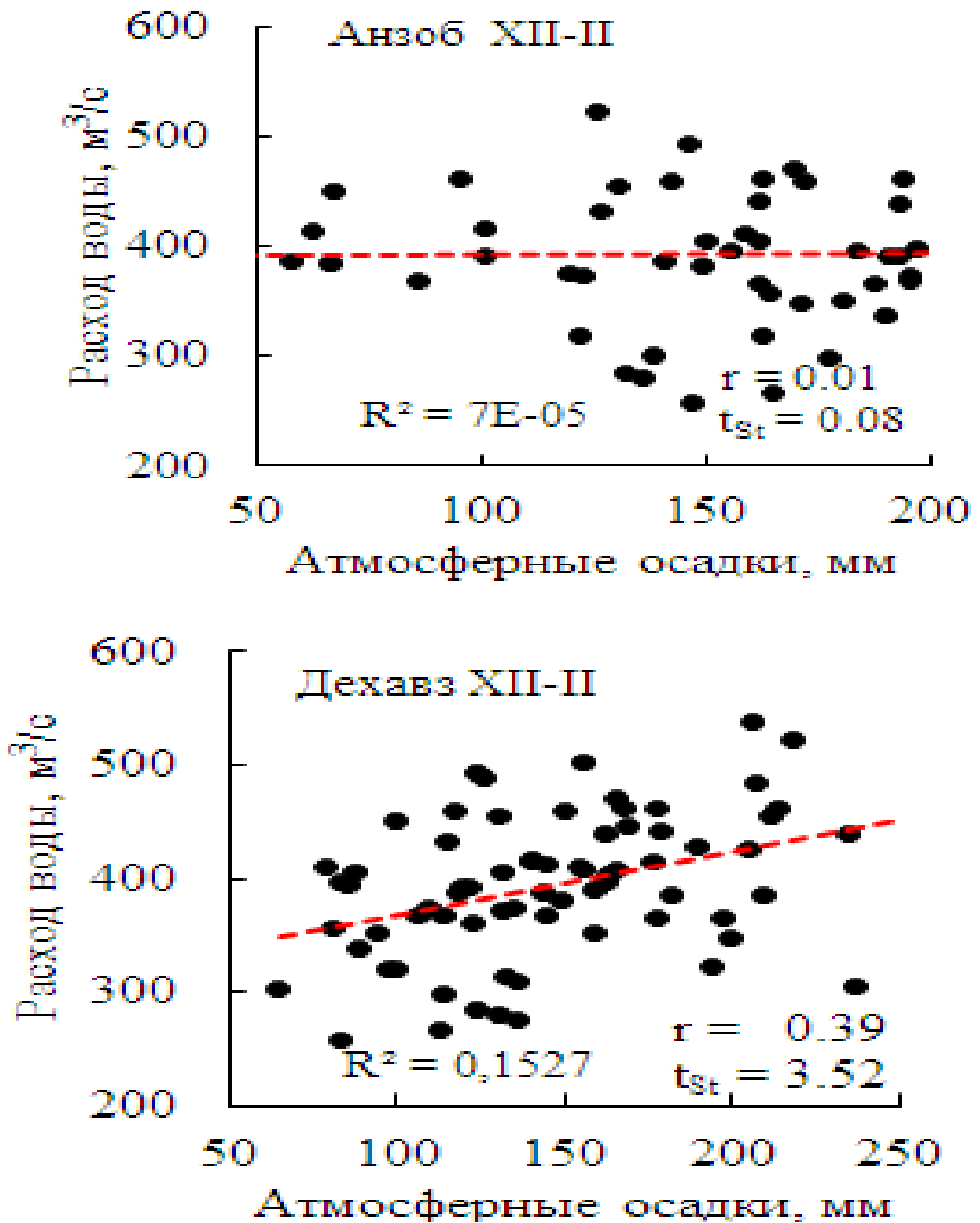
Для мониторинга гидрометеорологических условий долины Зеравшан за период 1940-2020 гг. использовались метеостанции и гидропост Дупули схема и географические расположения которых представлены на рисунке 2.1. Динамика изменения гидрометеорологических характеристик оценивались путем систематизации и обработки гидрометеорологических данных на Excel, использованием корреляций Пирсона, Спирмена, Стьюдента и методов статистических вычислений гистограмм, кумулятивной повторяемости и коэффициентов вариации.

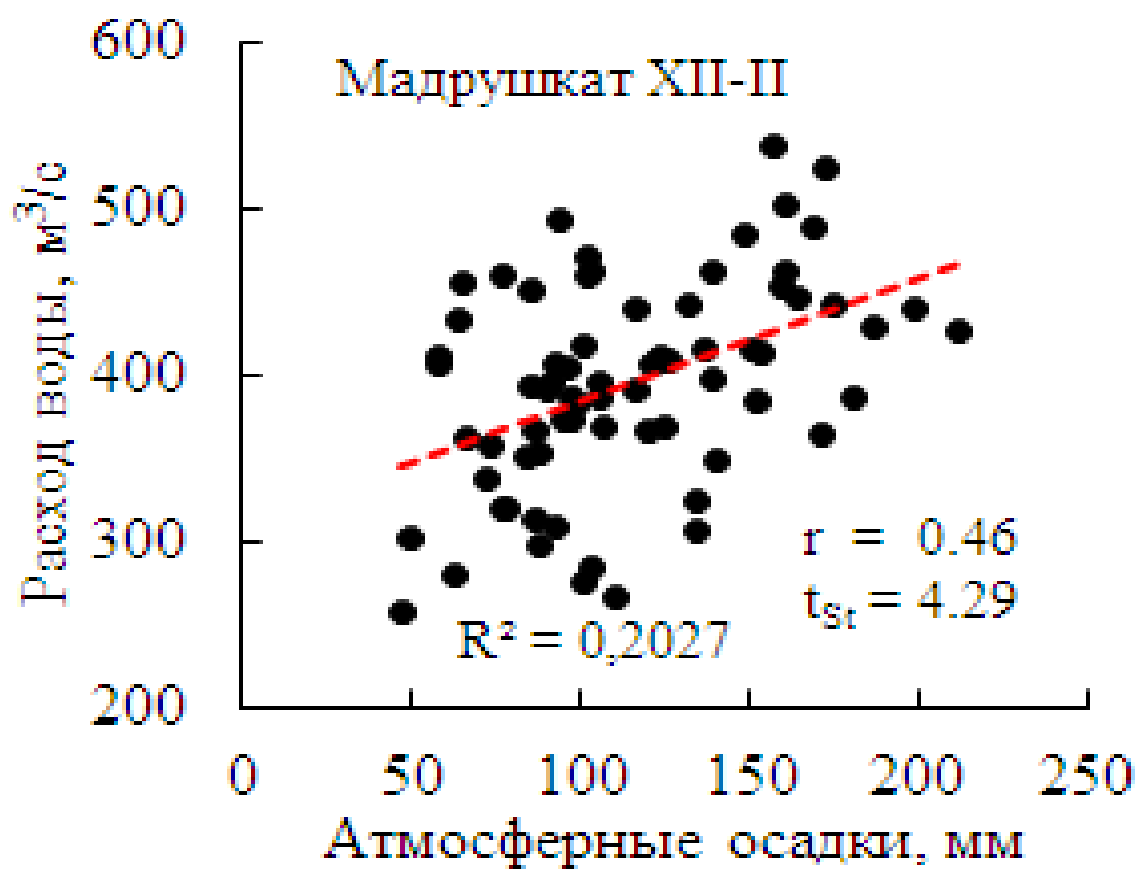
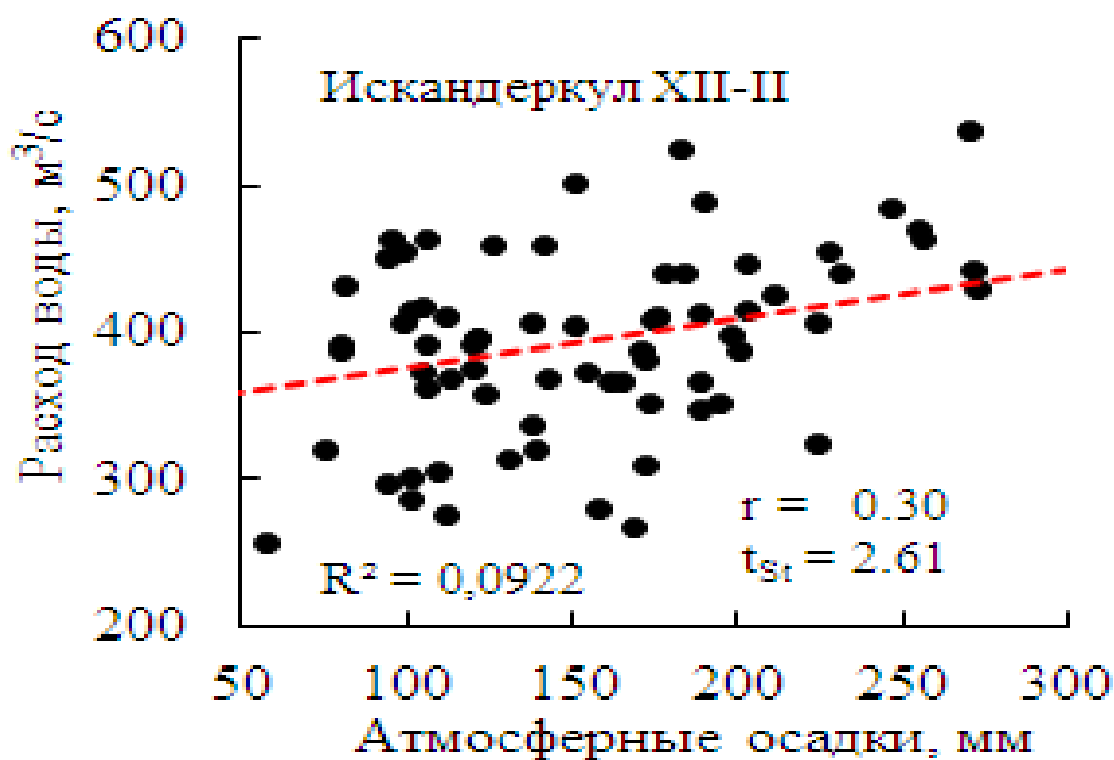
Тренд значений атмосферных осадков в СЗ, центральной, восточной и ЮЗ климатических зонах бассейна реки Зеравшан определялись с использованием данных расположенных в них метеорологических станций Анзоб, Пенджикент, Сангистон, Мадрушкат, Дехавз и Искандеркуль соответственно. Среднегодовое атмосферные осадки по географическим широтам бассейна реки Зеравшан распределяются неравномерно. Высокие значения атмосферных осадков наблюдаются в северо-западной и западной части бассейна, составляющие более 420 мм и восточной части более 300 мм. Центральная часть бассейна реки Зеравшан характеризуется среднегодовым значением атмосферных осадков 220-240 мм.

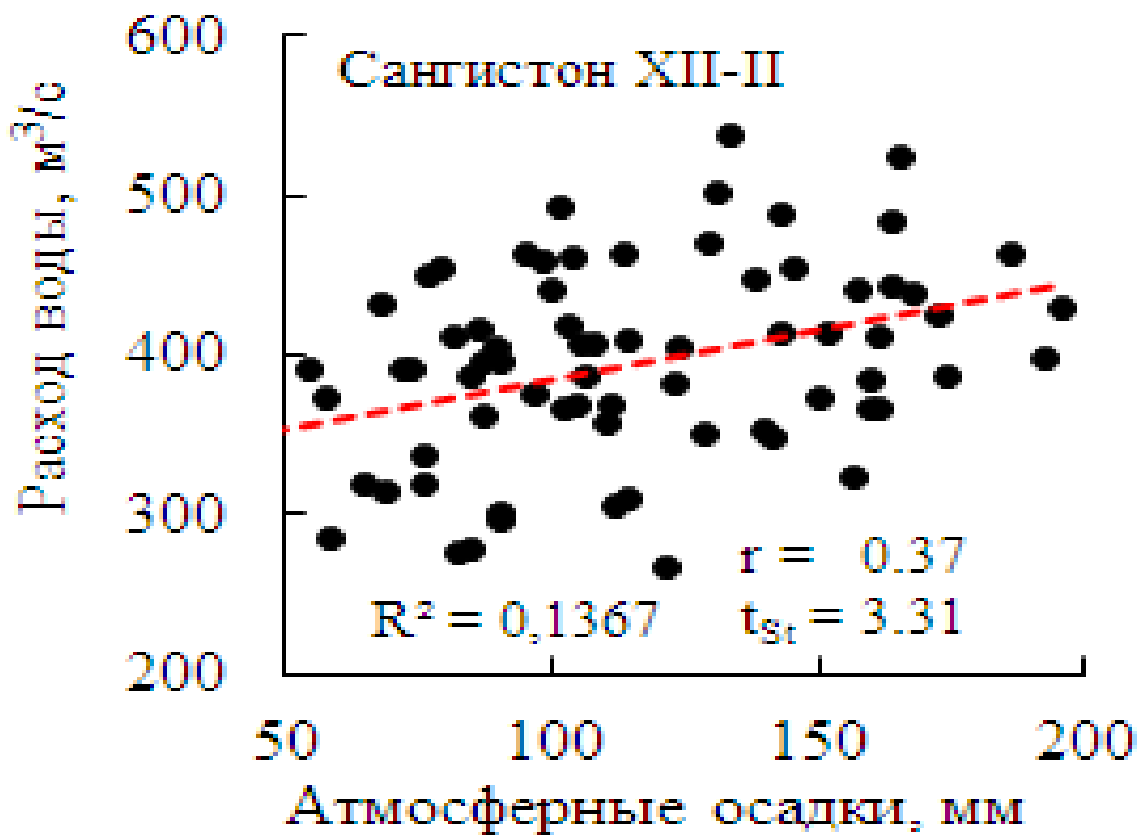
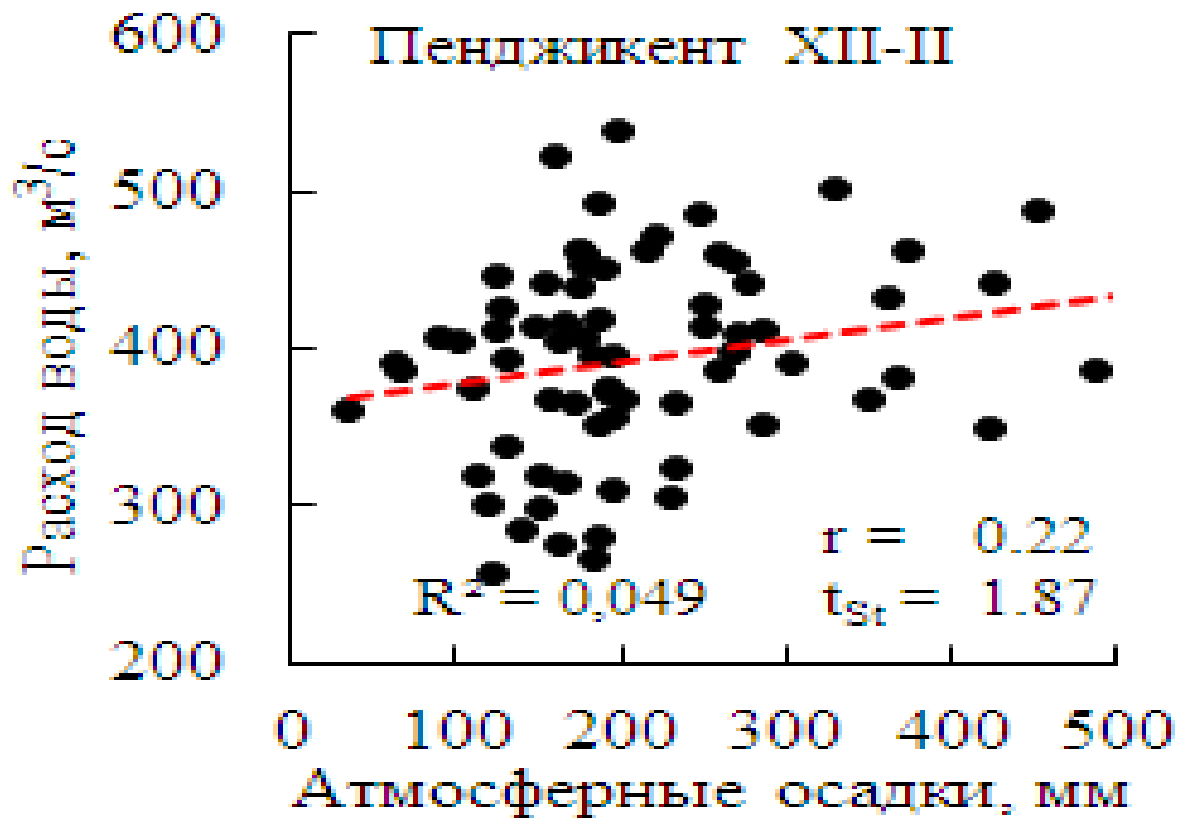
Причиной образования достаточной глубины снега в ЮЗ климатической зоне, характеризуемой более высокими температурами зимой согласно [128] является проникновение в данной климатической зоне холодной воздушной массы со стороны северного Казахстана начиная с декабря по январь месяц. Можно предположить, что перемещение более теплой Средиземноморской и холодной казахстанских воздушных масс становится следствием образования достаточного слоя снега.

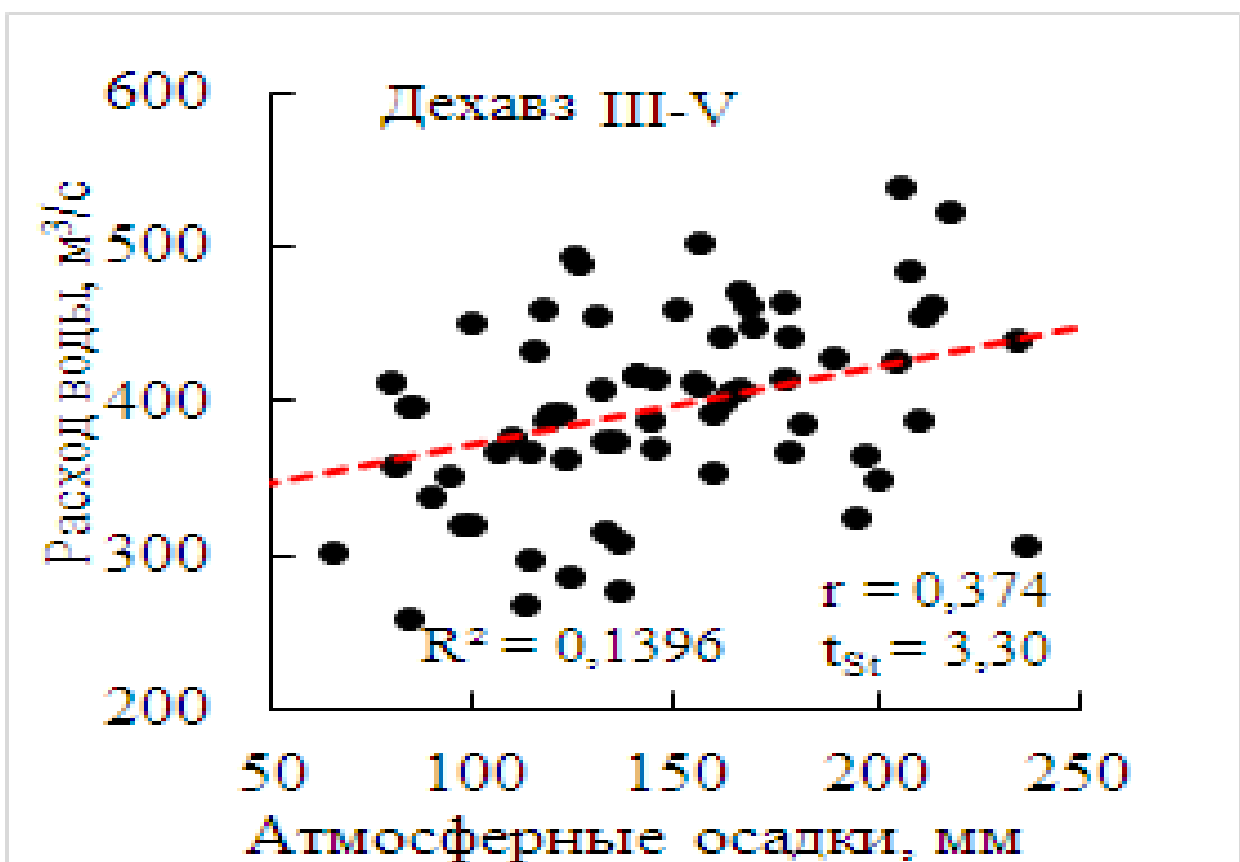
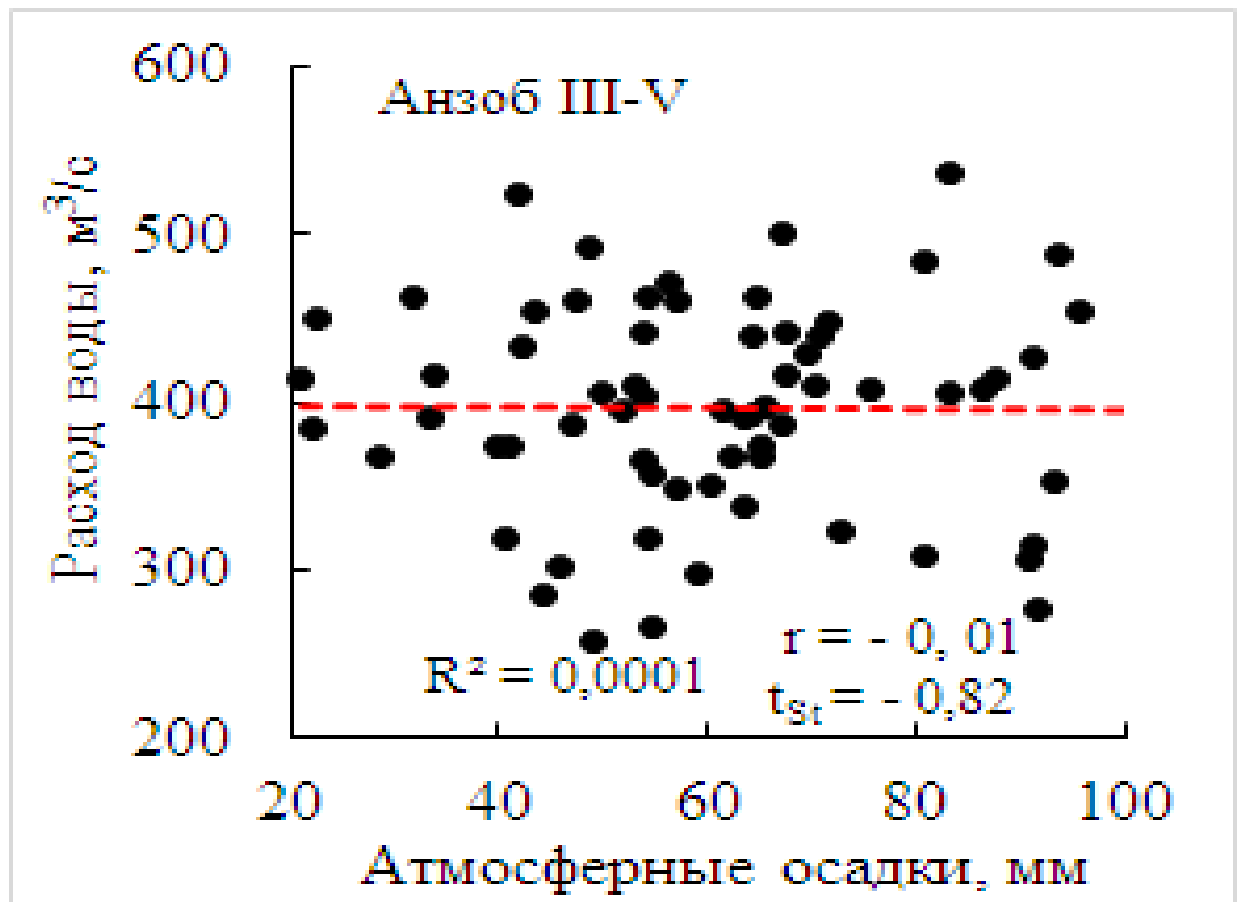
2.1. Оценка вклада зимних и весенних осадков в формирование расхода воды реки Зеравшан

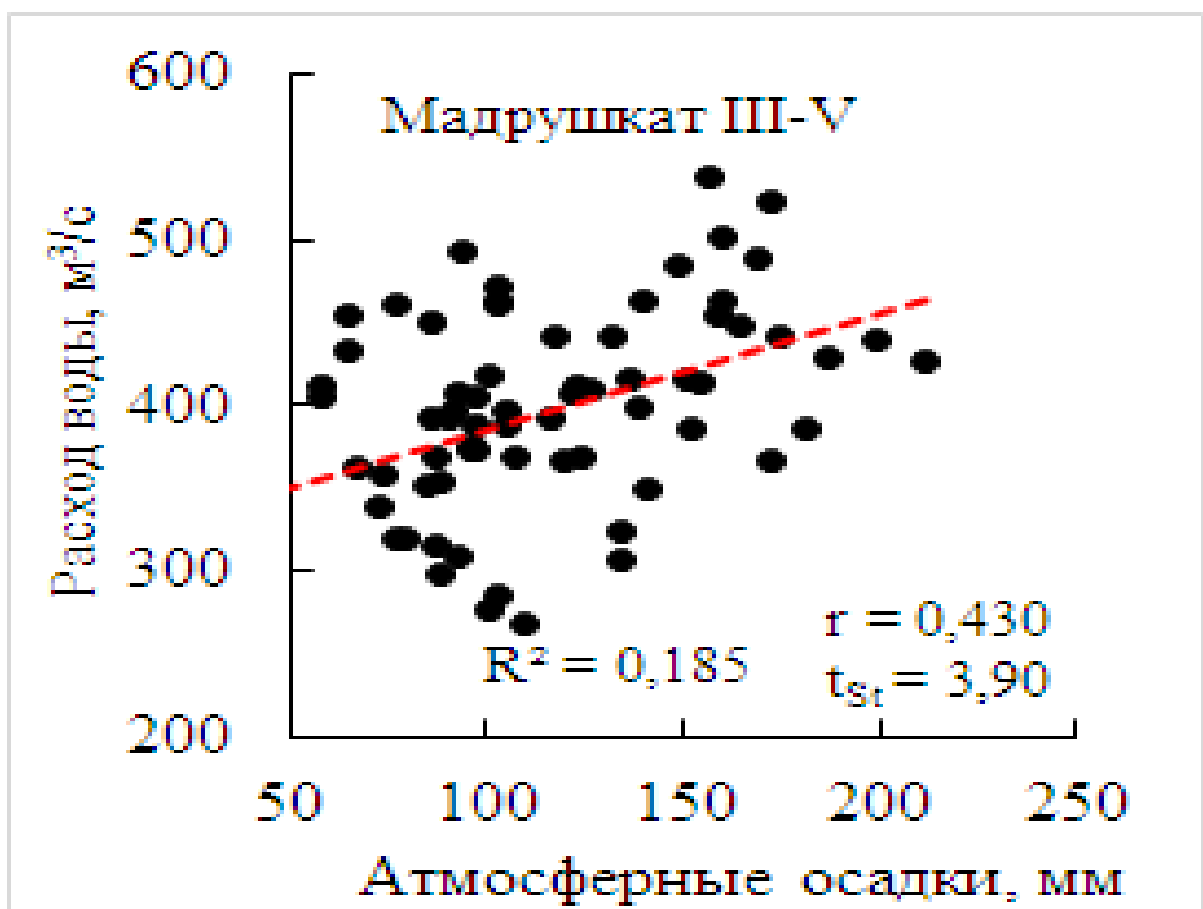
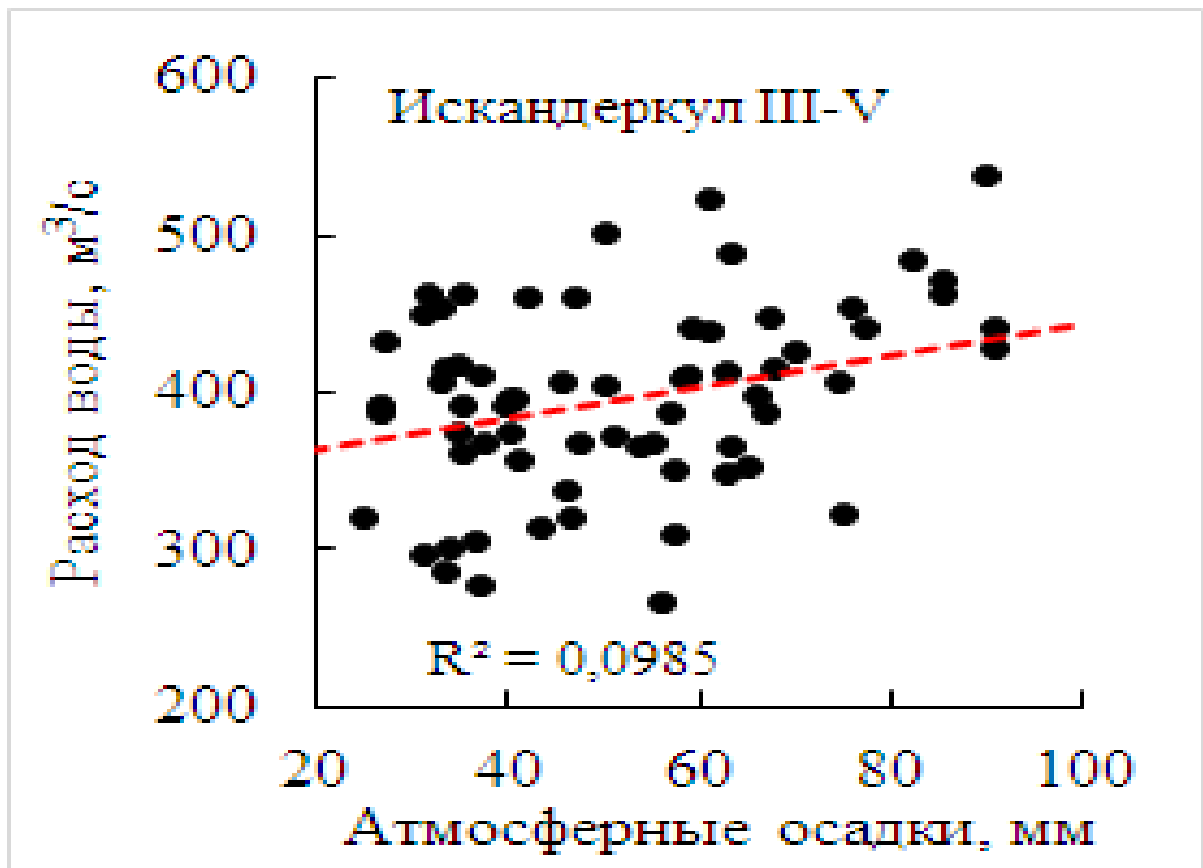
Результаты корреляции сезонных значений атмосферных осадков климатических зон бассейна со стоком реки Зеравшан представлены на рисунке 2.2.











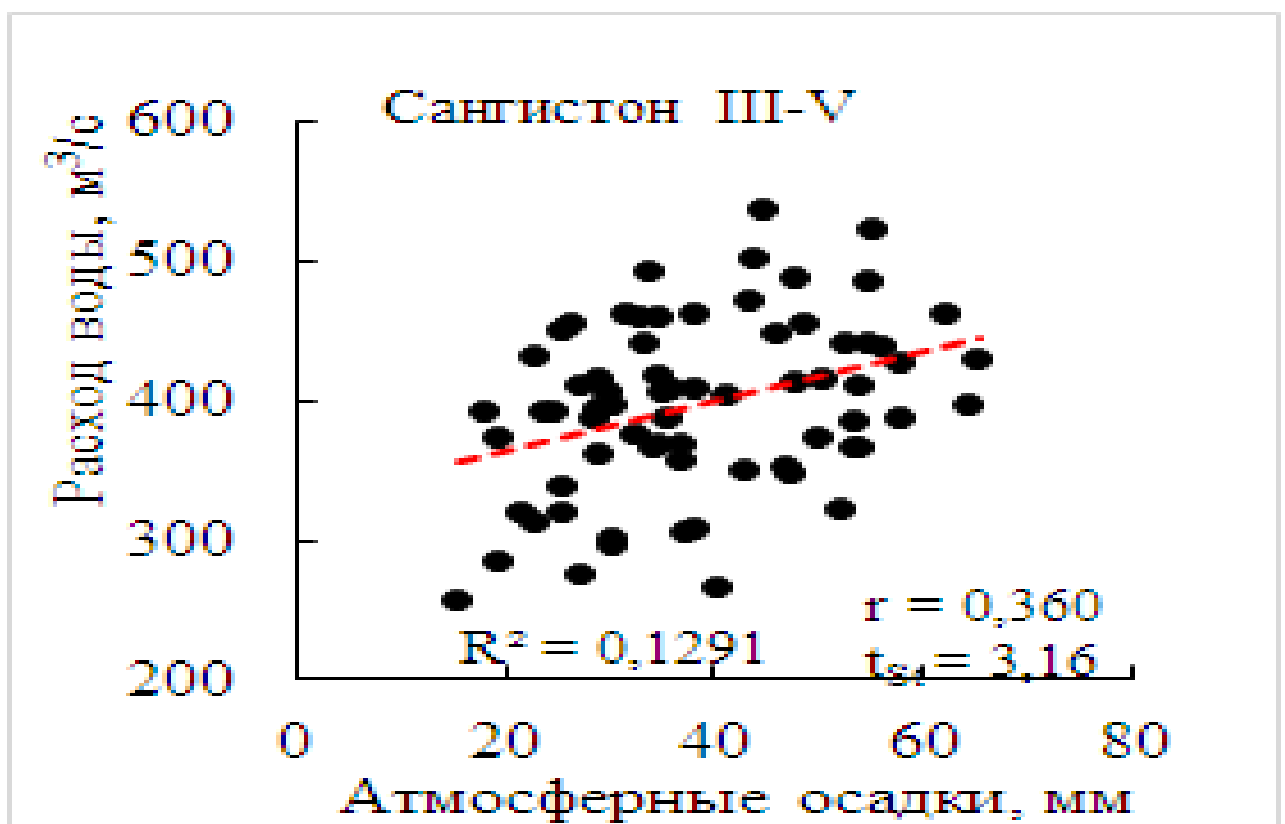
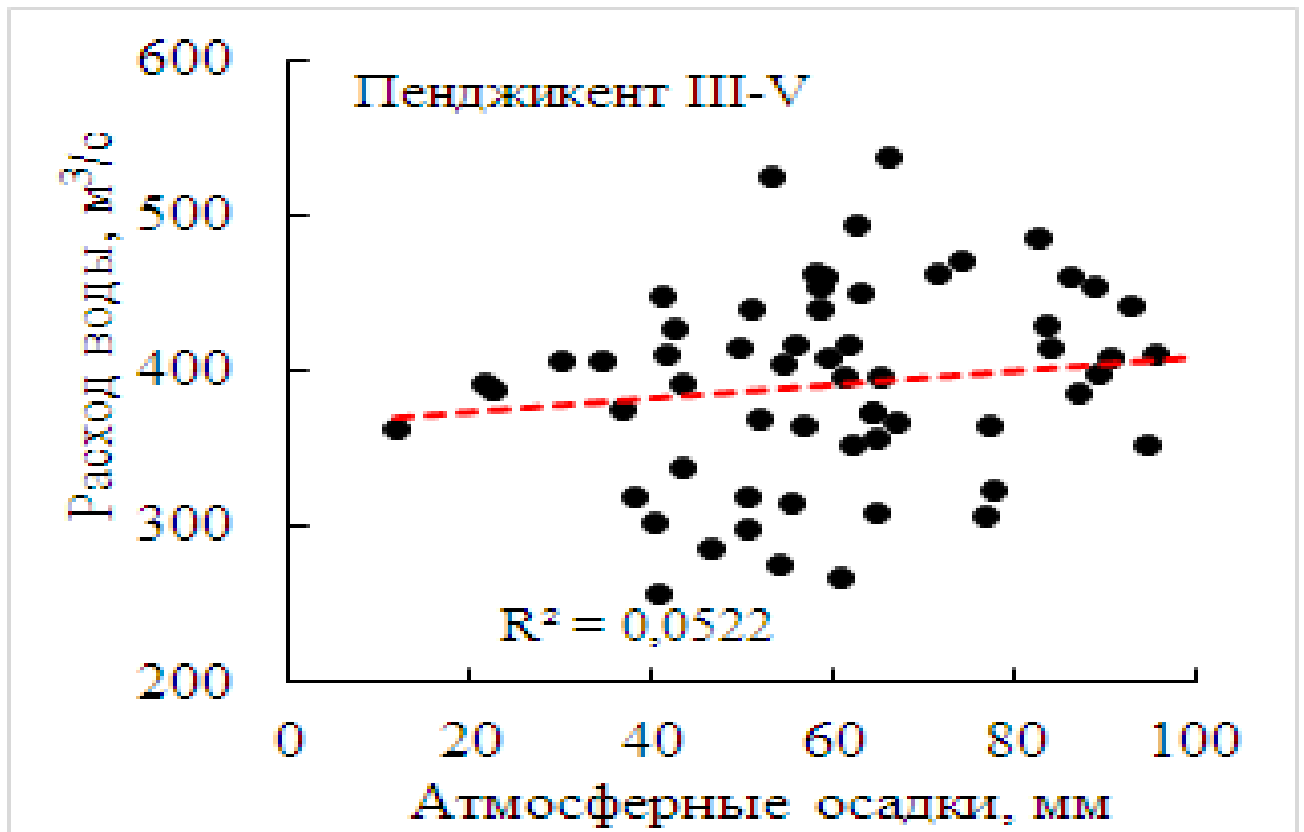
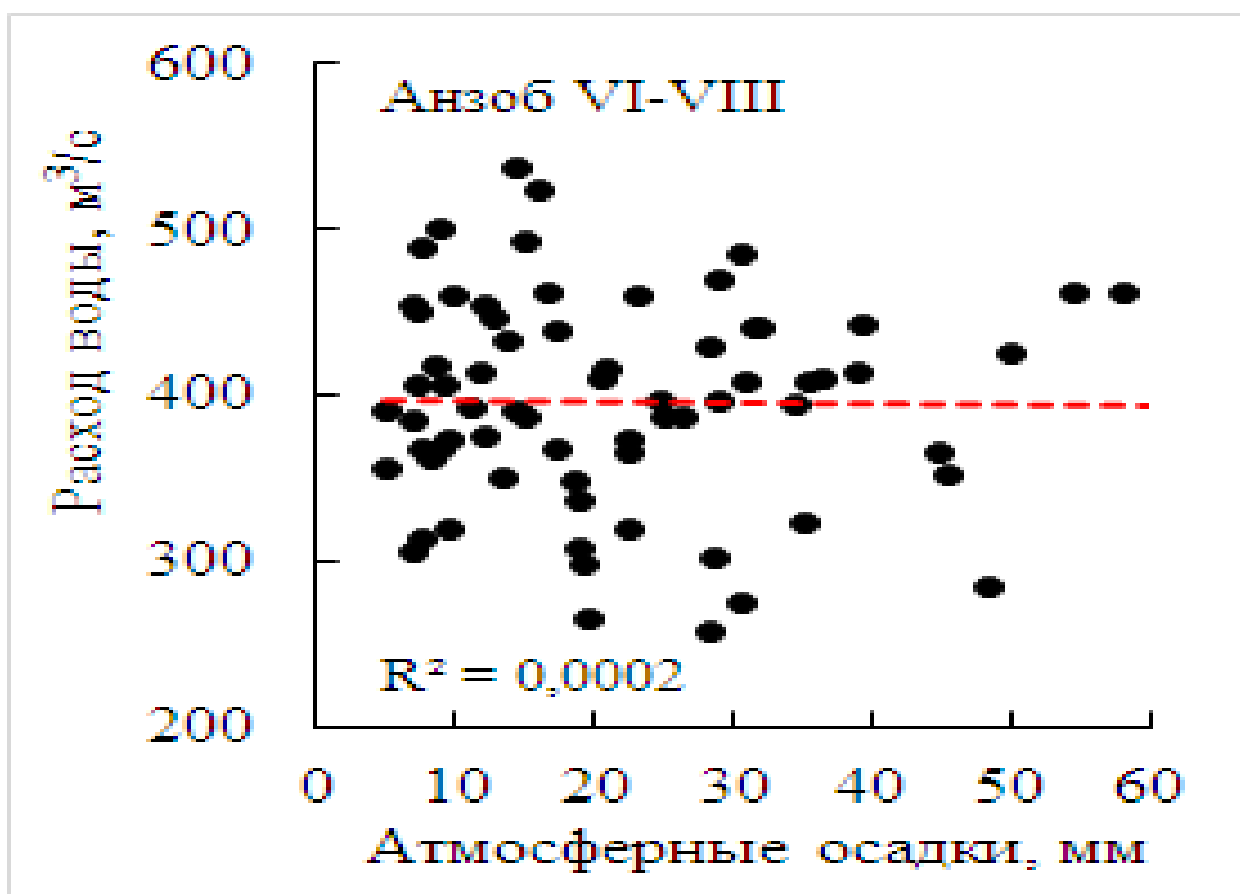
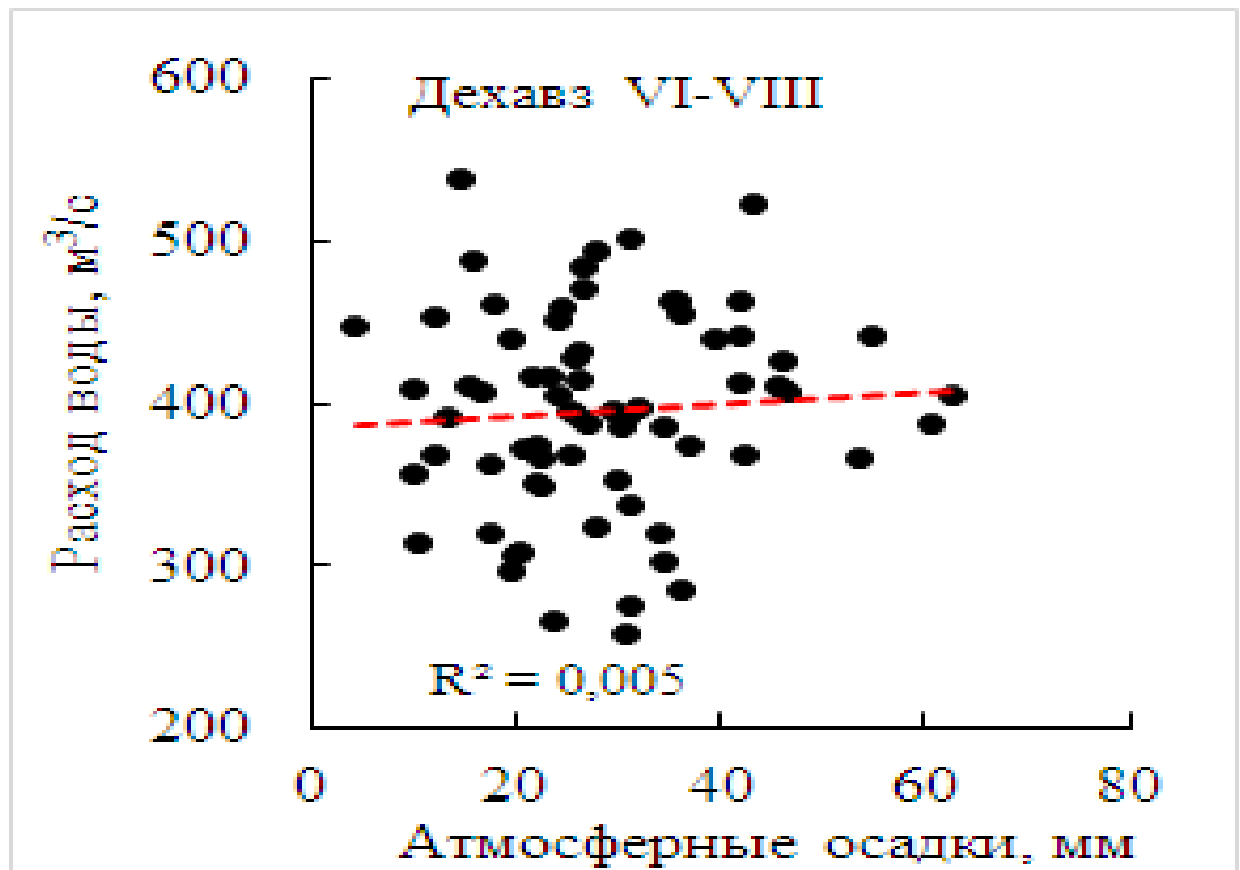


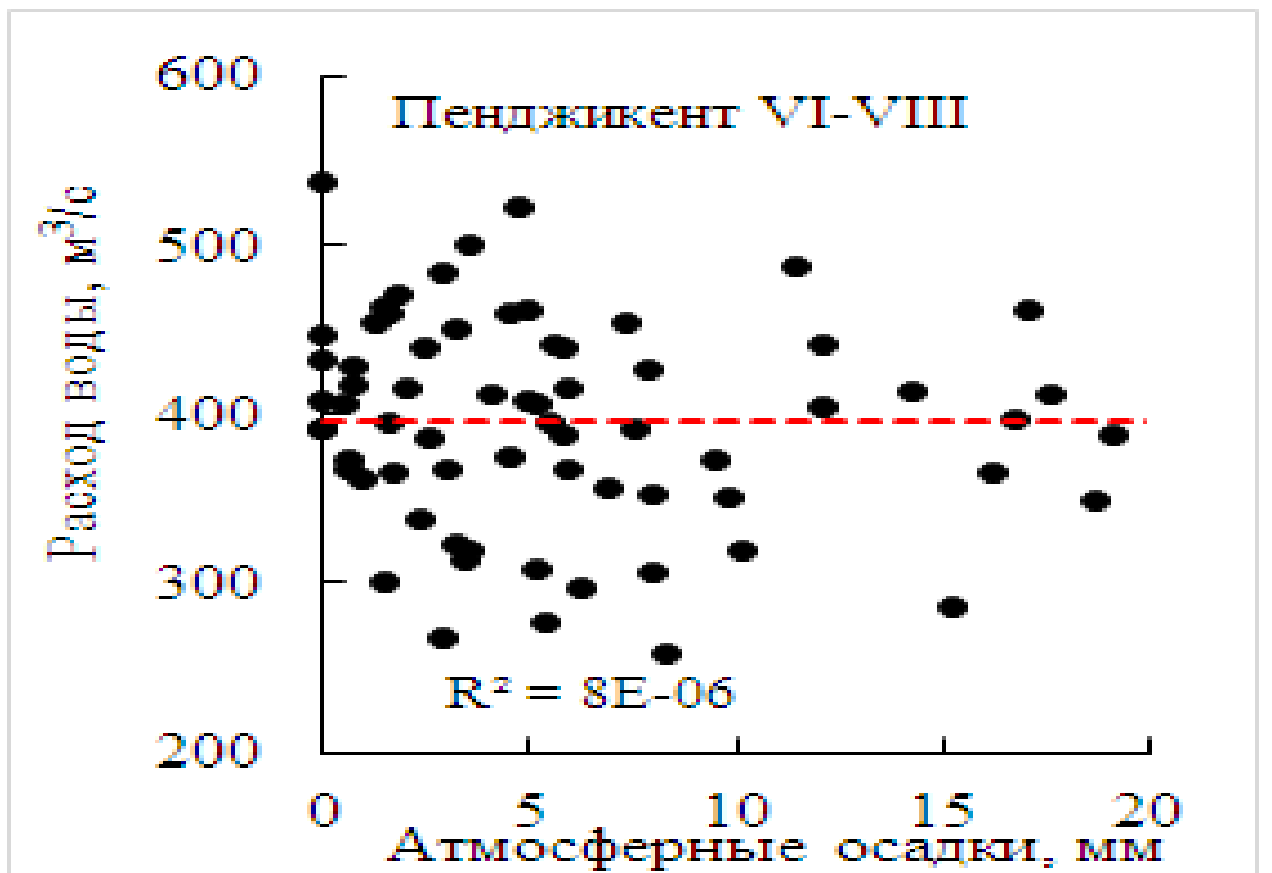
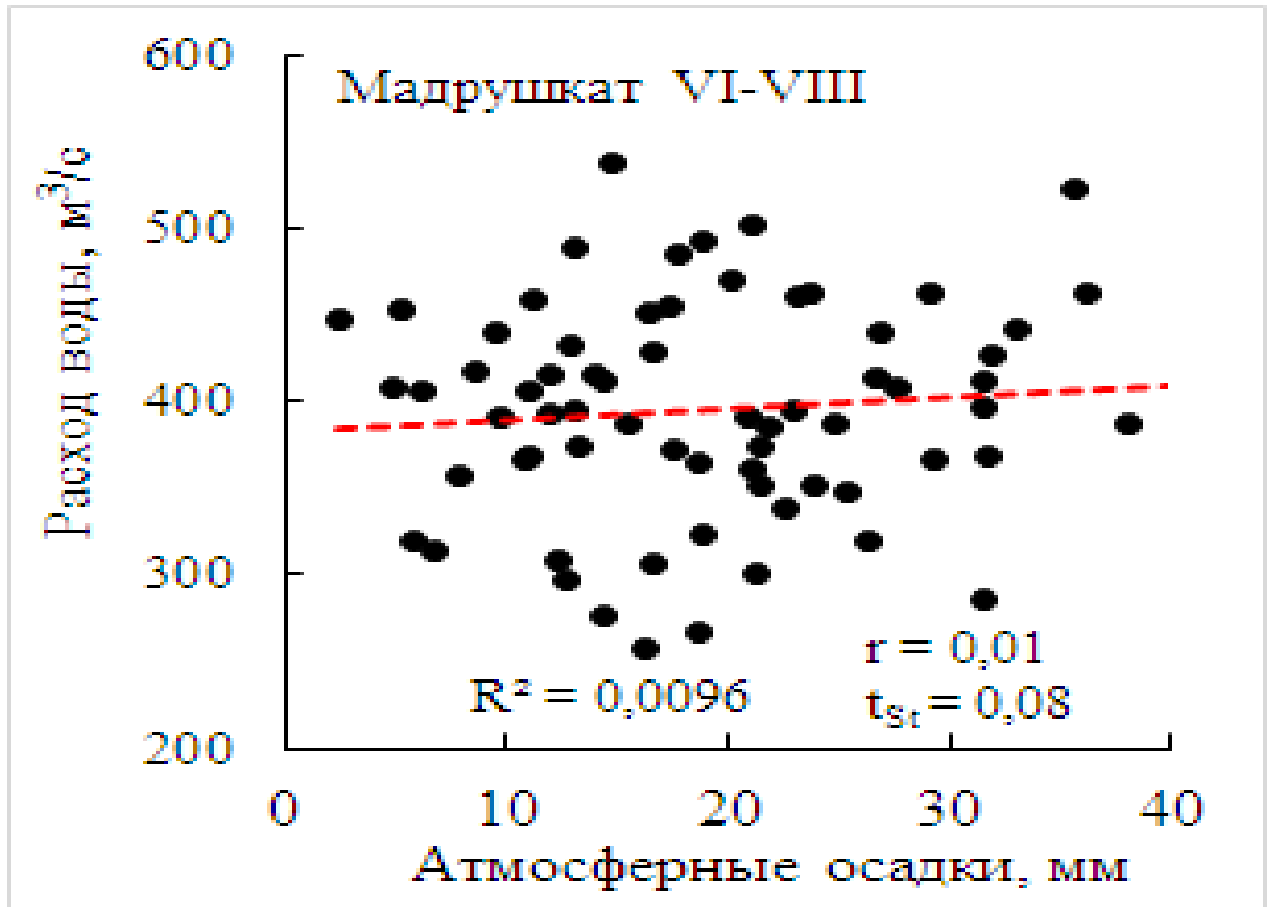
Рисунок 2.2. — Корреляция расхода воды реки Зеравшан с количеством зимних и весенних осадков

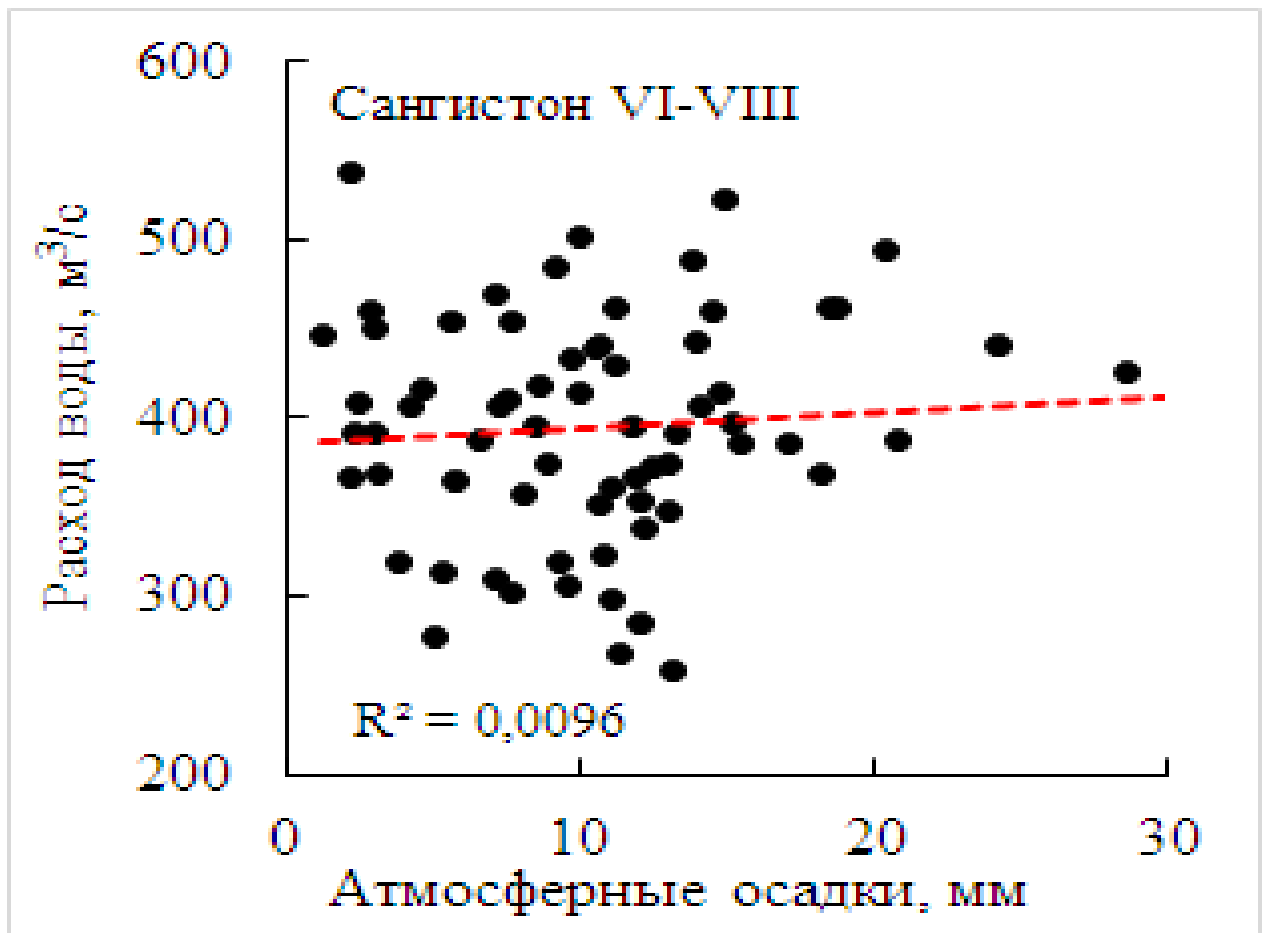
Взаимосвязь расхода воды реки Зеравшан и атмосферных осадков зимнего (XII-II) и весенних (III-V) сезонов, характеризуется наличием тесной связи (рисунок 2.2). Так как, при оценке корреляционных зависимостей принимался в расчет расход воды реки Зеравшан в летний сезон за вычетом весенних и осенних составляющих (период дождей), то можно считать, что в формирование летнего стока основной вклад вносит таяние снегов и ледников верховья реки Зеравшан и ее притоков.

2.2. Взаимная корреляция расхода воды реки Зеравшан и осенне-летними осадками по данным метеорологических станций бассейна реки

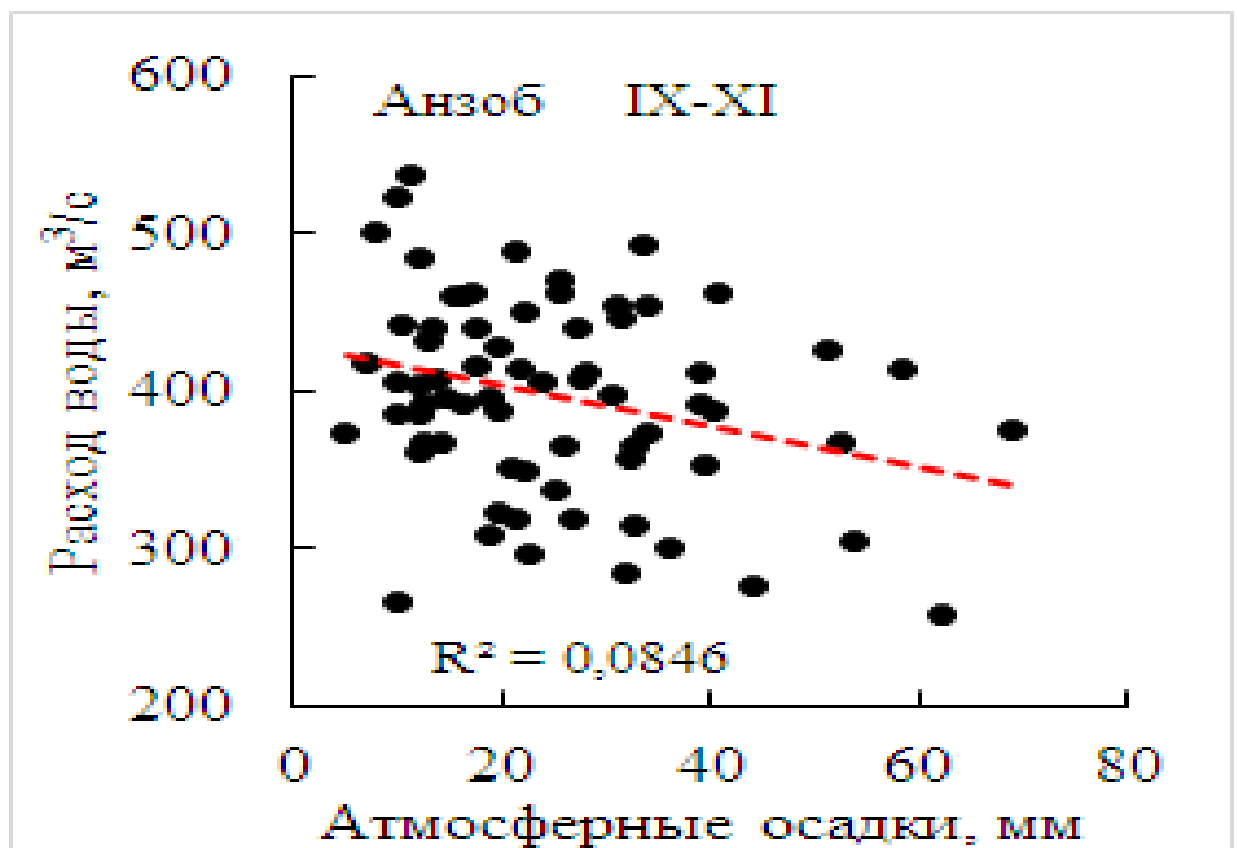


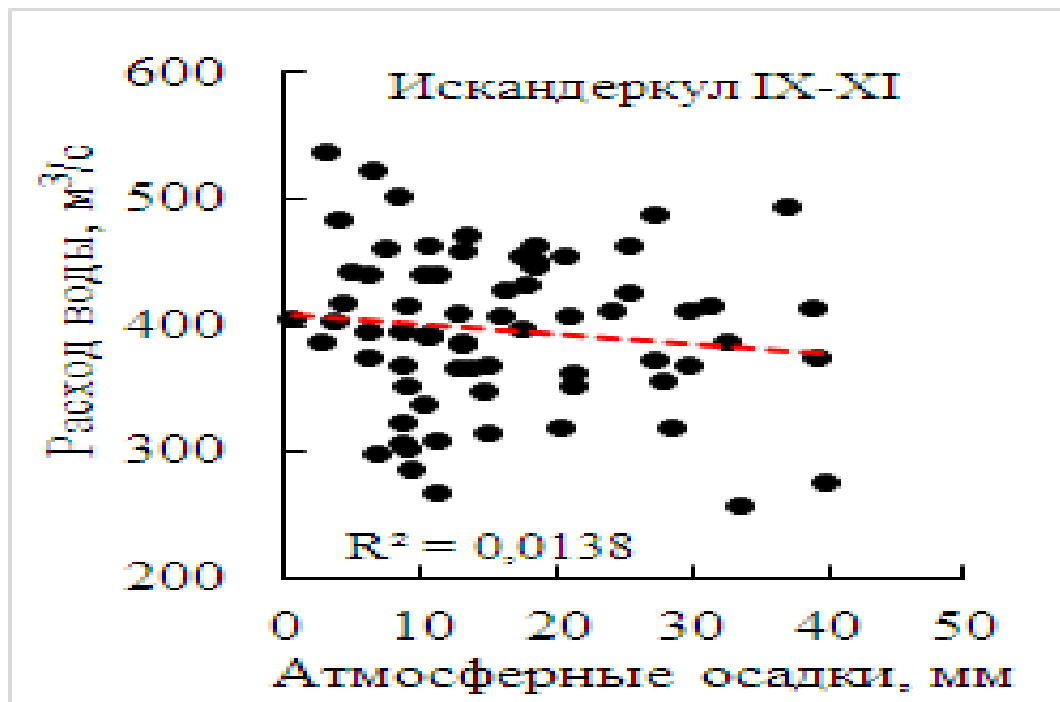
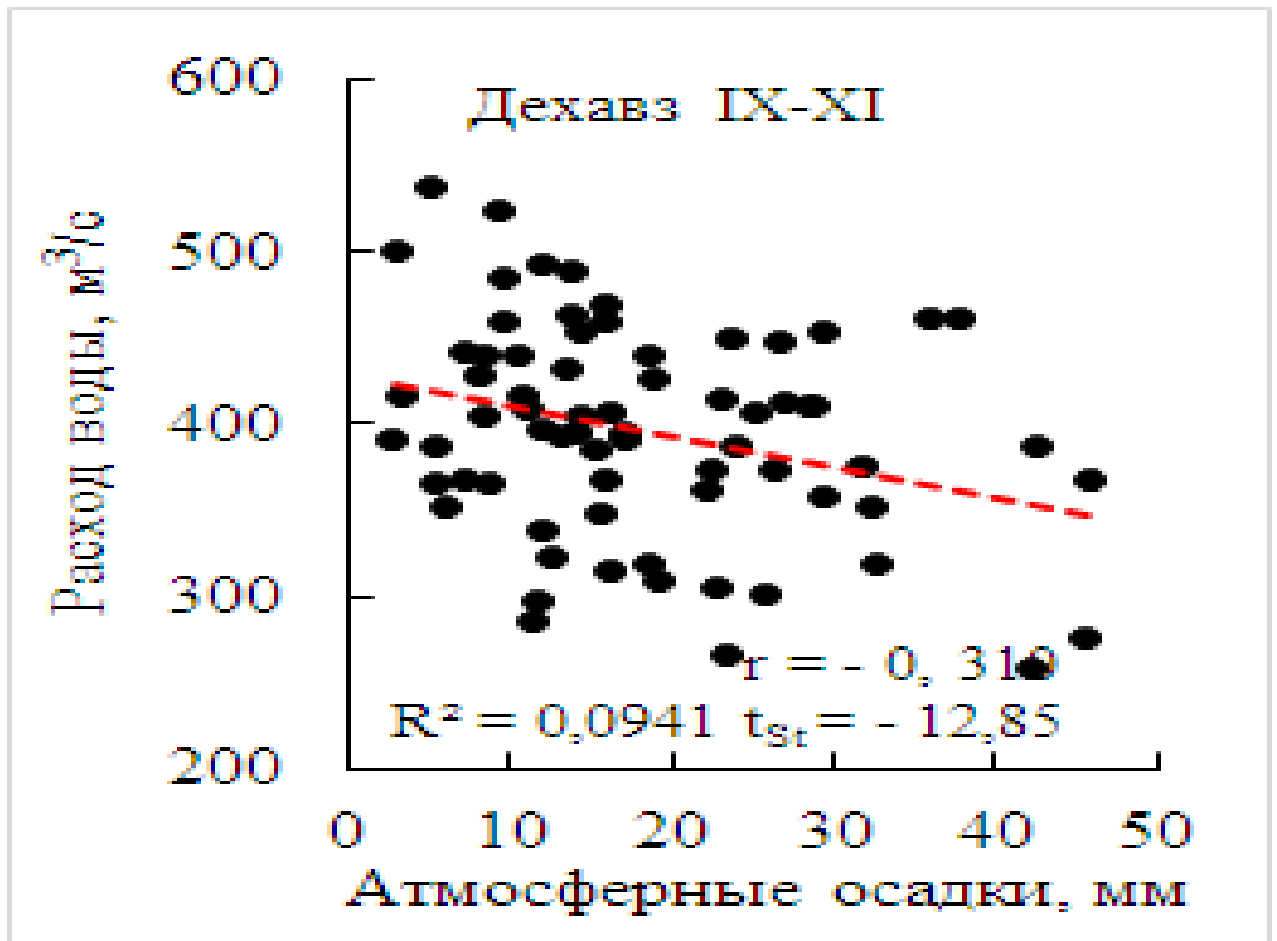


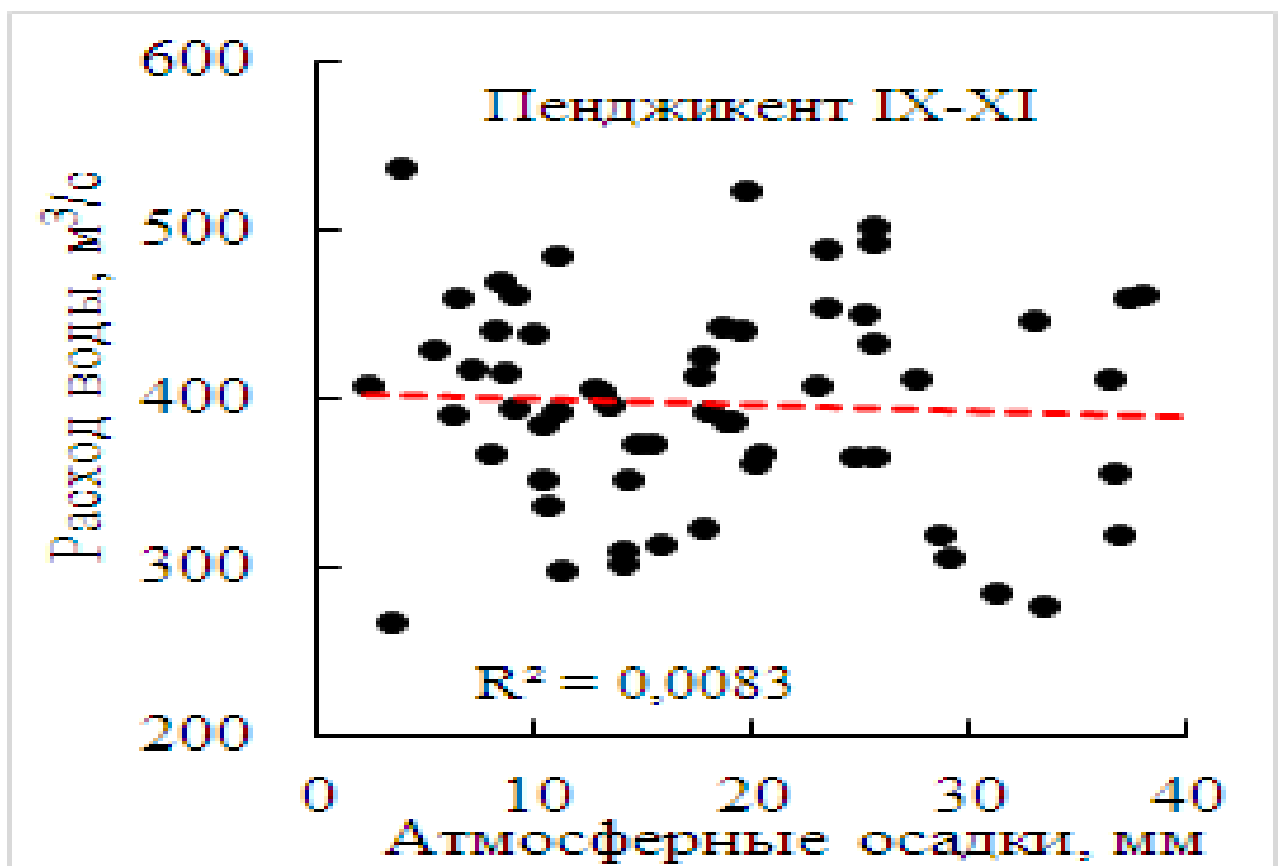
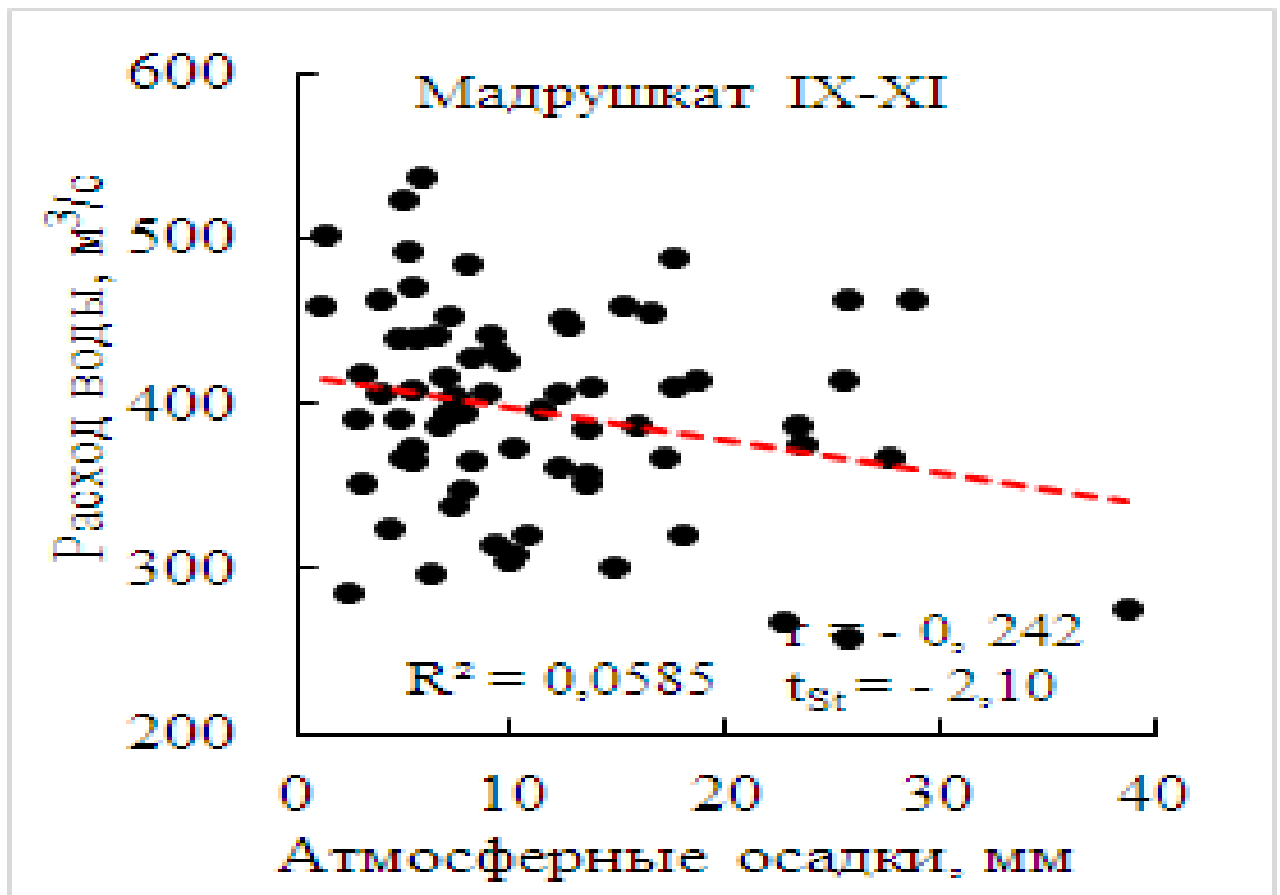




(B)







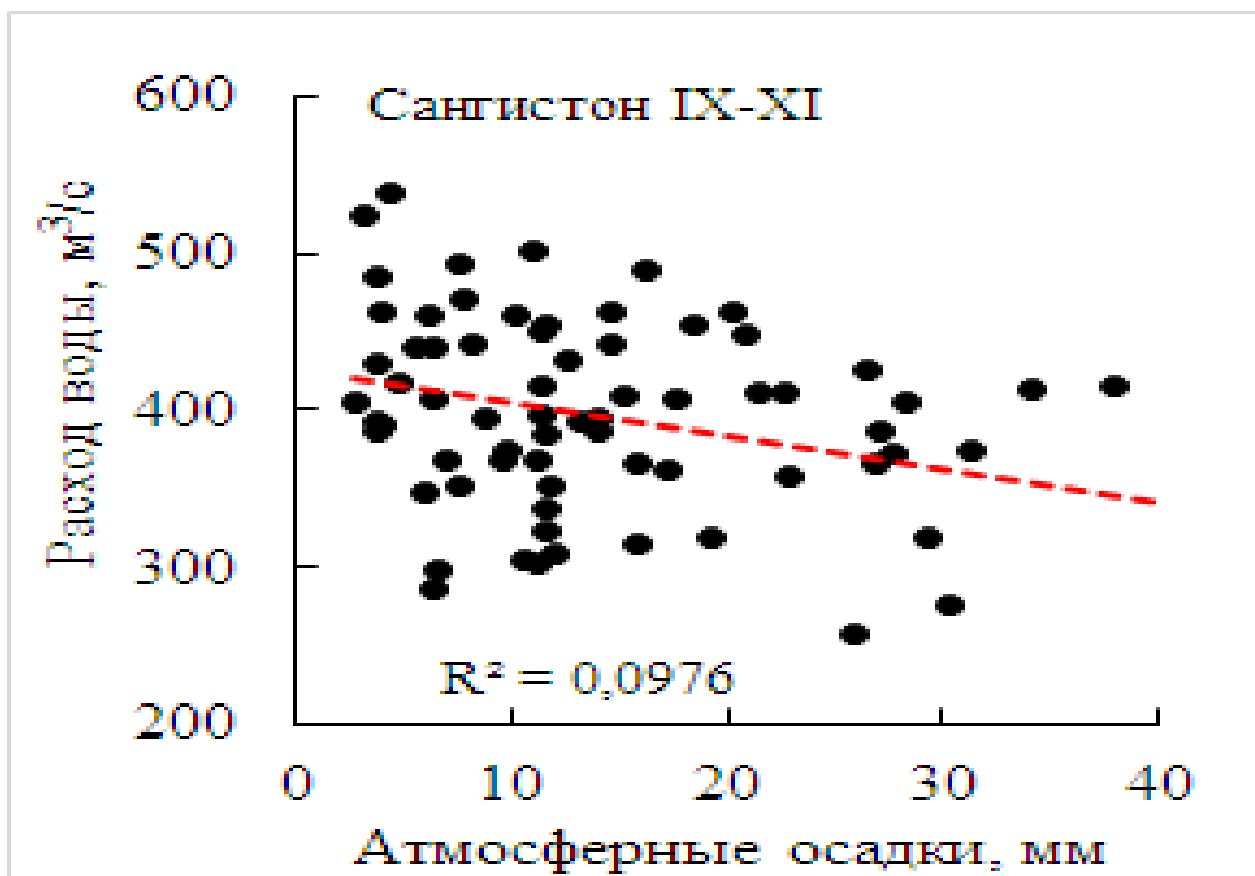


Рисунок 2.3. — Корреляция расхода воды реки Зеравшан со среднегодовыми значениями летних и осенних атмосферных осадков в географических частях бассейна реки Зеравшан

Корреляция расхода воды реки Зеравшан и осенних осадков (IX-XI) (рисунок 2.3) является отрицательным характеризуемым коэффициентом корреляции от 0 до -0.1. Почти незначительная корреляция с нулевым значением коэффициента корреляции наблюдается в корреляции расхода воды с осадками летнего (VI-VIII) сезона (рисунок 2.3). Проявление такой картины корреляционных зависимостей расхода воды реки Зеравшан с осенними и летними осадками обусловлено тем, что незначительное количество осадков в соответствующих сезонах не в состоянии формировать стока и его прилив к реке Зеравшан из-за их расхода на увлажнение приповерхностных слоев почвы и подпитку резервуаров подземных вод.

2.3. Использование корреляционных зависимостей стока и сезонных атмосферных осадков в определении снежно-ледниковой части стока реки Зеравшан

Обобщением результатов влияния атмосферных осадков климатических зон бассейна реки Зеравшан на формирование стока реки Зеравшан можно написать выражение для определения объема ледникового стока в виде:

$$\frac{w_{л.с}}{w_0 + w_p^л} = 1 - \frac{w_p^o + w_p^з}{w_0 + w_p^л} \quad (1)$$

где $w_{л.с}$ – объем воды ледникового стока, w_0 – среднегодовое количество стока реки, $w_p^л$ – среднегодовой объем воды летних атмосферных осадков, w_p^o , $w_p^з$ – среднегодовые объемы воды осенних и зимних осадков.

Согласно расчетам, проведенным с использованием уравнения (1), ледниковая подпитка реки Зеравшан ныне составляет 1.08 км³, или 21% от общего стока.

Атмосферные осадки северо-западной климатической зоны бассейна (метеостанция Анзоб), как видно из рисунка 2.2, почти не вносят вклада в формировании расхода воды реки Зеравшан. В более наглядной форме это можно видеть на рисунке 2.4, где представлены значения коэффициентов корреляции стока реки Зеравшан с сезонными значениями атмосферных осадков, измеренными на метеорологических станциях бассейна.

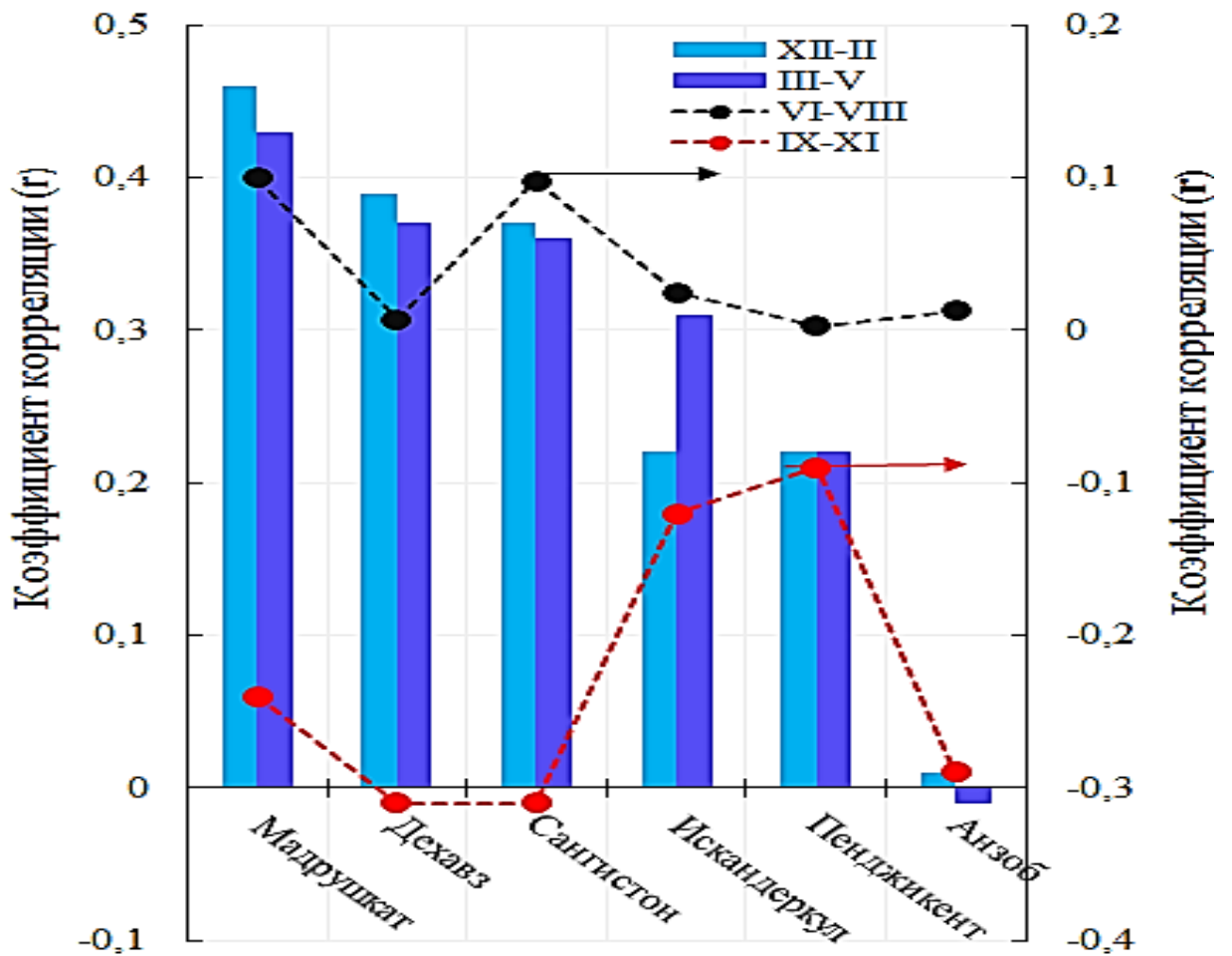
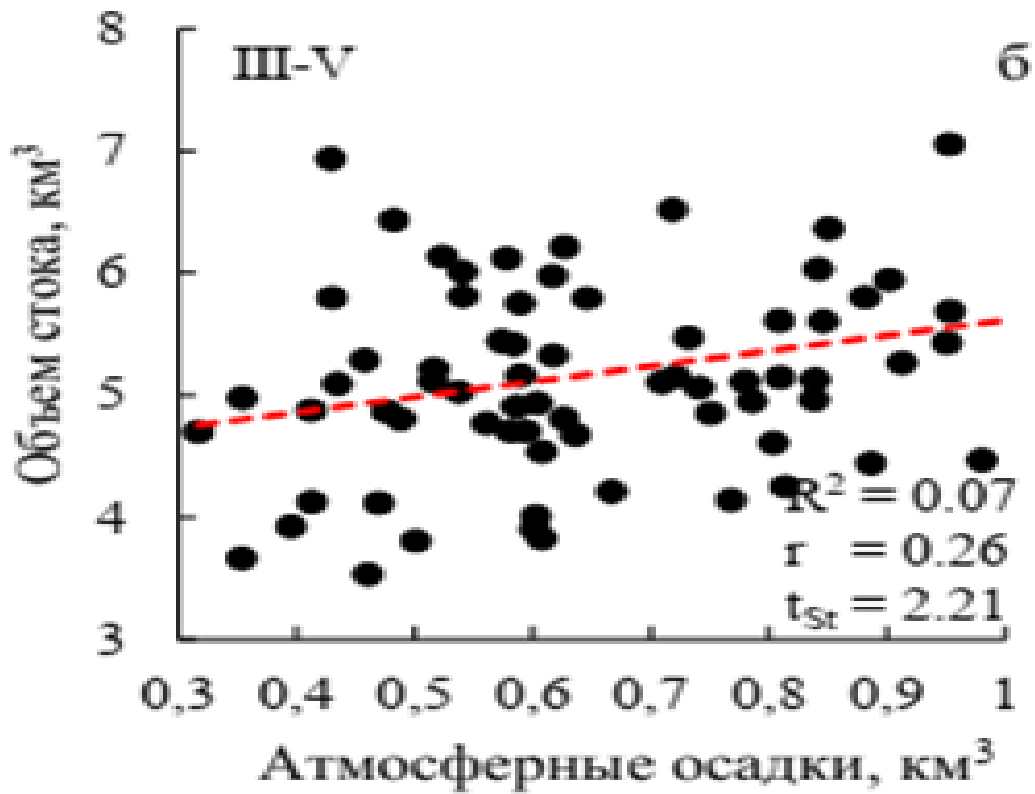
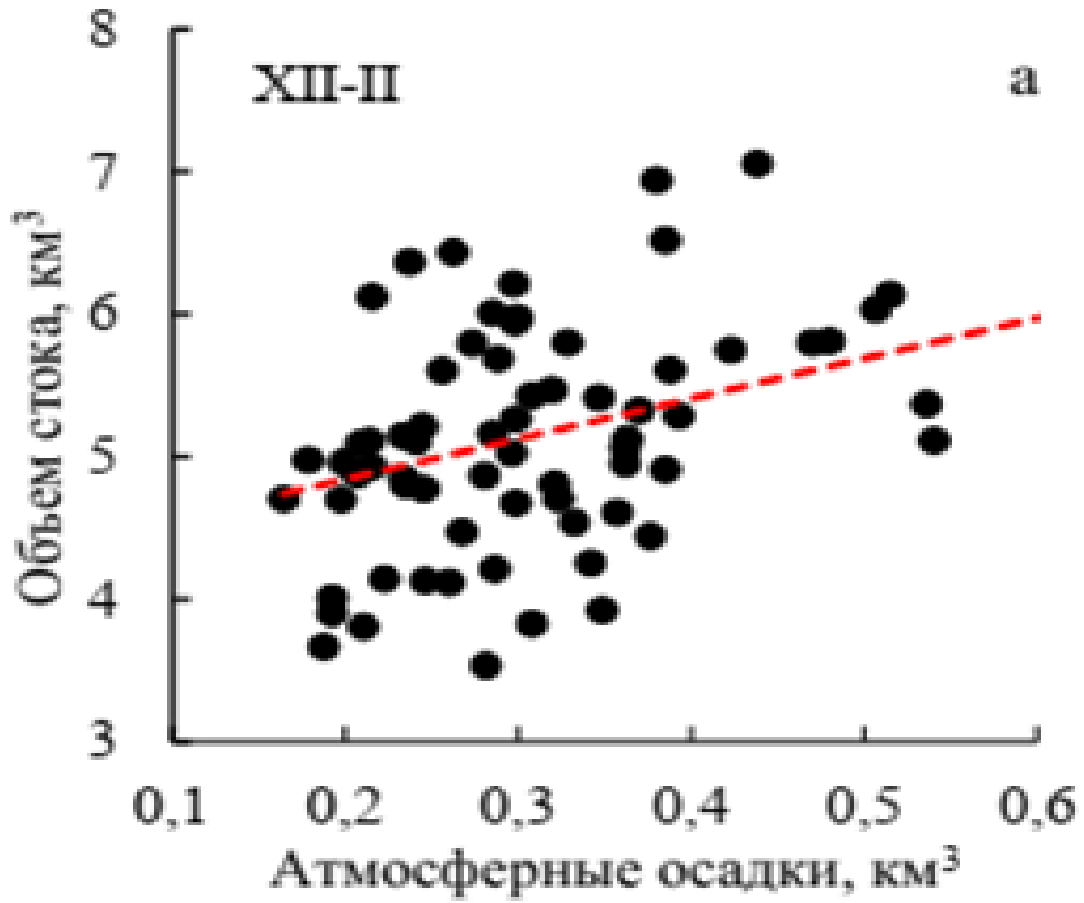


Рисунок 2.4. — Коэффициенты корреляции стока реки Зеравшан с сезонными значениями атмосферных осадков на метеорологических станциях бассейна

В целом, корреляция среднегогодового объема воды реки Зеравшан со значениями объема воды, формируемого из сезонных осадков, по климатическим зонам бассейна реки показывает, что в формирование стока реки Зеравшан, преобладающий вклад вносят зимние и весенние осадки (рисунок 2.5).



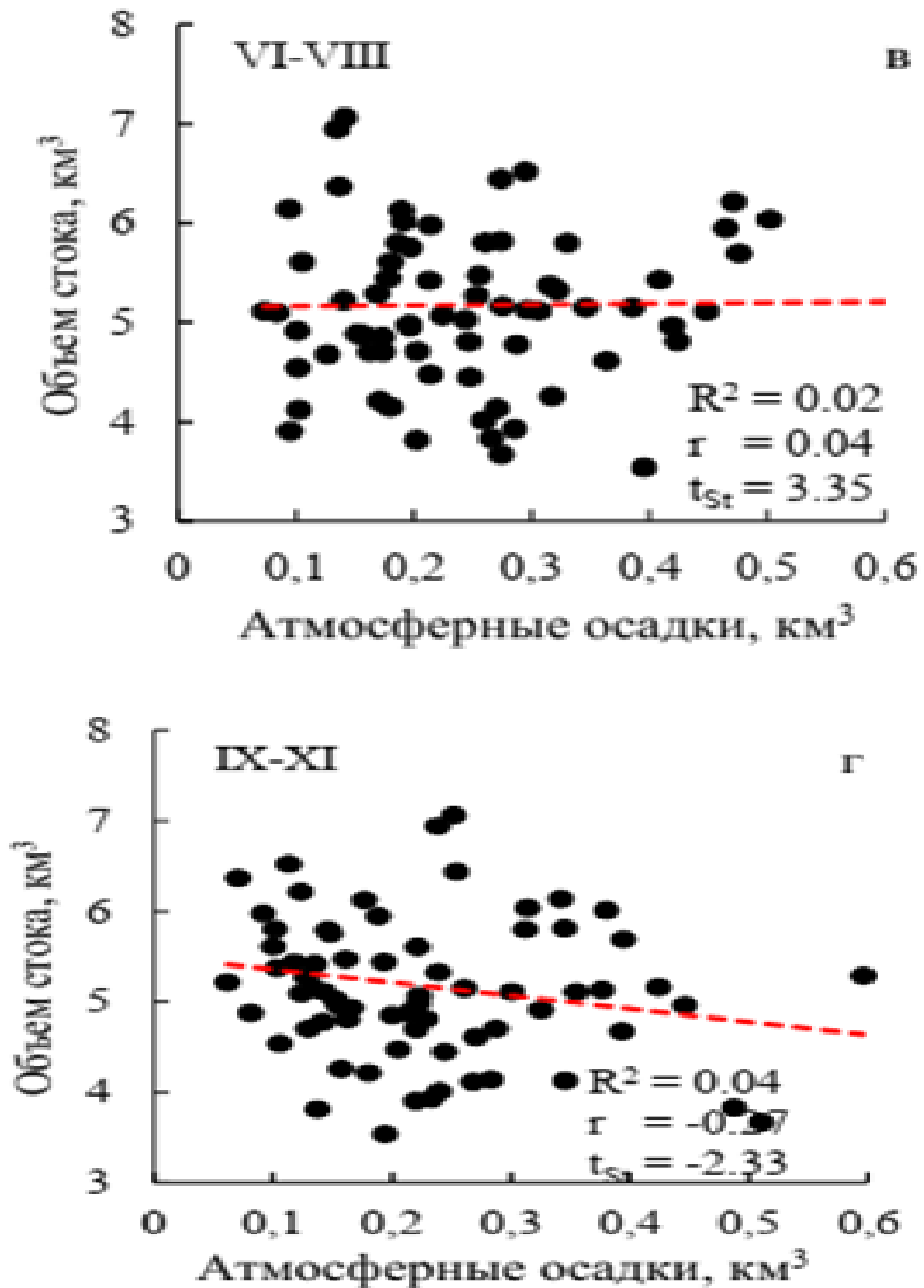


Рисунок 2.5. — Корреляция среднемноголетнего объема воды реки Зеравшан со значениями объема воды, формируемого из сезонных осадков по климатическим зонам бассейна реки

ГЛАВА III. ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БАССЕЙНА РЕКИ ВАХШ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

3.1. Гидрометеорология бассейна реки Вахш в прошлом и в настоящем

Слияние реки Сурхоб длиной более 80 км, площадью бассейна около 1800 км² с рекой Обихингоу длиной около 200 км и площадью бассейна 6660 км² на высоте 1150 м над уровнем моря приводит к формированию реки Вахш, которая в свою очередь является одним из основных притоков трансграничной реки Амударья длиной около 700 км и площадью бассейна 39160 км². Бассейны притоков реки Вахш отличаются многочисленными крупными и небольшими ледниками. Например, только в бассейне реки Сорбог площадь оледенения с более 245 ледниками занимает около 106 км².

Климат бассейна реки Вахш является сухим с среднегодовым количеством атмосферных осадков в районе 140-300 мм с вариацией значений по сезонам года: зимой-40%, весной-около 50%, летом-1,5% и осенью- 10,5% от среднегодового значения.

В пределах года от 50,4 до 56,7 °С и с 26,9 до 32,2 °С соответственно изменяется сумма положительных и эффективных температур с температурой выше 10°С. Редко, но бывают морозные годы, когда температура опускается до -25°С. В целом Вахшская долина характеризуется среднемноголетним значением температуры в пределах 15,7-16,7°С. В работе широко использованы метеорологические данные метеостанций бассейна Гарм, Тавильдара и Дарбанд.

Изучение пространственно-временных закономерностей формирования стока, особенностей гидрологического режима рек позволяет выявить основные связи между элементами водного баланса. В частности, о подземных и поверхностных водах и формировании их природных ресурсов в существующих и будущих климатических условиях.

За период 1935-1985 гг. наблюдалось изменение среднегодовых объемов ледникового стока в связи с усадкой ледниковой зоны в бассейнах рек

Обихингоу и Сурхоб (притоки реки Вахш) на величину $-79.9 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ и $-27.2 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ соответственно [31].

Следует отметить, что уменьшение оледенения в разных географических частях бассейнов притоков реки Вахш происходят по-разному. Более интенсивно тают небольшие ледники расположенные в основном на северных склонах западной части хребта Петра Первого. Так как южные склоны Алайского хребта охватывают крупные ледники уменьшение оледенения происходит медленнее.

Вызывает особую тревогу состояние ледника Гармо в бассейне реки Обихингоу. Только за прошлое столетие ледник сократился на 7 км потеряв при этом более 6 км^2 площади. Скорость отступления ледника Гармо и оседание его поверхности ныне составляют 9 м/год и 4 м/год соответственно.

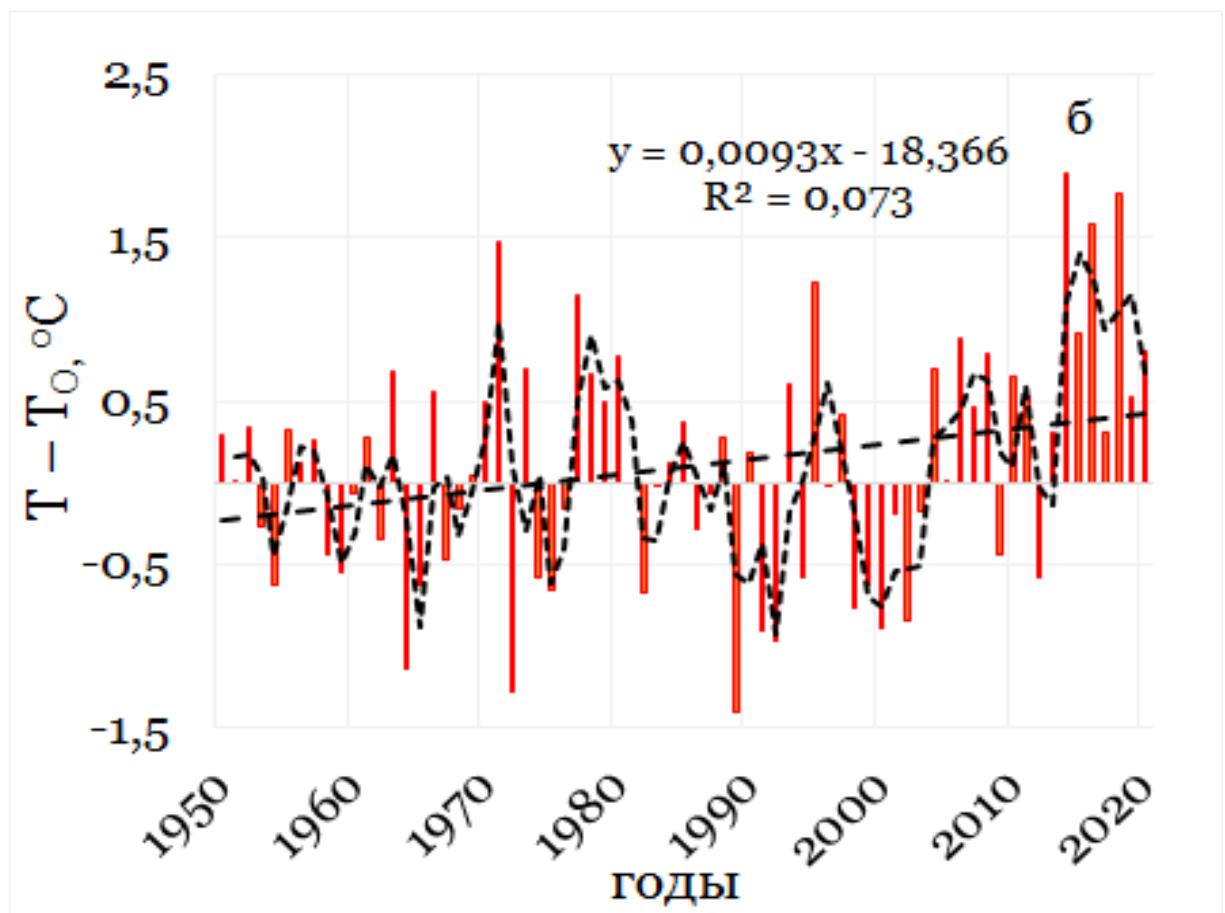
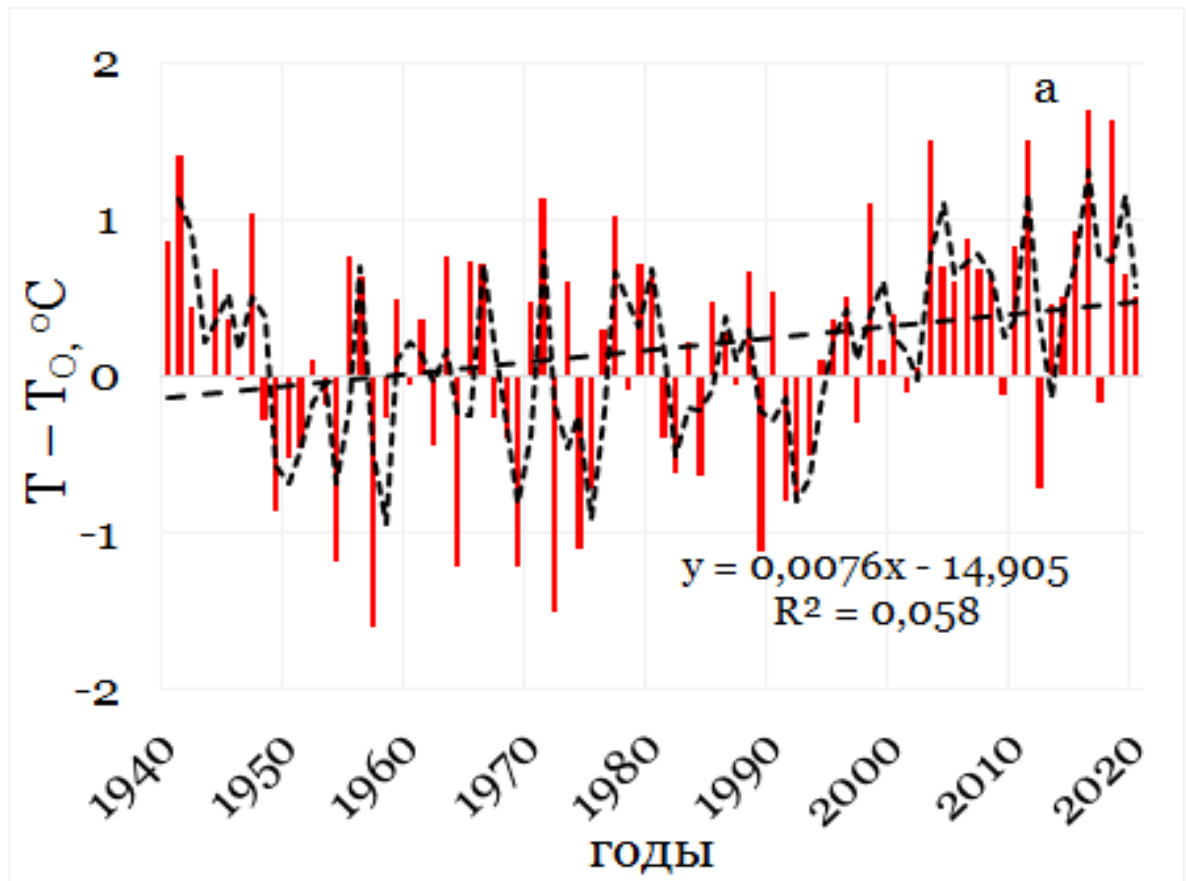
Относительно состояния ледников и оледенения бассейна реки Вахш и ее притоков имеются ряд сценарии и прогнозы. Большинство из них прогнозируют, что до 2050 года площадь оледенения бассейна реки Сурхоб благодаря таяния мелких ледников сокращается до 20% и объем льда до 30%. Ожидается сокращения площади оледенения в бассейне реки Обихингоу в ближайшие 50 лет на 25%, а объем оледенения до 35%.

Ожидается, что в Республике Таджикистан до 2050 года происходит уменьшение площади оледенения на 20%, а объем льда на 25%.

3.2.1. Мониторинг изменения температуры бассейна реки Вахш с 1950 по 2020 годы

Данные метеорологических станций Гарм ($39^{\circ}00' 70^{\circ}18'$) (бассейн реки Сурхоб), Ляхш ($39^{\circ}16' 71^{\circ}31'$) (бассейн реки Кызылсу) и Тавильдара ($38^{\circ}42'70^{\circ}28'$) (бассейн реки Обихингоу) за период 1950-2020 гг. использовались для мониторинга метеорологических условий бассейна реки Вахш.

На рисунке 3.1(а, б, в) представлена динамики изменения температуры на верховьях бассейна реки Вахш по данным метеостанций Гарм (1940-2020 гг.) (а), Ляхш (1950-2020 гг.) (б) и Тавильдара (1950-2020 гг.) (в).



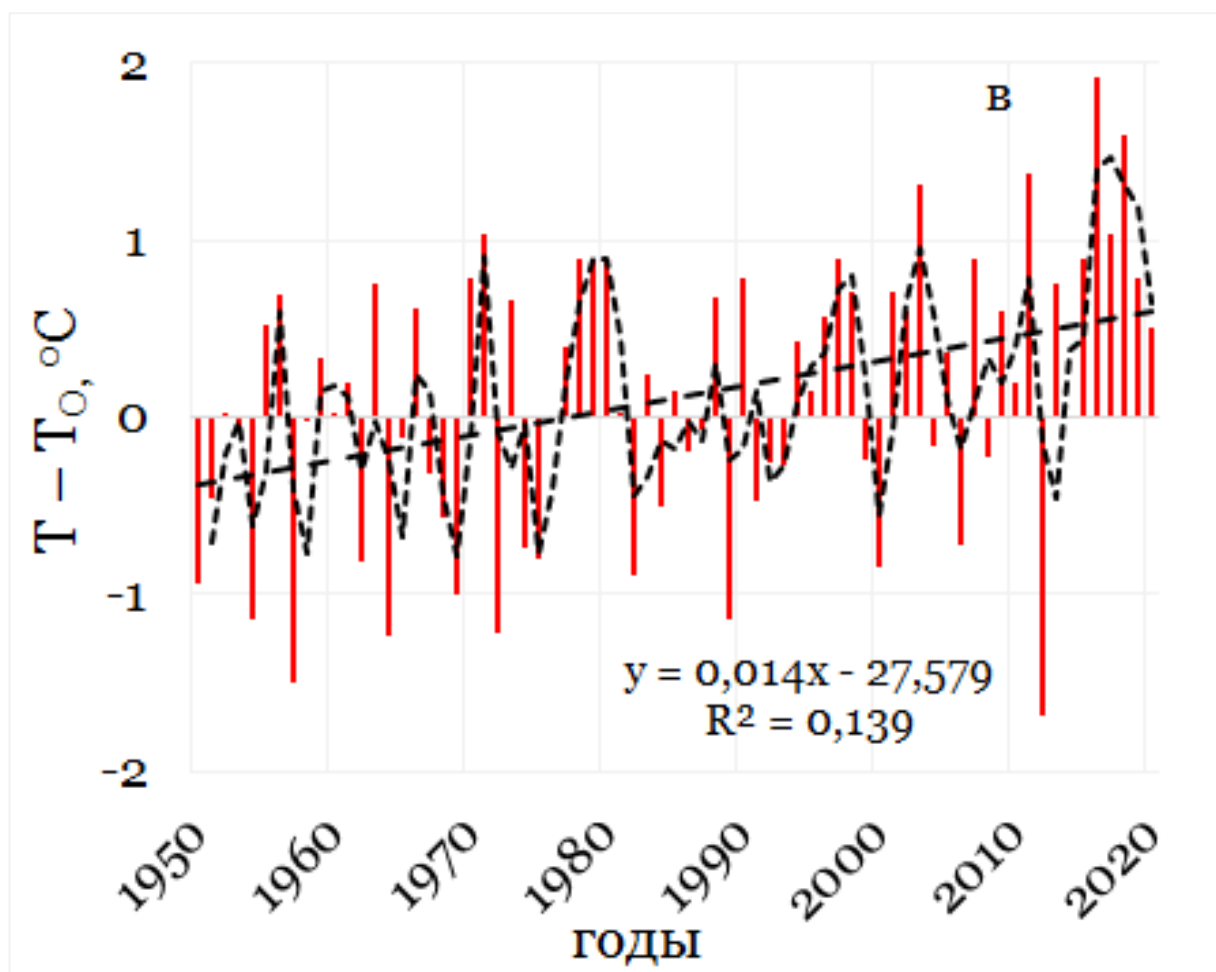


Рисунок 3.1.— Динамики изменения температуры в верховье бассейна реки Вахш по данным метеостанций Гарм (1940-2020 гг) (а), Ляхш (1950-2020 гг) (б) и Тавильдара (1950-2020 гг) (в)

Расчеты, проведенные с учетом возрастающего тренда температуры на рисунке 3.1(а, б, в) показали, с 1950 по 2020 годы среднегодовое увеличение температуры в бассейнах рек Сурхоб, Кызылсу и Обихингоу составляют $6.3 \cdot 10^{-3}$ °C/год, $13.5 \cdot 10^{-3}$ °C/год и $18.6 \cdot 10^{-3}$ °C/год соответственно. Можно предположить, что к 2050 году повышение температуры по отношению периода 1950-2020 гг. составит 0,4-0,7 °C (рисунок 3.2).

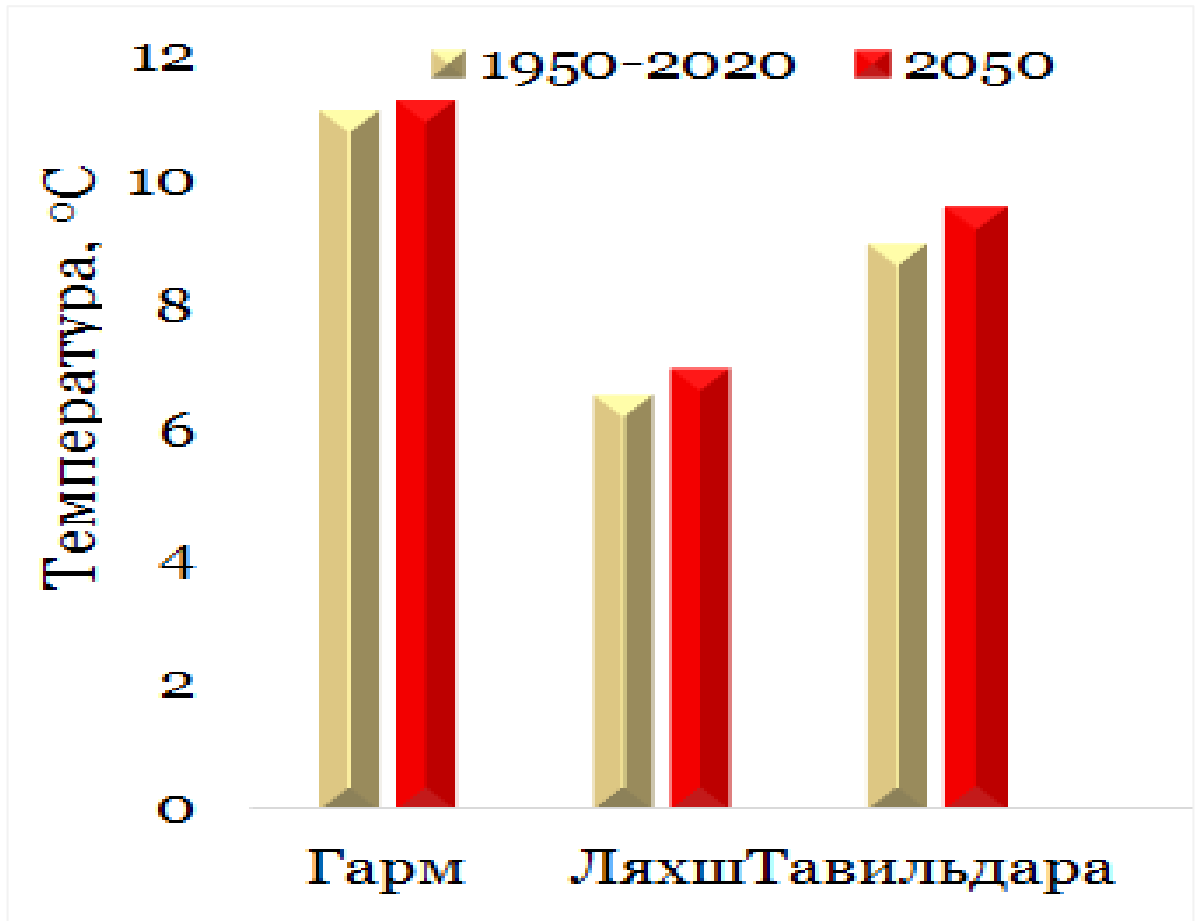


Рисунок 3.2. — Сравнительные данные температуры к 2050 г. и в период 1950-2020 гг в бассейнах притоков реки Вахш

В бассейне реки Обихингоу среднегодовая температура к 2020 году достигала 9,48 °С которая по сравнению с температурой базисного периода больше на 1,0°С и ожидается ее увеличение к 2050 году до 10°С, то есть на 1,42°С больше по сравнению среднегодовой температуры базисного периода. В бассейне реки Сурхоб изменение температуры более умеренным. К 2050 году среднегодовая температура бассейна реки достигнет 11,93°С которые на 1,0°С выше по отношению к базисному периоду (рисунок 3.3).

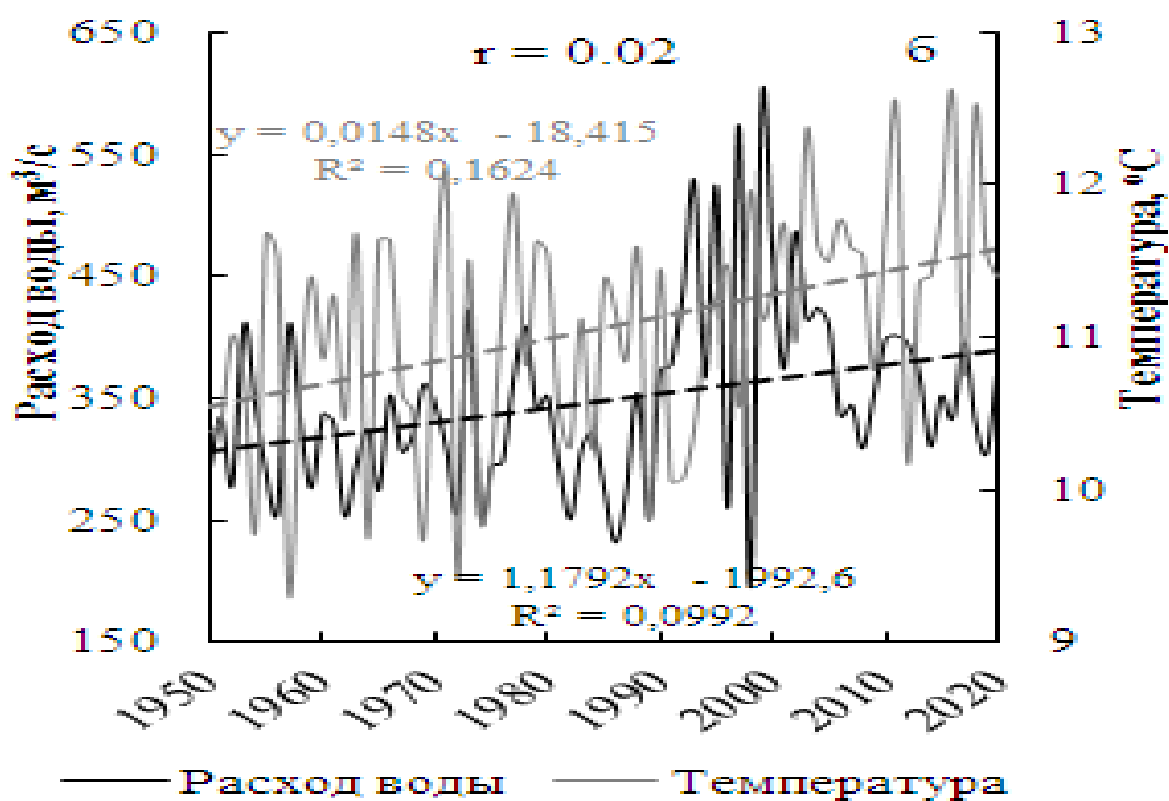
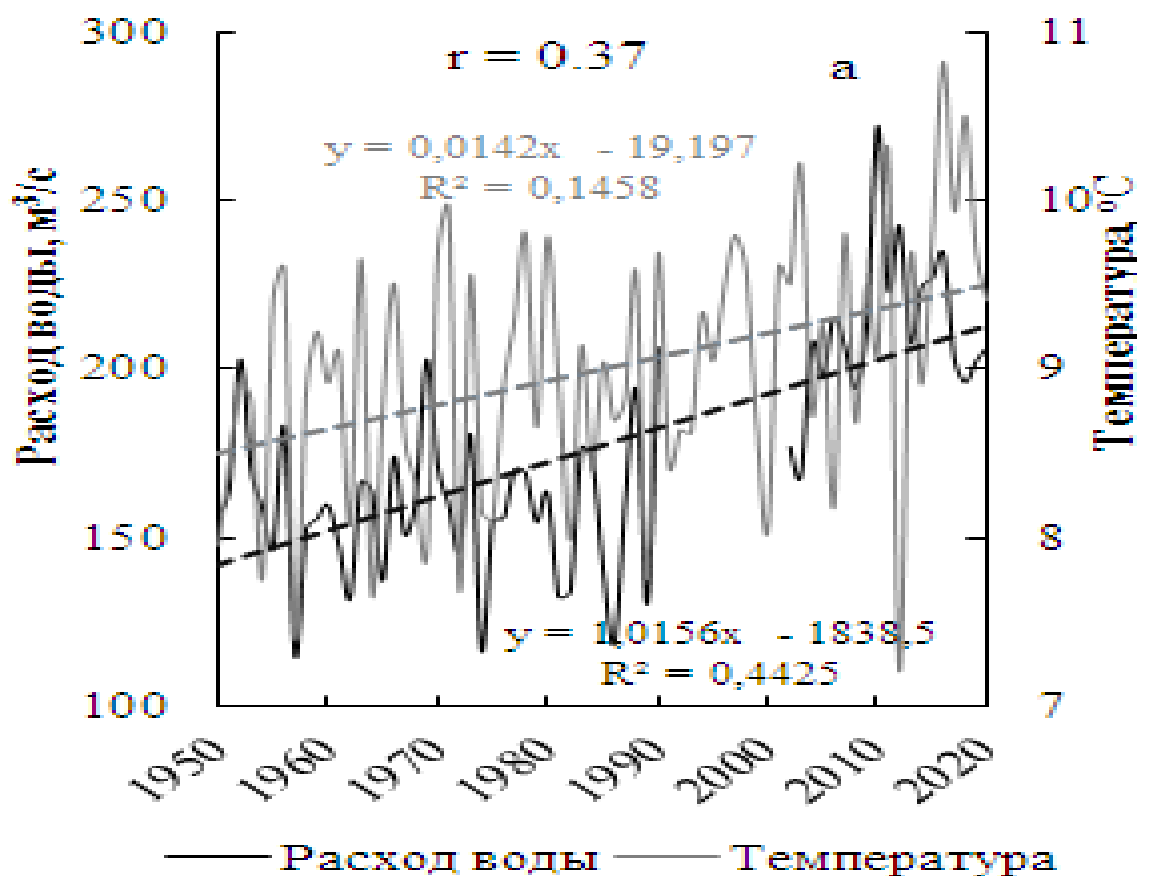
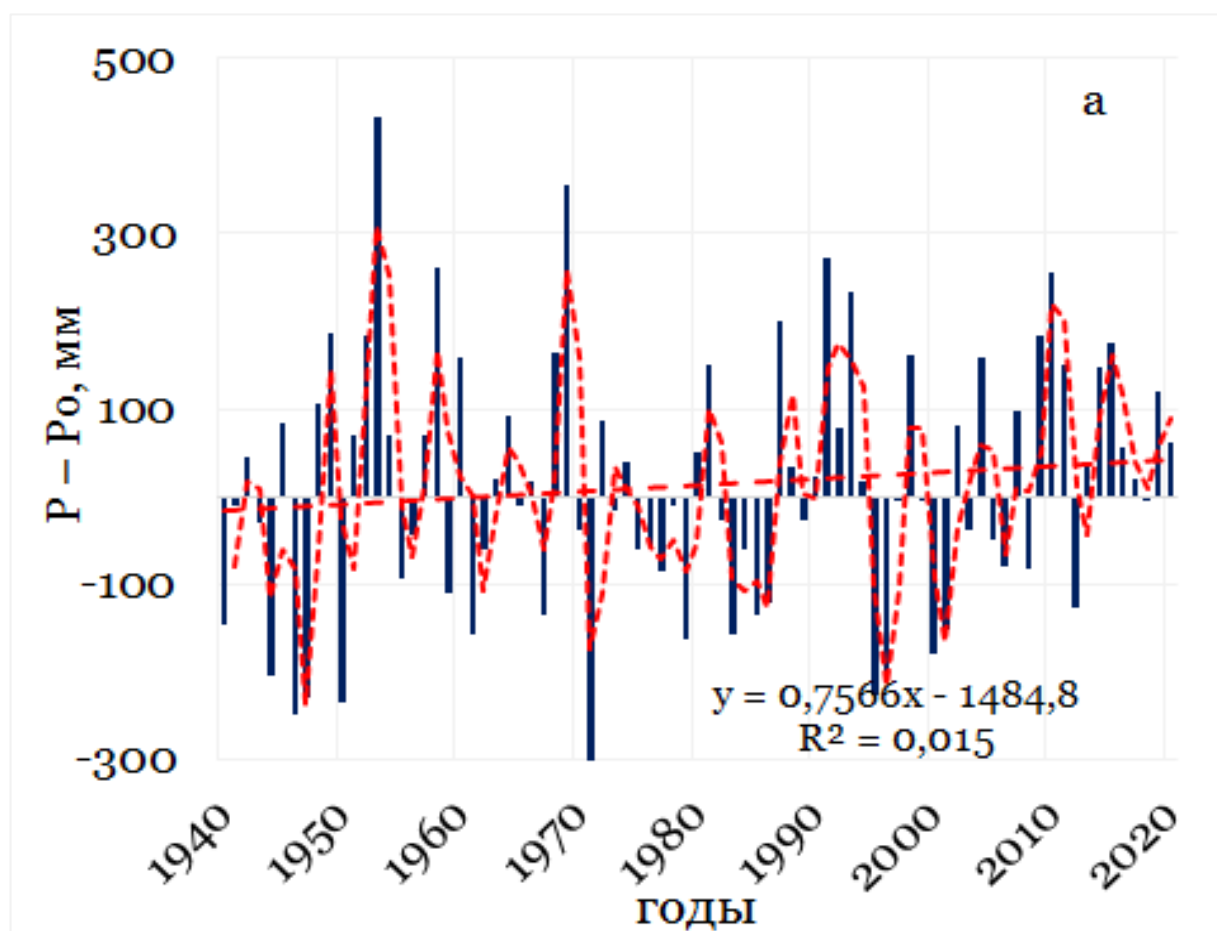


Рисунок 3.3. — Динамика температуры бассейнов рек Обихингоу (а), Сурхоб (б) и расхода воды соответствующих рек с 1950 по 2020 гг

3.2.2. Мониторинг изменения атмосферных осадков в бассейне реки Вахш с 1950 по 2020 годы

Изучение динамики изменения атмосферных осадков в бассейнах рек в условиях изменения климата важно с точки зрения прогнозирования перспектив развития гляциологических и гидрологических процессов непосредственно в зоне формирования рек.

Динамика изменения атмосферных осадков на верховье реки Вахш по данным метеостанций Гарм, Ляхш и Тавильдара приведены на рисунке 3.4 (а, б, в).



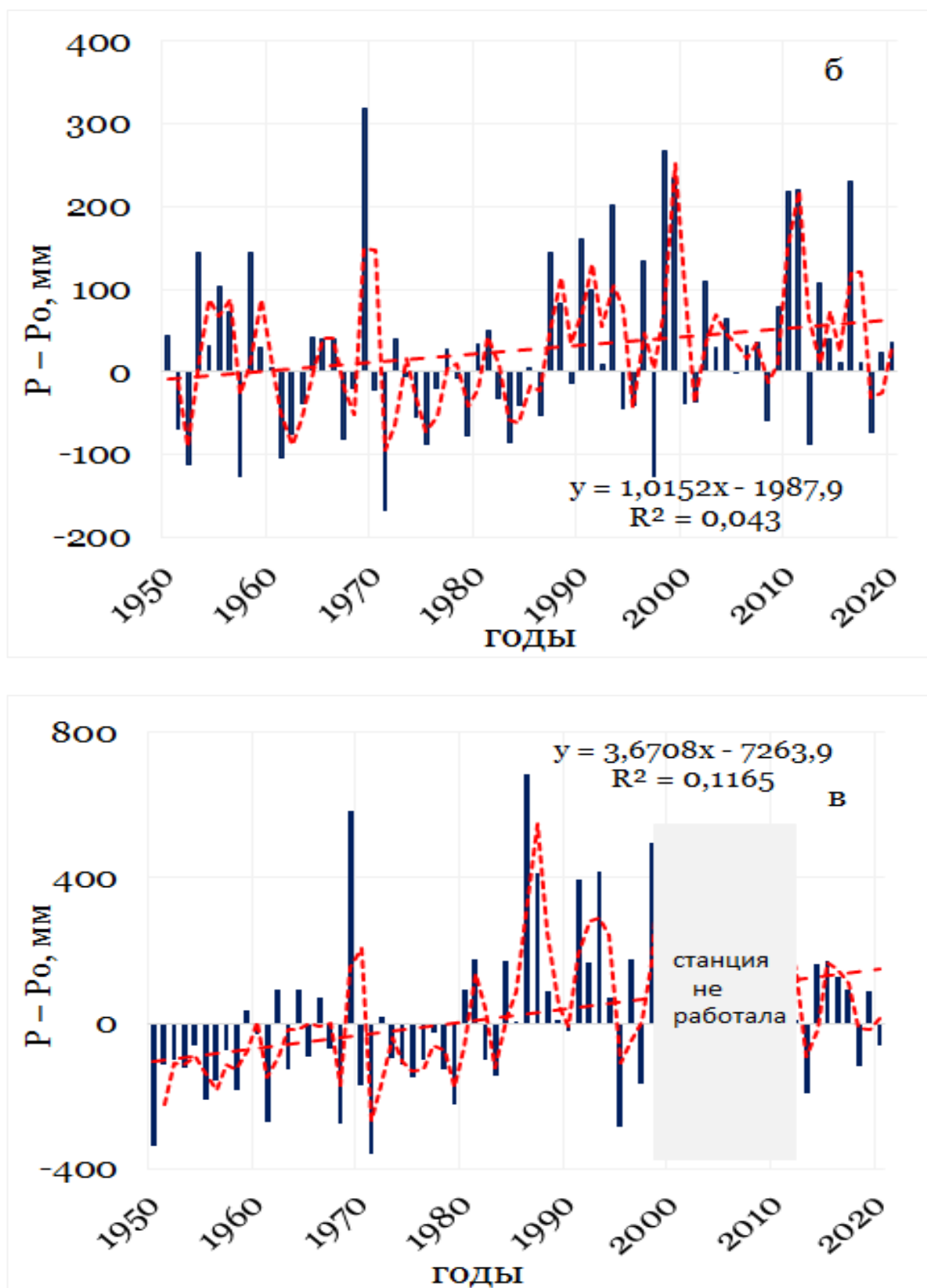


Рисунок 3.4. — Количественное значение осадков по данным метеостанций Гарм (1940-2020 гг.) (а), Ляхш (1950-2020 гг.) (б) и Тавильдара (1950-2020 гг.) (в)

Увеличение атмосферных осадков с 1940 по 2020 годы в бассейне реки Вахш в целом и в бассейнах рек Сурхоб, Кызылсу и Обихингоу незначительное и составляет соответственно 0.88 мм/год, 0.83 мм/год и 3.7 мм/год. (рисунок 3.4 и рисунок 3.5).

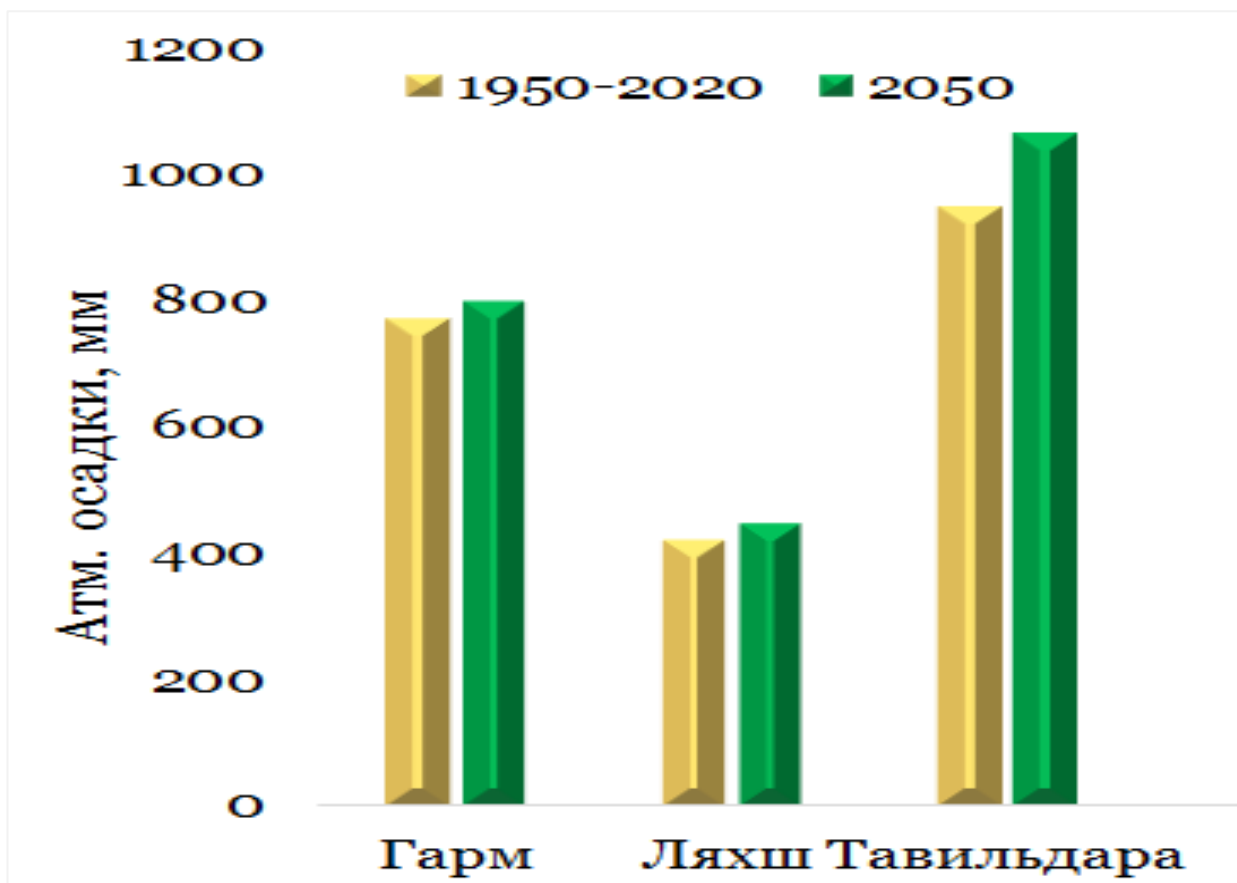


Рисунок 3.5. — Значение осадков в бассейне реки Вахш с 1950 по 2020 годы и прогноз к 2050 г

В среднем увеличение количества атмосферных осадков в бассейнах рек Сурхоб, Кызылсу и Обихингоу к 2050 году составит 7-9% по отношению к периоду 1950-2020 гг.

По данным метеорологических станций Гарм и Тавильдара в соответствующих бассейнах рек Сурхоб и Обихингоу среднемноголетние значение атмосферных осадков составляют 770 и 970 мм и при площадях их водосбора 22730 и 6660 км² и удельное значение осадков соответствует 0.034 и 0.15 мм/м².

На рисунках 3.6 и 3.7 представлены сезонные распределения атмосферных осадков по бассейнам рек Сурхоб и Обихингоу из сравнения которых выявляются, что в бассейне реки Обихингоу выпадает более обильнее осадки. Это прежде всего связано тем, что бассейн реки Обихингоу находится на пути основных воздушных масс южного и юго-западных направлений, дающих интенсивные осадки в обширном высотном поясе гор [129]. Кроме того, соотношение атмосферных осадков бассейна реки Обихингоу к соответствующим значениям бассейна реки Сурхоб в зимний, весенний и осенние сезоны колеблется в районе 1.20 – 1.35, а в летний сезон данное соотношение превышает 3.3.

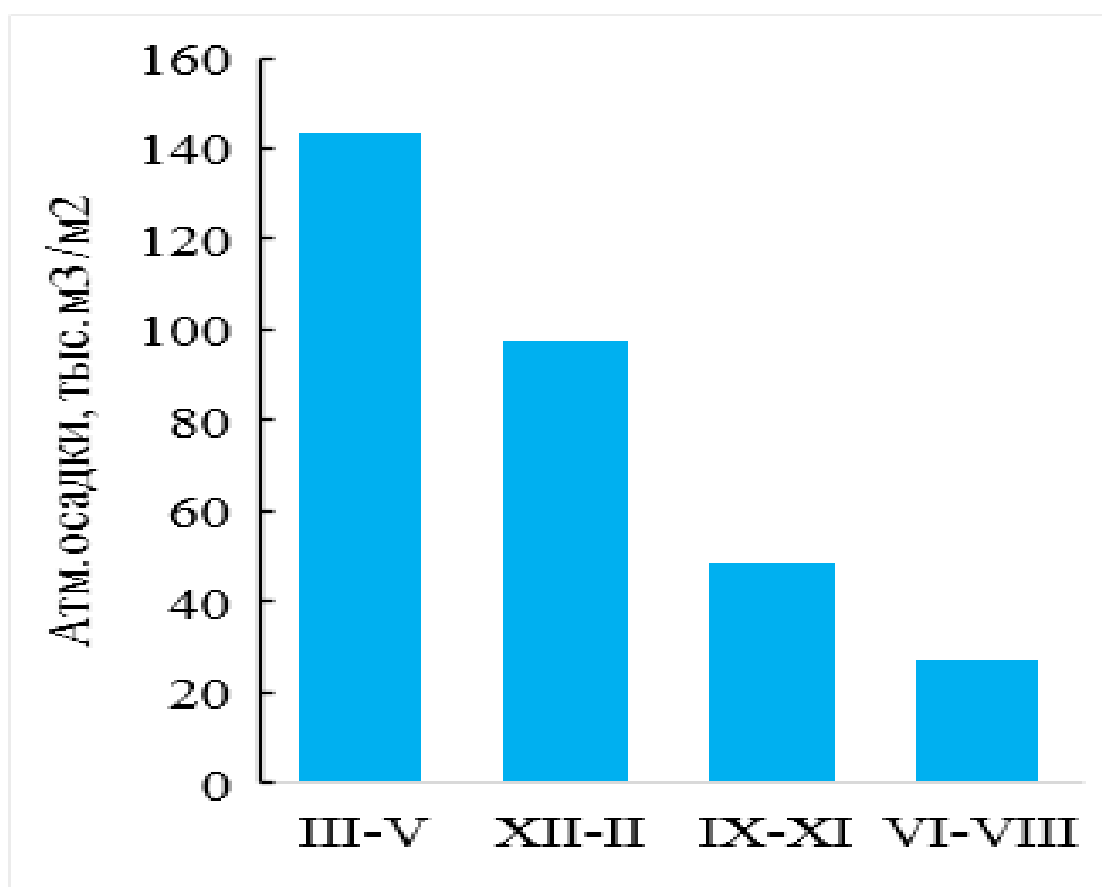


Рисунок 3.6. — Сезонное распределение атмосферных осадков по бассейну реки Обихингоу

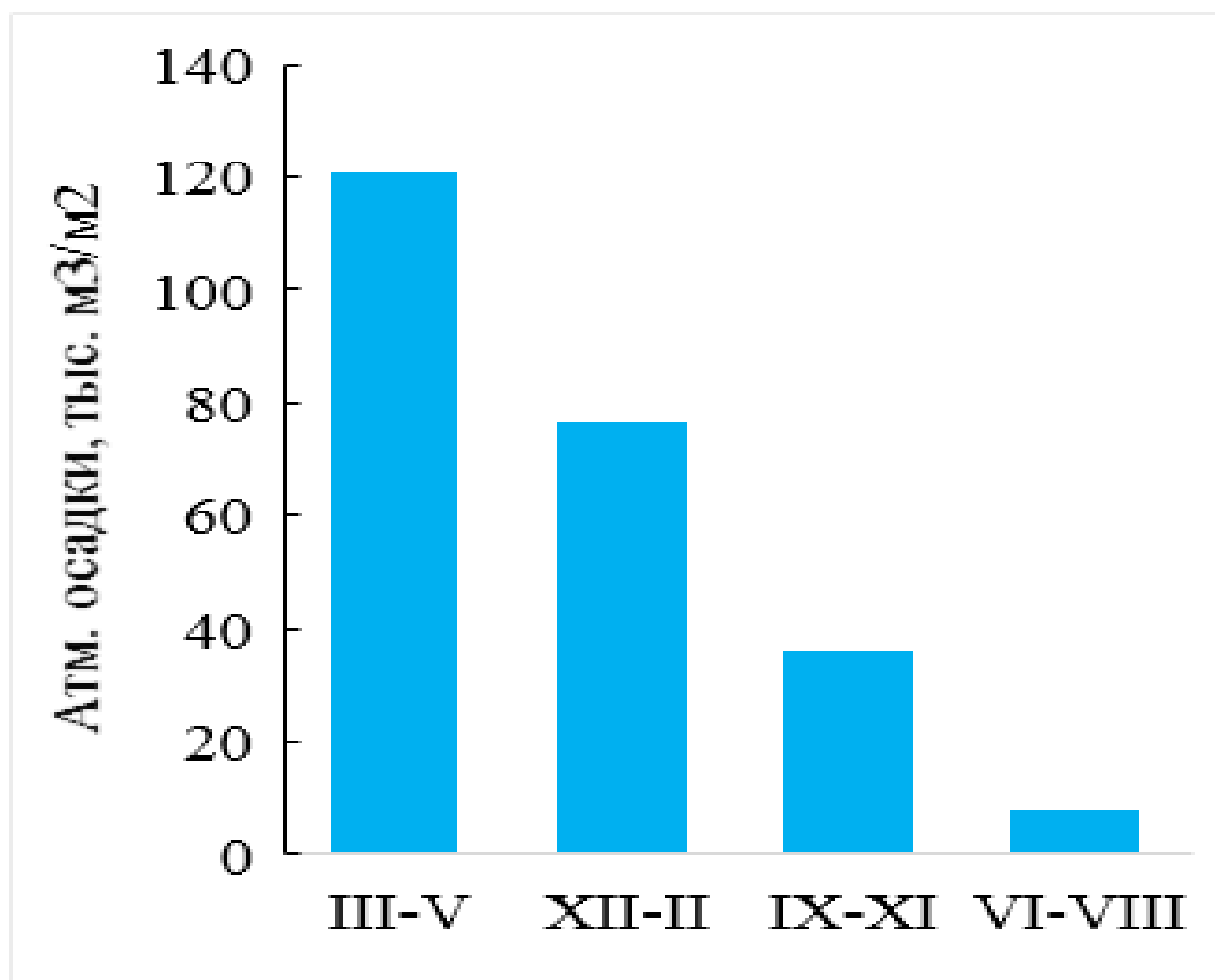


Рисунок 3.7. — Сезонное распределение атмосферных осадков по бассейну реки Сурхоб

Атмосферные осадки в количественном выражении заметных изменений не претерпели в бассейнах рек Сурхоб и Обихингоу с 1950 по 2020 годы по отношению к периоду 1960-1990 гг. В 1950 году по сравнению с базисным периодом среднегодовой осадок в бассейне реки Обихингоу было меньше на 14%, а в 2020 году его увеличение составило 12% и согласно прогнозу, в 2050 году ожидается его увеличение лишь на 23%.

В бассейне реки Сурхоб, как следует из рисунка 3.8, при значении осадков 745.9 мм базисного периода и 770 мм в 1950 году его увеличение к 2020 году составило 3% и по прогнозам к 2050 году составит около 5%.

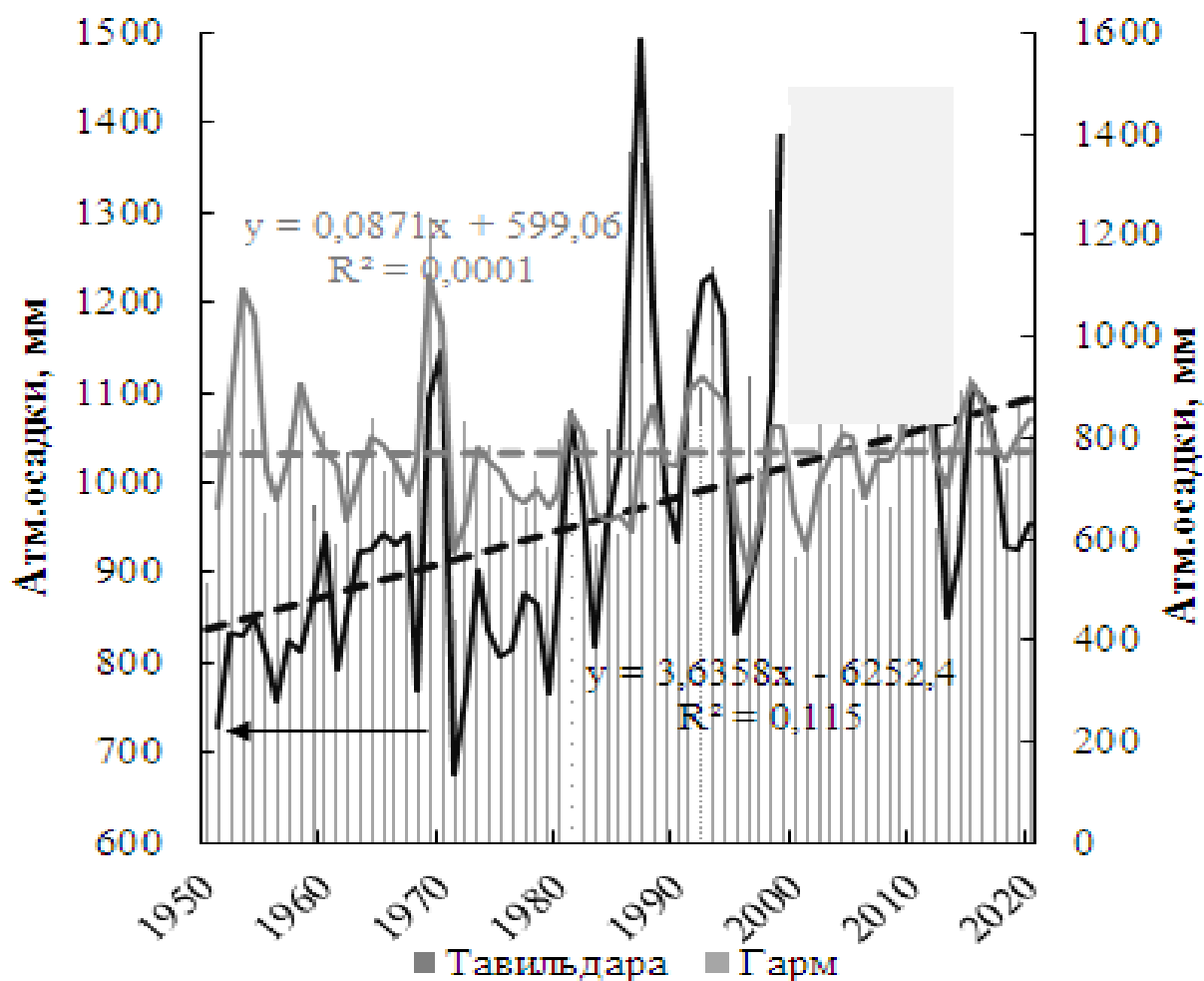
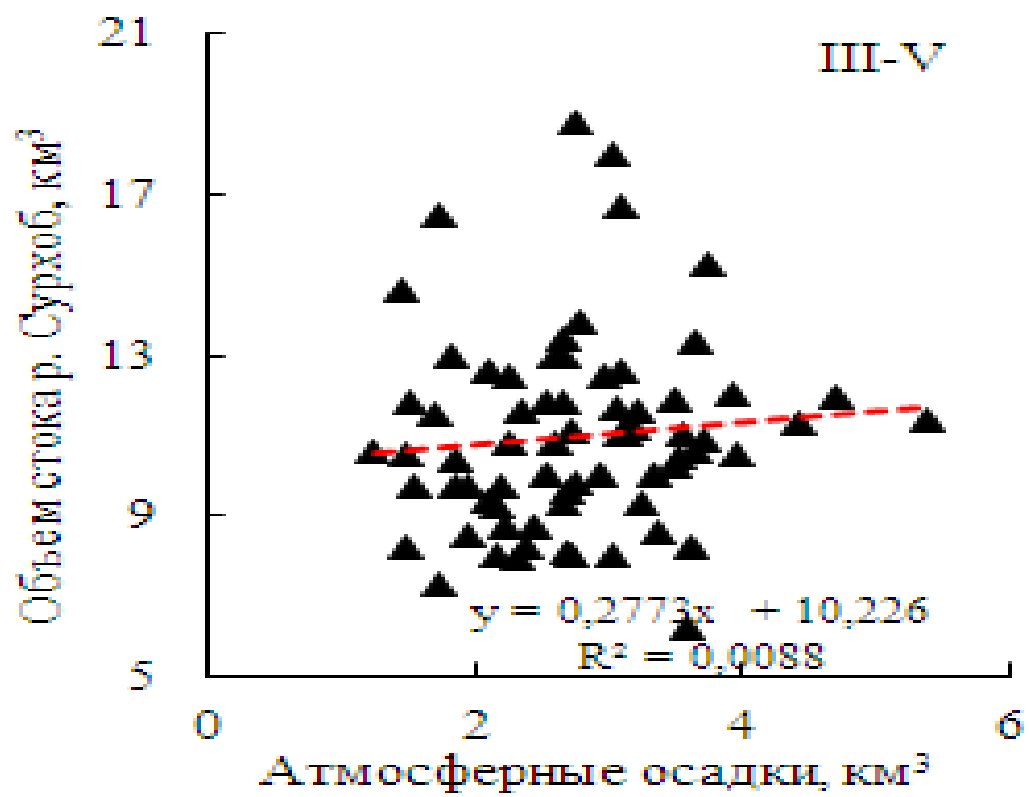
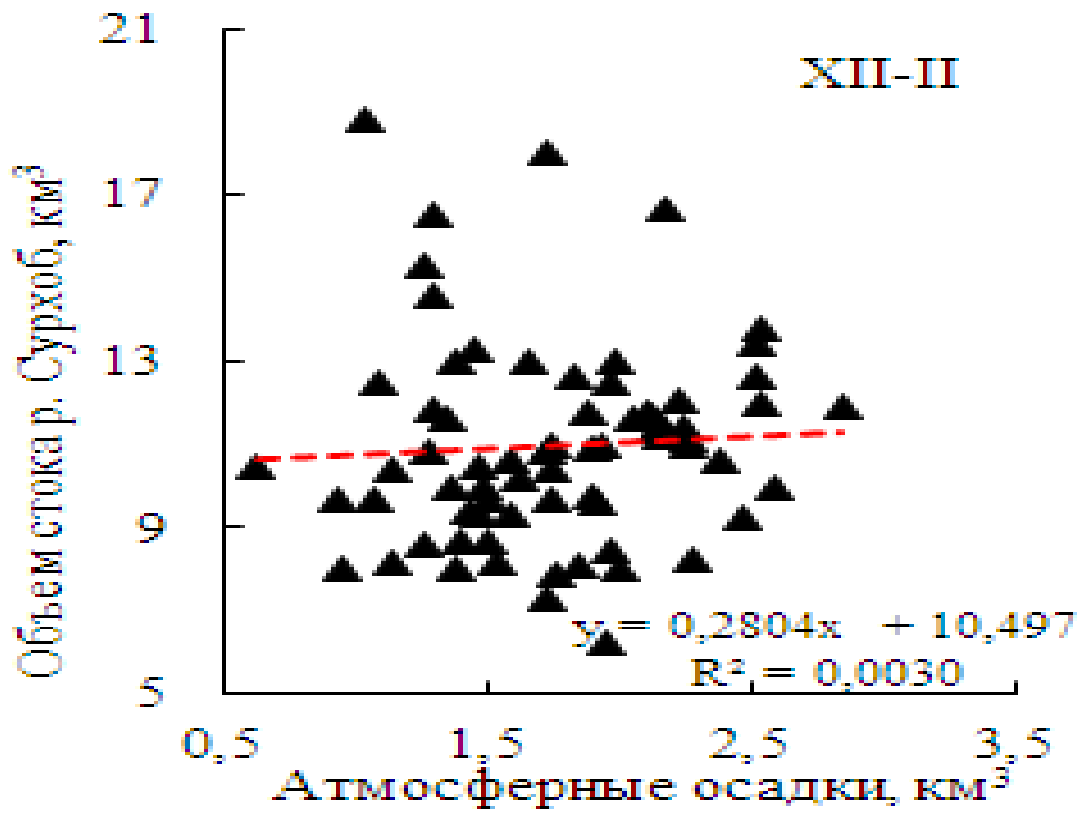


Рисунок 3.8. — Сравнительный анализ изменения осадков бассейнов притоков (Сурхоб, Обихингоу) реки Вахш

3.3. Влияние атмосферных осадков на формирование стока рек Сурхоб и Обихингоу

Корреляционные зависимости стока рек Сурхоб и Обихингоу от значений атмосферных осадков представлены на рисунке 3.9 и рисунке 3.10. Коэффициенты корреляции хотя положительные, однако лежат в пределах 0.1 до 0.3 свидетельствующих о незначительном взаимосвязи стока рек и осадков.



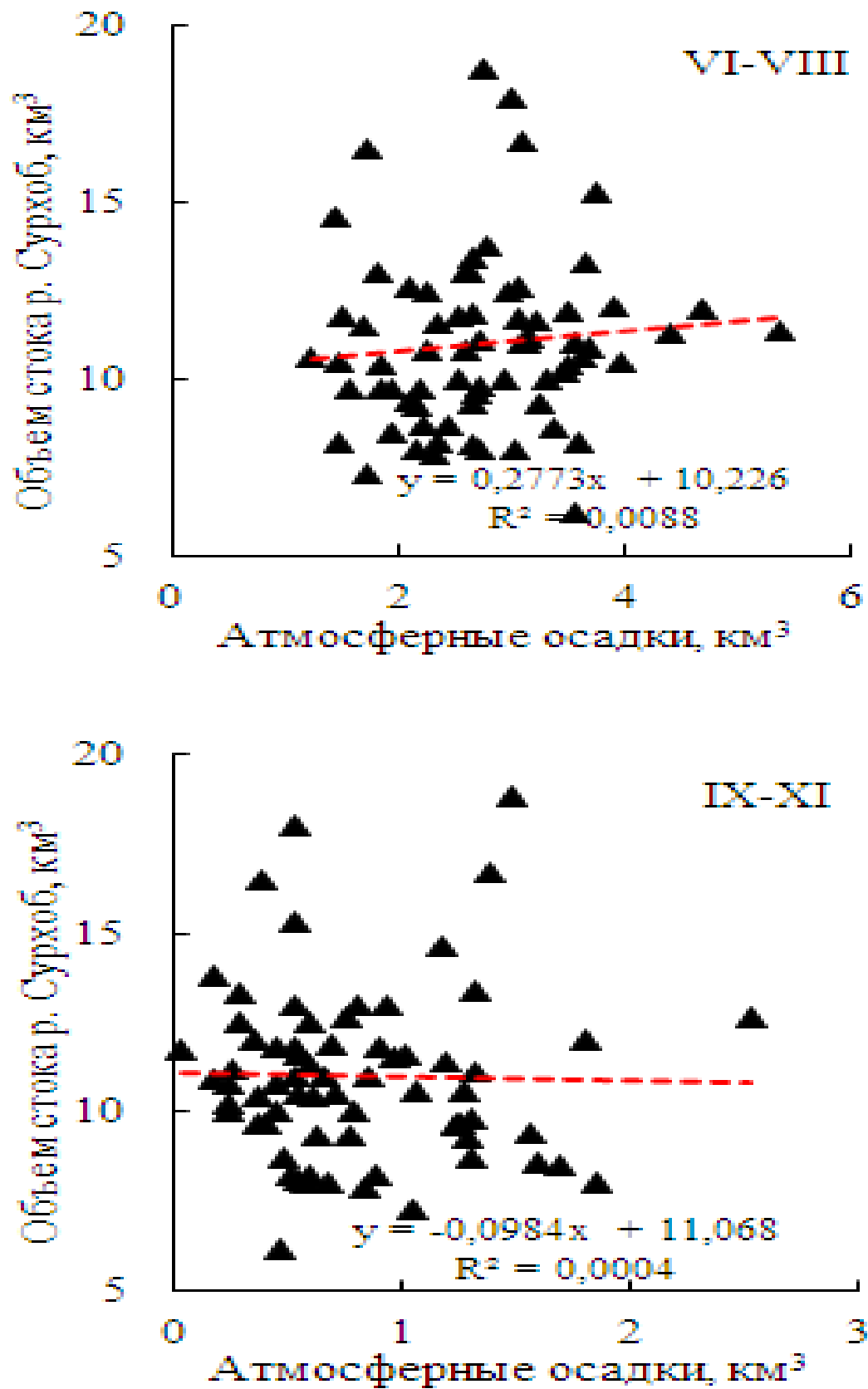
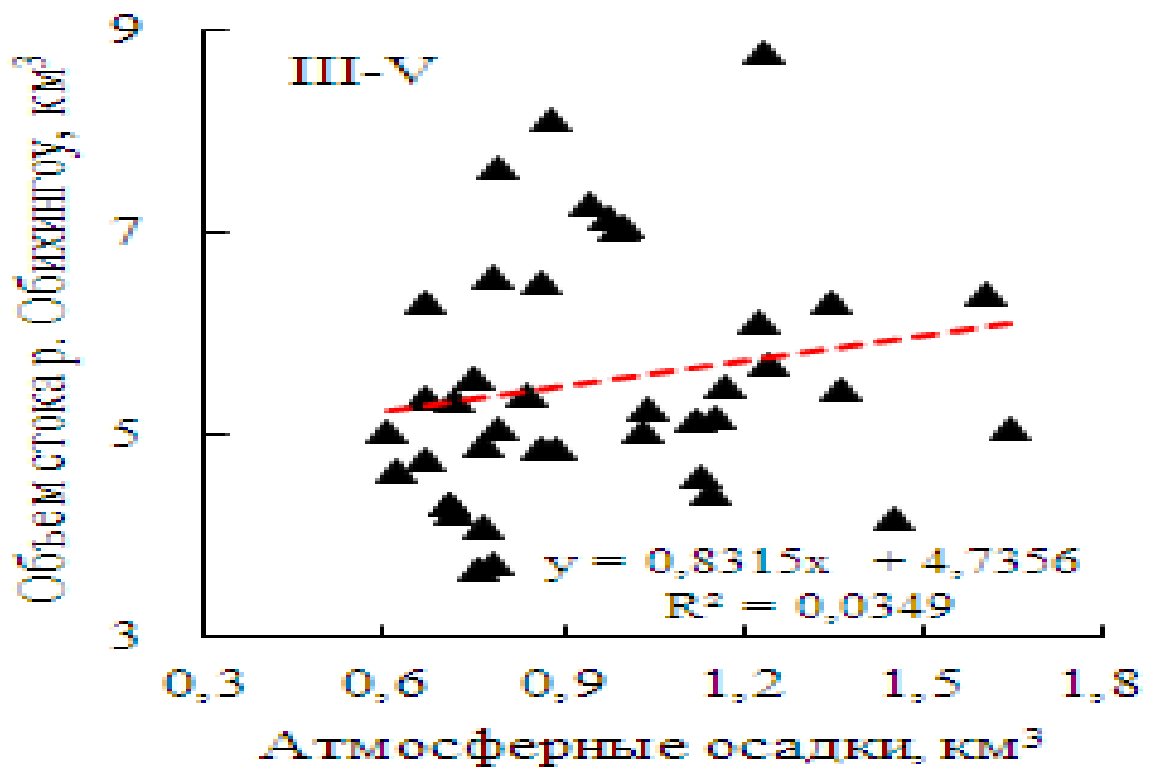
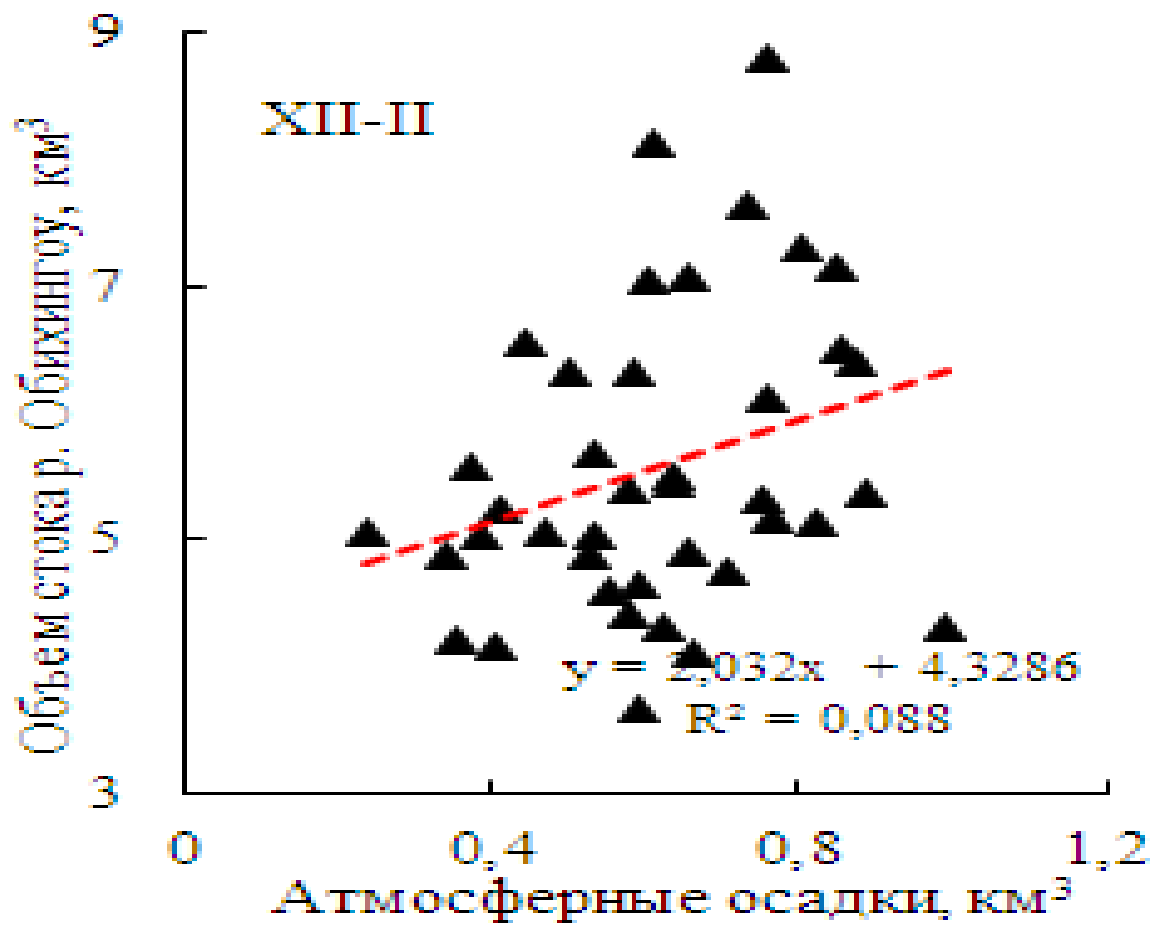


Рисунок 3.9 – Корреляция объема стока реки Сурхоб с количеством атм. осадков бассейна



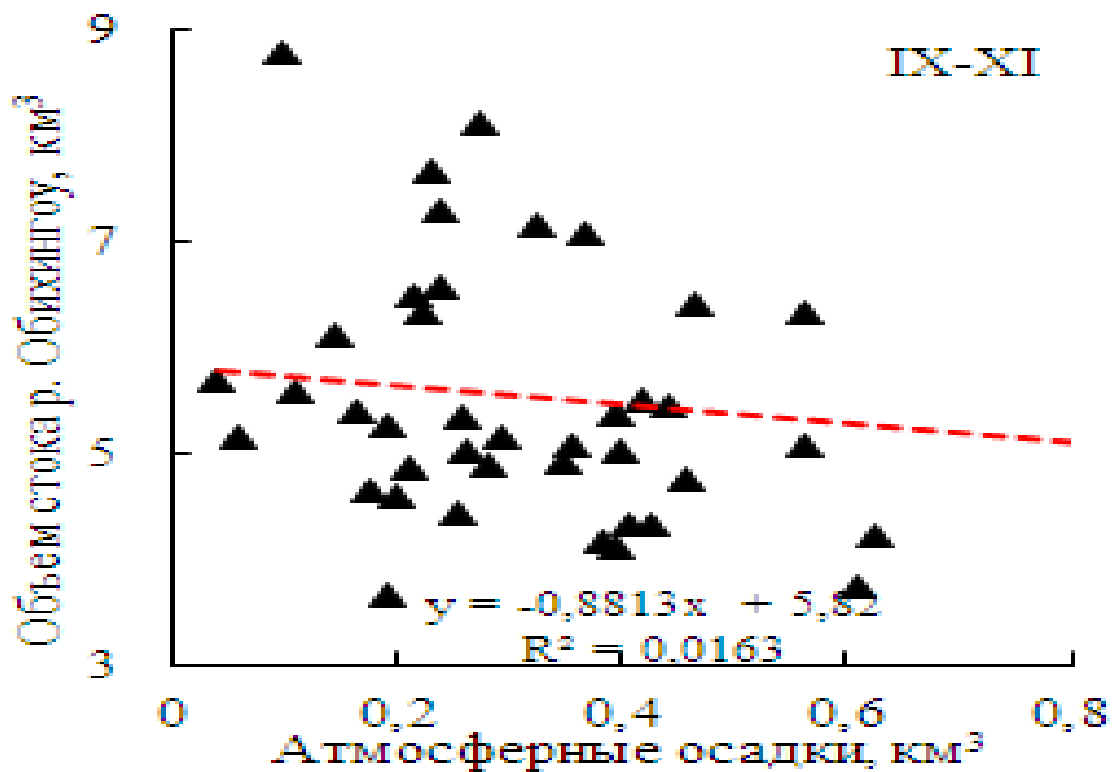
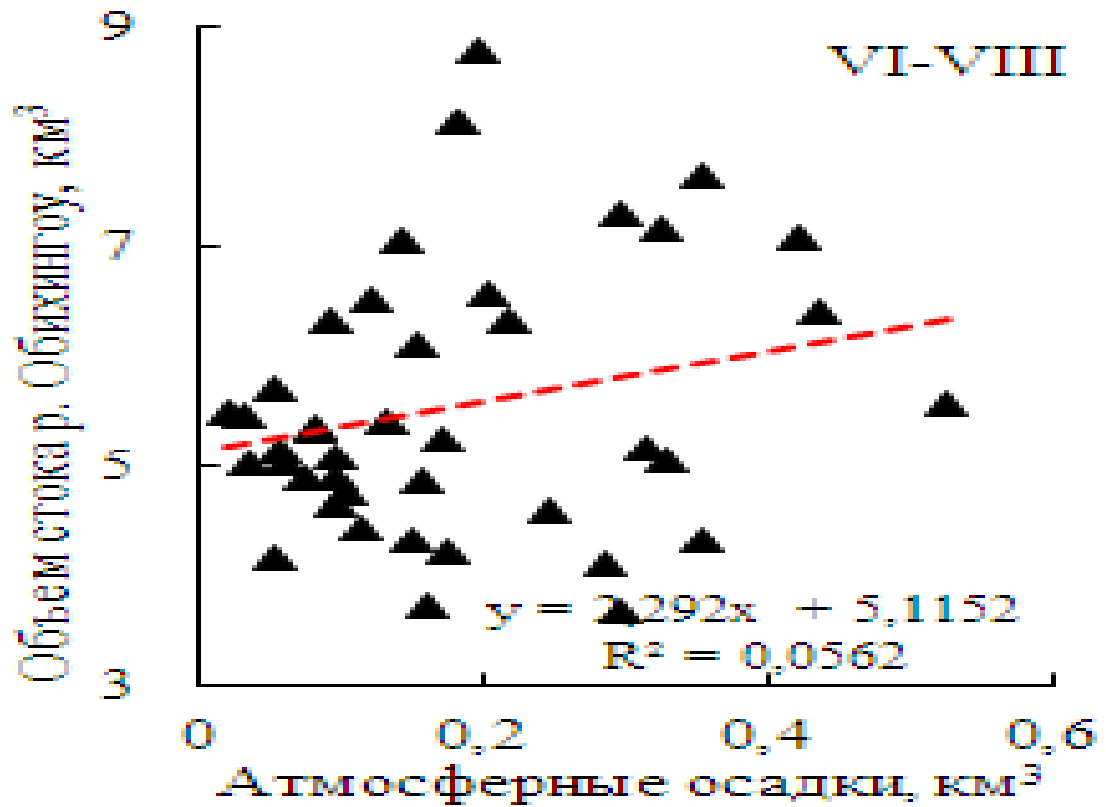
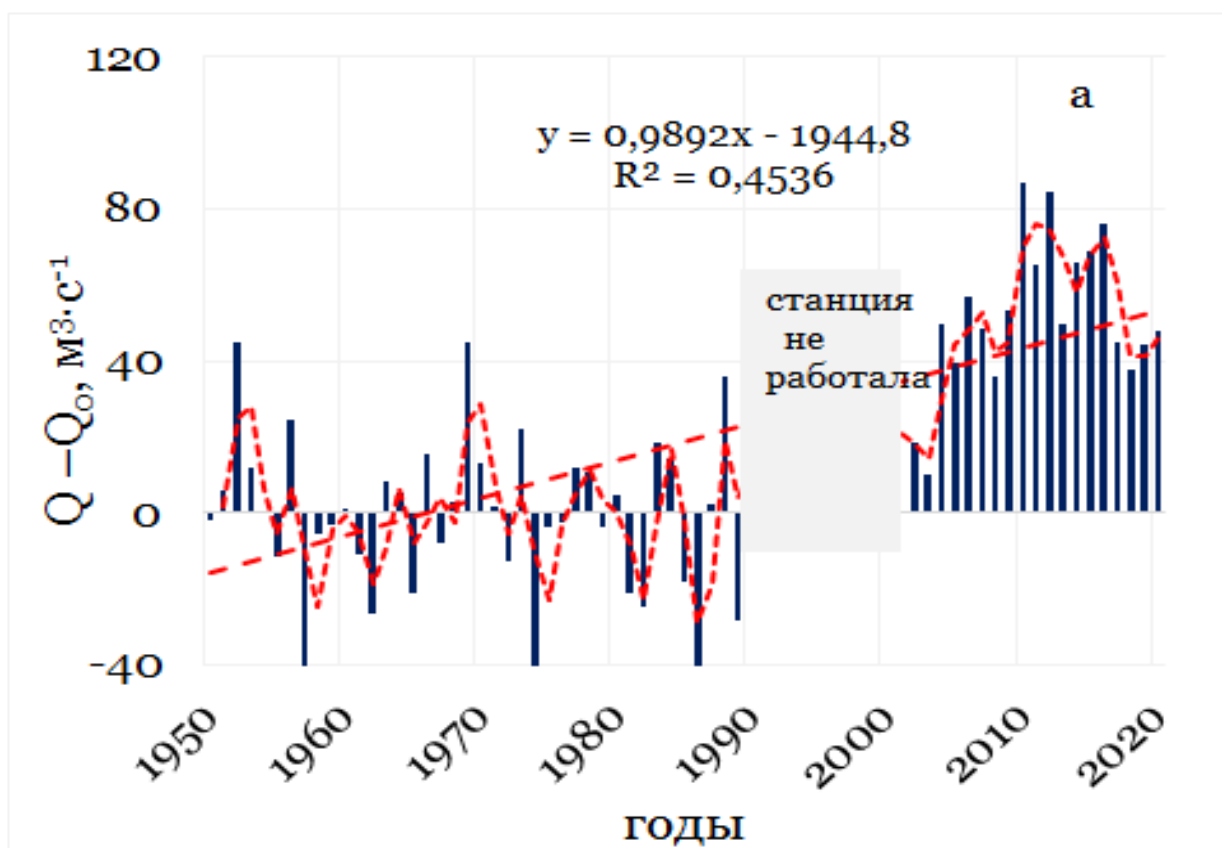


Рисунок 3.10 — Корреляция объема стока реки Обихингоу с количеством атм. осадков бассейна

3.4. Динамика расхода воды рек Сурхоб, Обихингоу и Вахш в условиях изменения климата

С учетом факта о том, что ледники являются тонким индикатором изменения климата и что они в основном расположены в бассейнах рек Сурхоб и Обихингоу сбор, обобщение гидрологических информации за период 1950-2020 гг. производились при широком использовании данных гидрологических станций Гарм, Тавильдара и Дарбанд соответственно в бассейнах рек Сурхоб, Обихингоу и Вахш.

С учетом существующей информации что площади оледенения на верховье реки Сурхоб подвергаются существенной деградации и нынешнее состояние ледника Гармо характеризуемое интенсивным таянием, а также сокращение оледенения в бассейне реки Обихингоу наблюдаемый на рисунке 3.11 (а, б, в) возрастающий тренд стока реки Вахш и двух ее основных притоков (Сурхоб, Обихингоу) с 1950 по 2020 годы с большей вероятностью связано с изменением состояния оледенения.



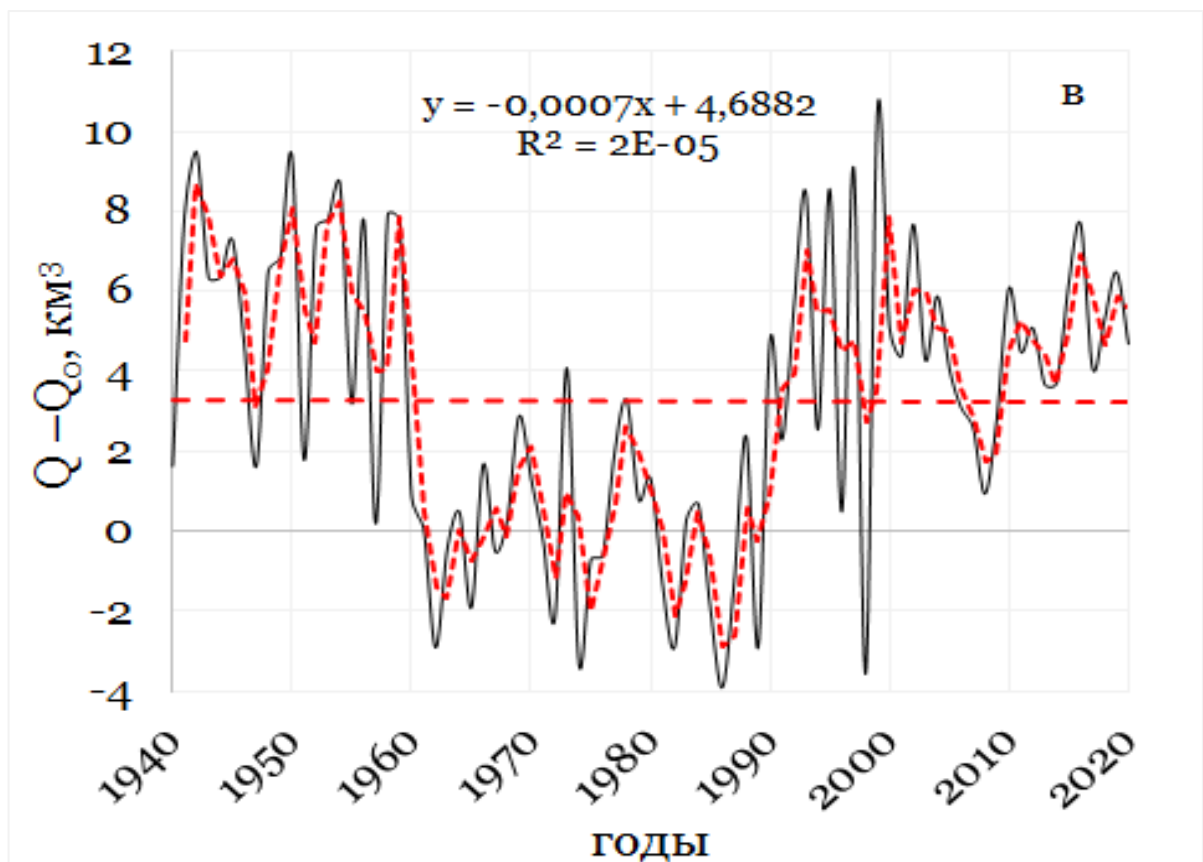
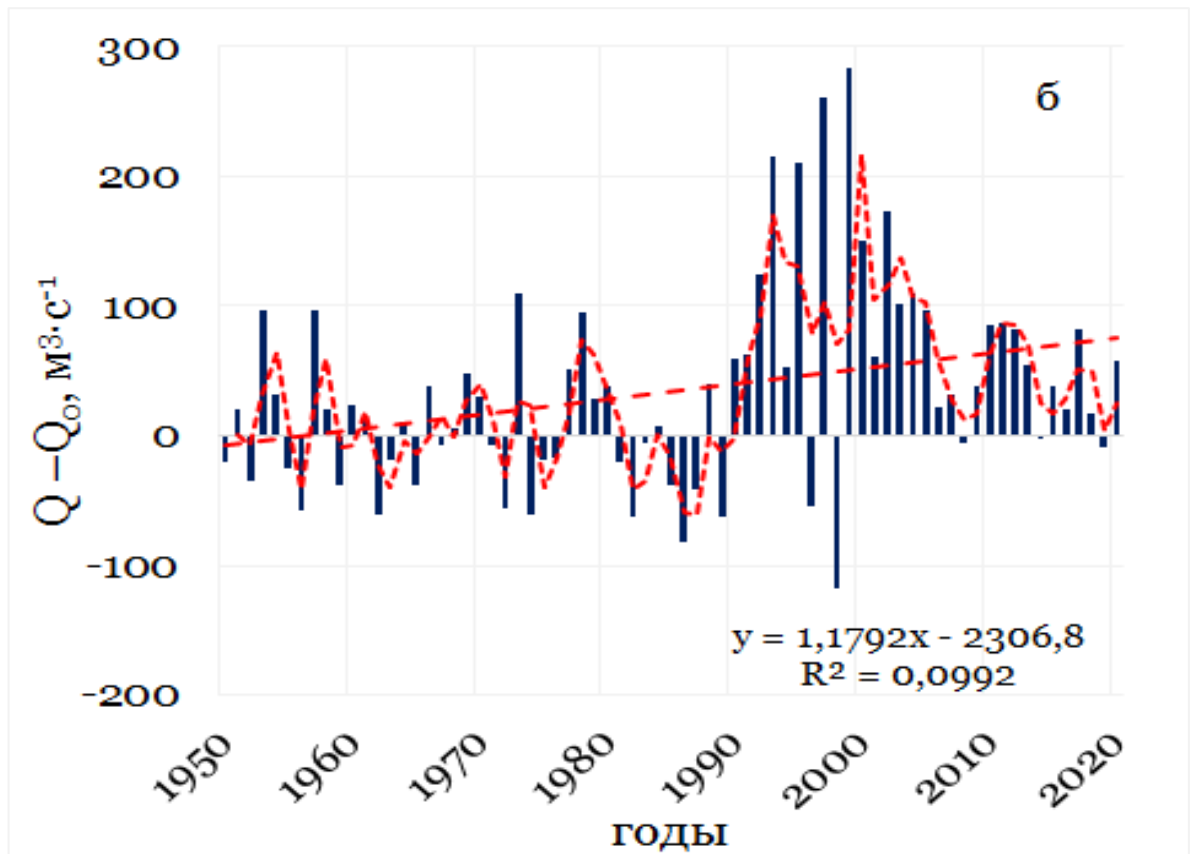


Рисунок 3.11. — Изменение стока рек Обихингоу (а), Сурхоб (б) и Вахш (в) за период 1950-2020 гг

В гидрологии, с точки зрения прогноза стока воды, важным вопросом является оценка долгосрочных колебаний годового стока и их периодичности.

В этом направлении выполнены ряд серьезных исследований с целью нахождения степени влияния различных геофизических явлений на колебания водности и водообеспеченности рек. Циклические колебания стока воды может проявляться в виде цепочки последовательного повторения маловодных и многоводных лет даже в отсутствии четкой периодичности в многолетних колебаниях стока. Длина циклов, их последовательность и степень отклонения от среднего значения внутри циклов за период лет различаются. Не всегда удается провести четкие границы между влажными и сухими группами.

Характерная особенность динамики стока за период 1932-2020 гг. для реки Вахш представлена на рисунке 3.12, является ее цикличность.

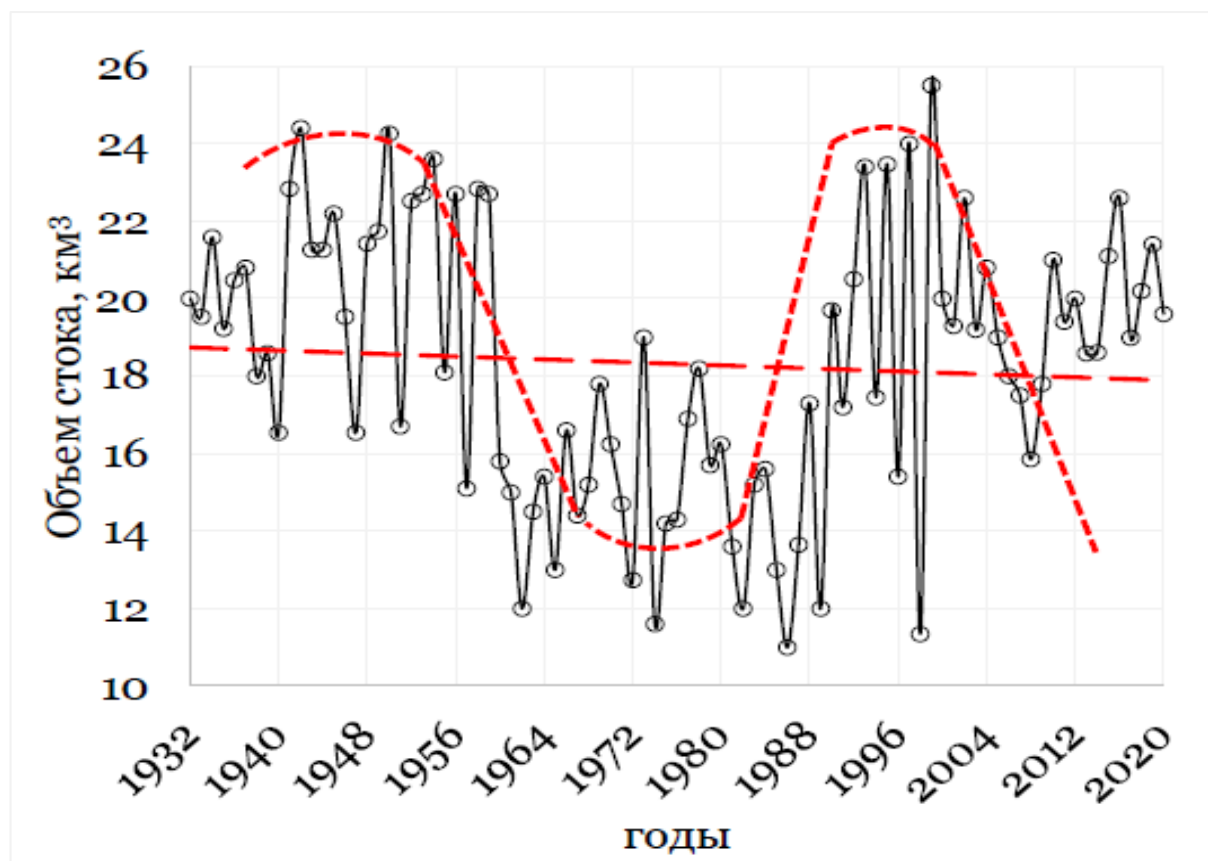


Рисунок 3.12. — Изменение объема воды реки Вахш за период 1932-2020 гг

Сумма всех отклонений модульных коэффициентов от средних значений и вычисление ординат выражением $\Sigma (K-1)$ называется дифференциальные интегральные кривые среднегодового стока, которая служит для выделения периодов маловодья и полноводья реки, т.е. учета в относительно короткие периоды флуктуации потока

На рисунке 3.13 приведена дифференциально - интегральная кривая среднегодового стока реки Вахш.

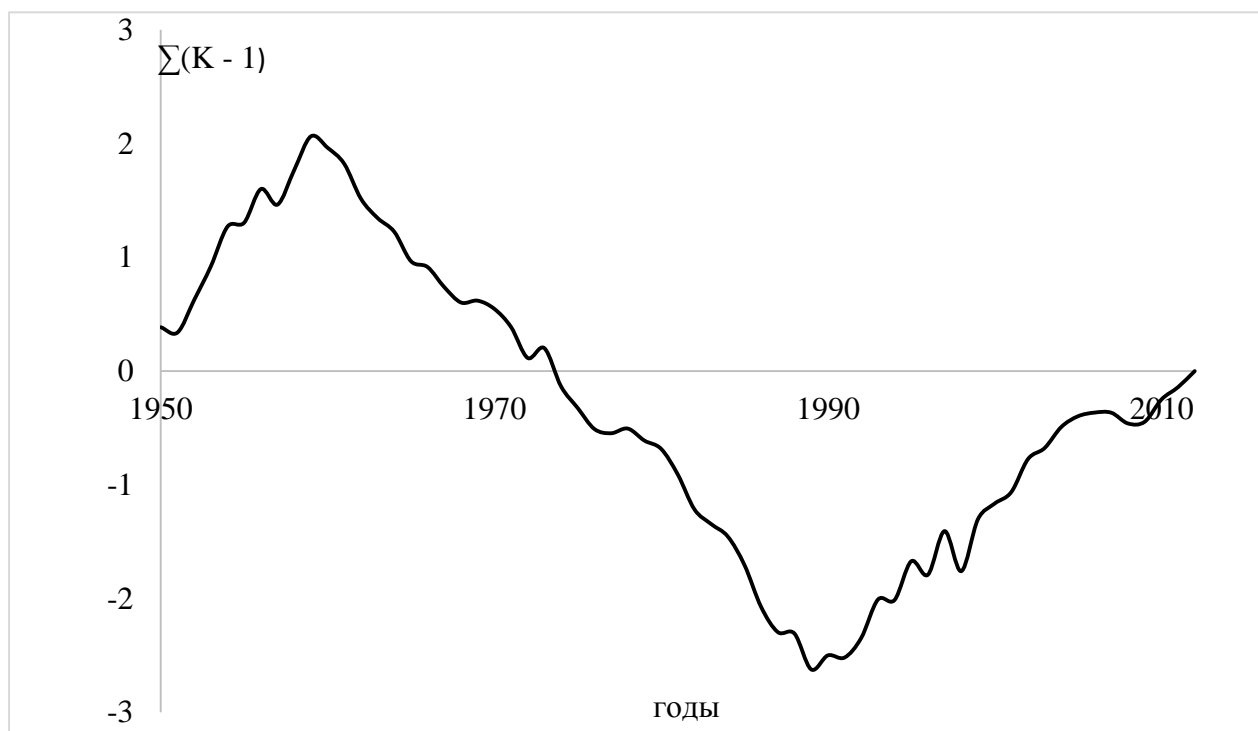


Рисунок 3.13. — Дифференциально - интегральная кривая среднегодового стока реки Вахш

Из рисунка 3.13 видно циклический характер изменения объема воды реки Вахш характеризуется убывающим трендом. Следует отметить, что появление цикличности в водотоке рек позволяет прогнозировать будущие сценарии изменения водного стока реки. Гармонический закон изменения объема воды реки Вахш за период 1932-2050 гг. было использовано для прогноза объема воды реки Вахш к 2050 году (рисунок 3.14).

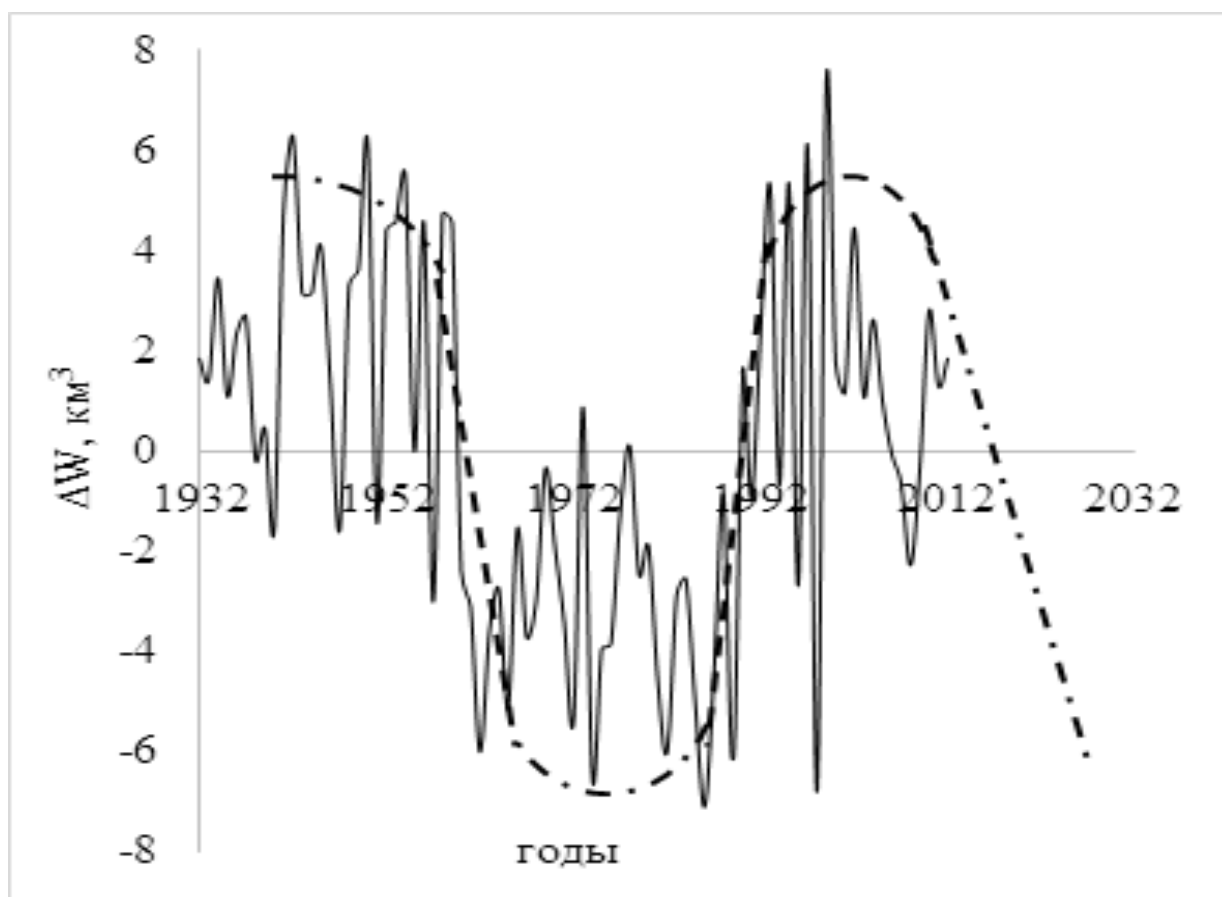


Рисунок 3.14. — Цикличность стока реки Вахш за период 1932-2012 гг. Согласно нашему прогнозу, к 2050 году сокращения стока реки Вахш составит относительно базисного периода (1960-1990 гг.) на 7%.

Водная безопасность, определяющая энергетическую и продовольственную безопасность региона Центральной Азии всецело связана с водными ресурсами двух крупных рек Амударьи и Сырдарьи бассейна Аральского моря. Амударья с ее притоками – рек Вахш и Пяндж наиболее крупная по площади водосбора и водоносности река Центральной Азии.

Гидроэнергетический потенциал реки Вахш оценен в 251,15 млрд. кВт·ч с технически возможным и экономически целесообразным 37 млрд. кВт·ч.

Общая протяжённость реки Вахш 17073 км с площадью оледенения около 5000 км². В среднем площадь орошаемых земель в бассейне Амударьи составляет 3,8-4,0 млн. га. Амударья считается рекой 80% годового стока

которой формируется за счет таяния снега и ледников в горах Памира. Ныне обеспечение водной безопасности, рационального планирования режима работы гидротехнических сооружений и сельского хозяйства для бассейна реки Вахш является актуальной.

В бассейнах горных рек Центральной Азии таяние снегов и ледников являются важными гидрологическими процессами и основными источниками питания рек благодаря которому их сток проявляет особенную чувствительность к изменению климата.

Изменение температуры особенно чувствительно в бассейнах высокогорных рек с широким запасом снега и ледников, так как в большинстве случаев температурный режим определяет динамику сезонного изменения стоков рек. Анализируя реакции стока рек Пянджа и Вахша на изменение климата в рамках модели гидрологии водораздела предположено, что в районах с преобладанием снега и ледников среднегодовой сток рек увеличивается до 2060 года из-за увеличения скорости таяния снега/льда и начиная с 2080 года происходит уменьшение среднегодового стока рек [73].

Таяние ледников является важным источником воды в бассейнах Амударьи и Сырдарьи, учитывая сухой и теплый климат ниже по течению [130,131]. По расчетам на основе Реестра ледников Рэндольфа (версия 2.0) общая площадь оледенения в бассейне Амударьи составляет $10\,289\text{ км}^2$ (1,3 % от общей площади бассейна $799\,261\text{ км}^2$) и 1596 км^2 в бассейне Сырдарьи (0,14 % от общей площади бассейна $1\,117\,625\text{ км}^2$) [131]. В бассейнах рек Амударья и Сырдарья вместе взятых 50 % общей площади ледников составляют ледники с площадью поверхности менее 25 км^2 и 11 % площади ледников составляют ледники площадью менее 1 км^2 . Средний размер ледника в бассейне составляет $0,21\text{ км}^2$.

В течение последнего столетия произошли существенное уменьшение площадей оледенения из-за изменения климата [47,64,132-143].

Из результатов прогнозов стока рек, проведенных в рамках моделей HES-HMS (Гидрологический инженерный центр систем гидрологического

моделирования) и GCMs (модели общей циркуляции) следует, что среднегодовой расход воды в будущем увеличится в бассейне реки Вахш из-за повышения температуры воздуха и постепенное изменение режима гидрологического стока в течение года, когда высокие стоки возникают в начале гидрологического года, особенно на выходе из заснеженных суббассейнов. Это связано с более ранним таянием снега/льда при более высоких температурах воздуха, а также с постепенным изменением агрегатного состояния осадков от твердой(снег) к жидкой (дождь) при повышении температуры воздуха [73].

3.4.1. Корреляционные зависимости между расходами вод рек Сурхоб, Обихингоу и атмосферных осадков бассейнов

Для реализации программ по комплексному мониторингу сложных высокогорных систем предназначенное для прогнозирования перспективы развития водных ресурсов, снежно-ледовых ресурсов, чрезвычайных природных явлений и гидрологию горных рек применение традиционных натурных измерений недостаточно и программы по мониторингу должны вовлекать современные дистанционные методы зондирования. Такие программы должны реализоваться комплексно, т.е. мониторинг при учете всех компонентов - климата, ледников и речного стока в водосборных бассейнах рек. при проектировании сети мониторинга [11].

Из рисунка 3.15 где приведены корреляции объема стоков рек Обихингоу, Сурхоб следует, что в формировании стока главной реки Вахш вклад реки Сурхоб со значением среднемноголетнего стока 10.73 км^3 является преобладает реку Обихингоу с со средним многолетним стоком 5.56 км^3 . Как видно из рисунка 3.15 коэффициент корреляции взаимосвязи стоков рек Вахш и Сурхоб около единицы напротив корреляции реки Обихингоу с рекой Вахшем равного 0.83.

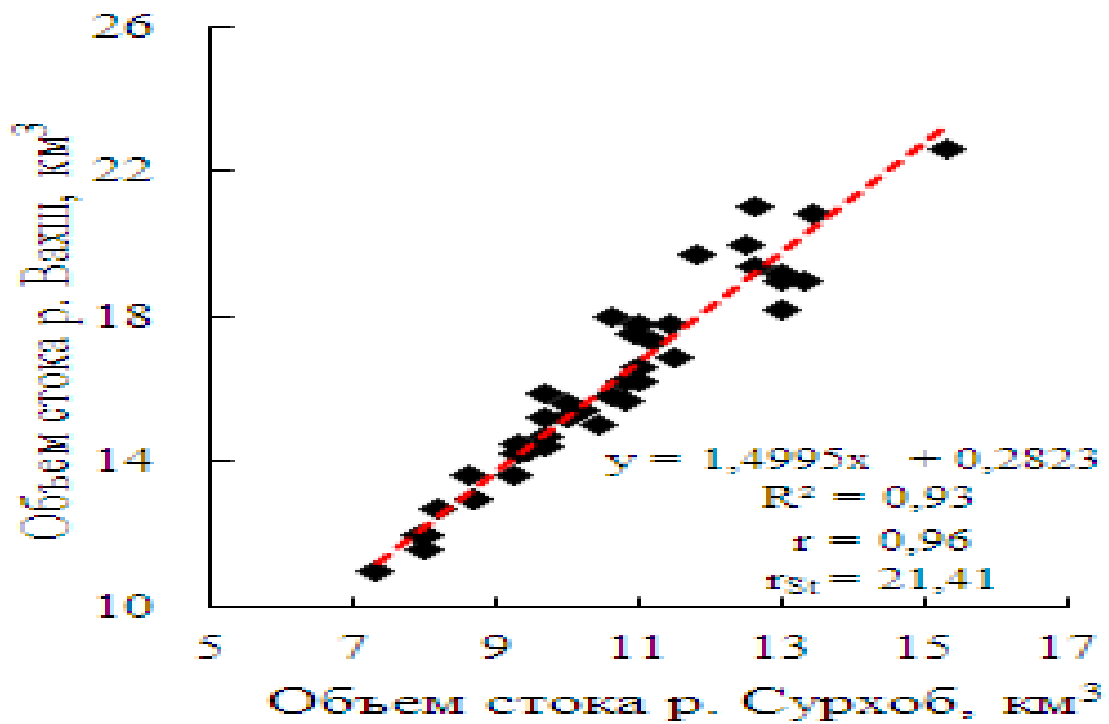


Рисунок 3.15. — Корреляция объемов воды рек Обихингоу и Сурхоб с объемом воды реки Вахш

ГЛАВА IV. МЕТЕОРОЛОГИЯ БАССЕЙНОВ РЕК ВАНЧ И ГУНТ, ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

4.1. Исследование корреляционных зависимостей атмосферных осадков бассейнов и стока воды притоков реки Пяндж

В настоящем разделе представлены результаты исследований по нахождению корреляционных зависимостей между среднегодовыми стоками рек Ванч, Гунт и метеорологическими параметрами речных бассейнов с использованием графических и аналитических методов (уравнение регрессии).

Основными источниками обеспечения бассейна реки Гунт влага из Средиземноморья переносимыми западными воздушными массами. В этом аспекте западно-индийские муссоны и южные циклоны также вносят определенный вклад [144].

Были использованы данные гидрометеорологической Хорог (2077 м.н.у.м), метеостанции Хумроги (1737 м.н.у.м) и гидрологической станции Бичихарв в бассейнах рек Ванч и Гунт соответственно за период 1940-2020 гг. Были рассчитаны коэффициенты регрессии и корреляции для стока рек Ванч и Гунт и их зависимость от метеорологических условий бассейнов рек.

Учитывая различные значения площади водосборов рек Ванч и Гунт, для соответствующих расчетов и заключений были использованы значения удельных расходов рек, результаты которых представлены на рисунке 4.1.

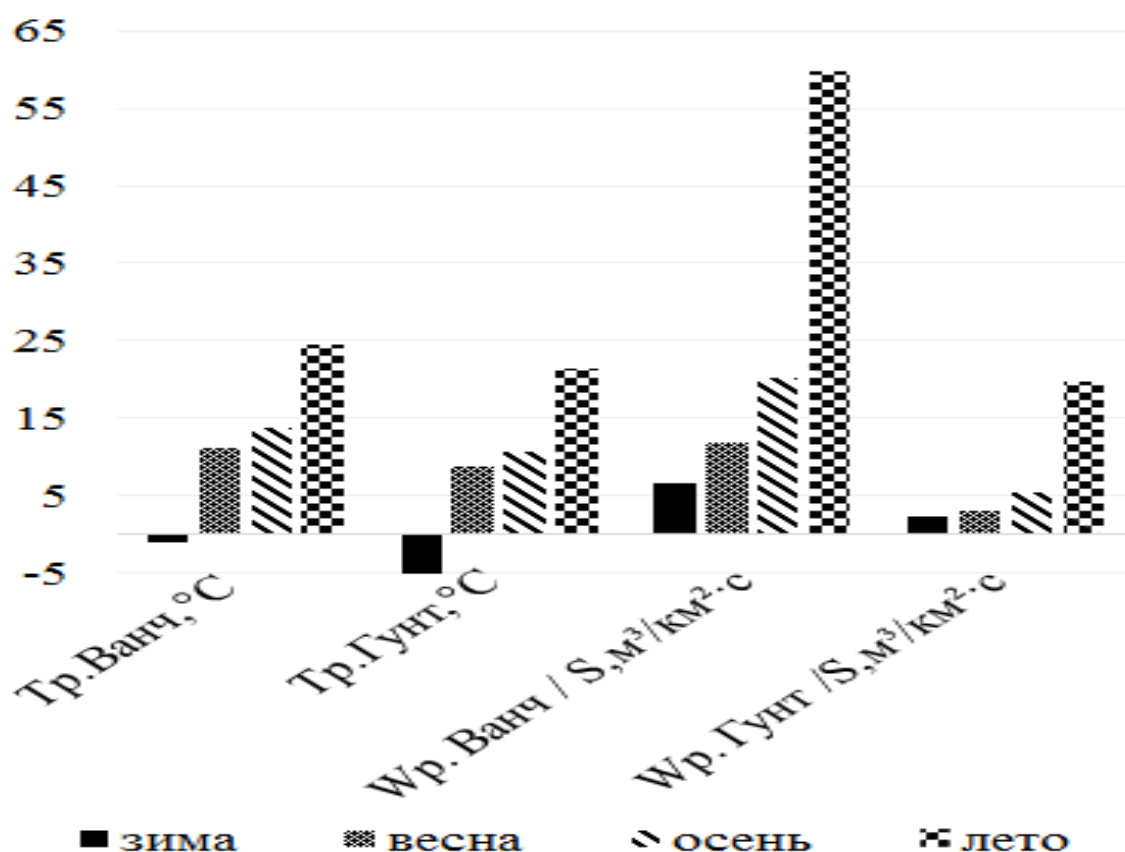


Рисунок 4.1. — Сезонное распределение многолетней температуры и удельного стока в бассейнах рек Ванч и Гунт

Изменение среднегодовой температуры в бассейнах рек Ванч и Гунт с 1940 по 2020 год составляет 0,25 °C/год и 0,11 °C/год соответственно с разницей в 2,4 °C весной и 3,0 °C летом, что связано с высотным фактором расположения метеостанций Хорог (2077 м) и Хумроги (1737 м) в бассейнах рек Гунт и Ванч. В свою очередь, разница в среднегодовом удельном расходе реки Ванч и Гунт составляет 8,81 м³/км²·с весной и 40 м³/км²·с летом.

На рисунке 4.2 показана корреляция между среднегодовыми осадками бассейнов рек Ванч и Гунт.

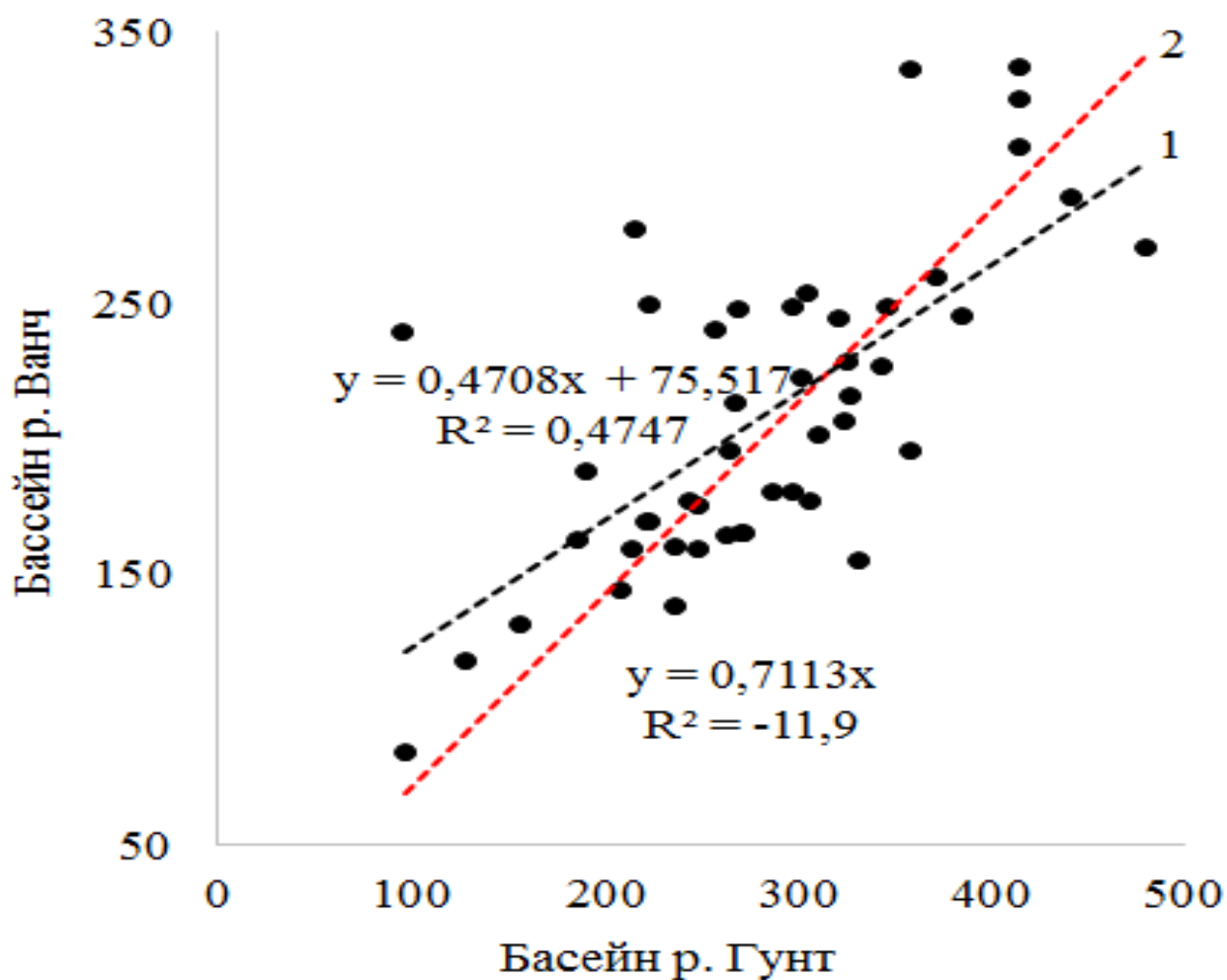


Рисунок 4.2. — Соотношение среднегодовых осадков бассейнов рек Ванч и Гунт: 1 - графический метод; 2 - аналитический (по уравнению) метод

Из рисунка 4.3 следует, что между осадками в бассейнах рек Ванч и Гунт наблюдается тесная корреляция, означающая обеспечение бассейнов обеих рек один и тем же источником атмосферных осадков – влажная воздушная масса из Средиземноморья.

Тесная корреляционная зависимость атмосферных осадков в бассейнах рек Ванч и Гунт, как видно из рисунка 4.3, отражается на формировании стоков рек. Однако, тесная взаимосвязь стоков рек, главным образом, обусловлена фактором влияния потепления климата на площадях оледенения бассейнов рек.

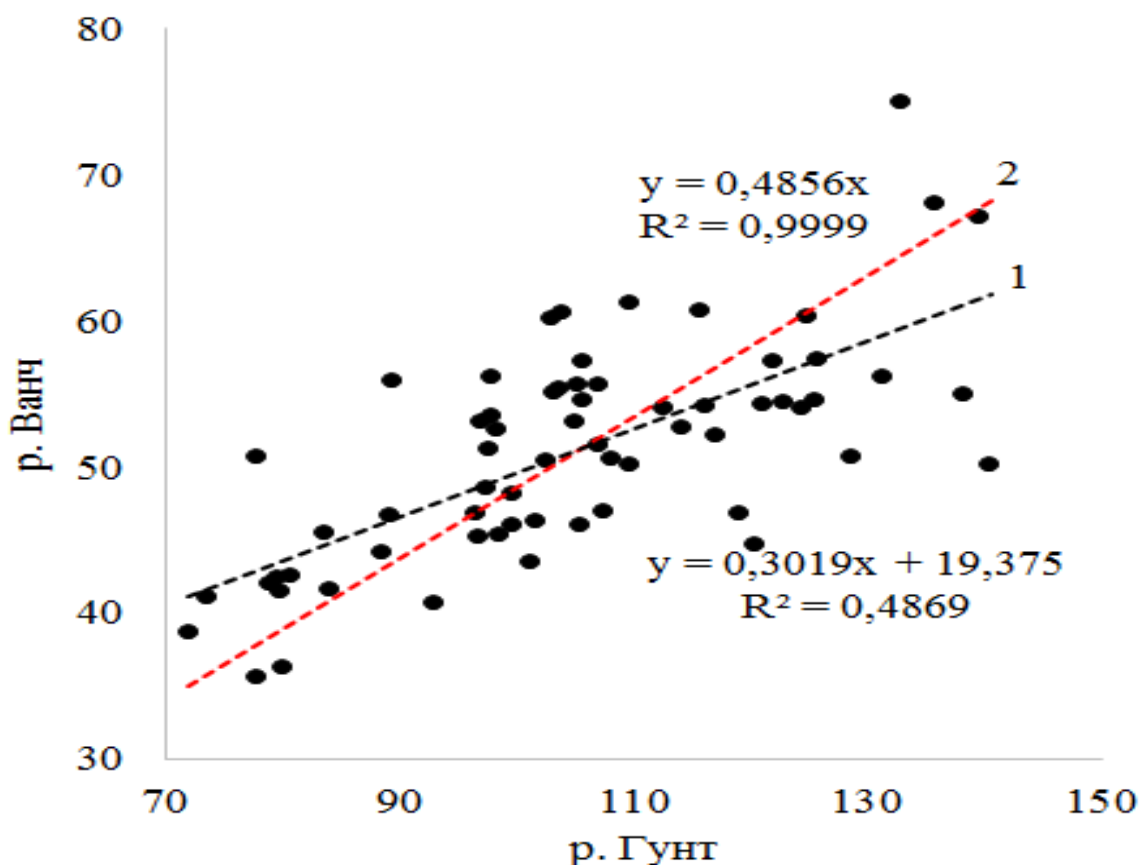


Рисунок 4.3. — Взаимосвязь между среднегодовыми расходам воды реки Ванч и реки Гунт: 1 - графический метод; 2 - аналитический (по уравнению) метод

На самом деле, тесная взаимосвязь стоков рек, главным образом, обусловлена деградацией оледенения бассейнов рек.

Помимо изучения корреляционных зависимостей речного стока на Центральном Памире, были проведены корреляции стоков между рекой Вахш в западной части Памира с реками Гунт и Ванч (рисунок 4.4). Как видно из рисунка 4.4, между значениями стока реки Вахш и рек Ванч и Гунт почти не наблюдается корреляционная зависимость, хотя источником обеспечения атмосферной влаги бассейна реки Вахш также является воздушная масса из Средиземноморья.

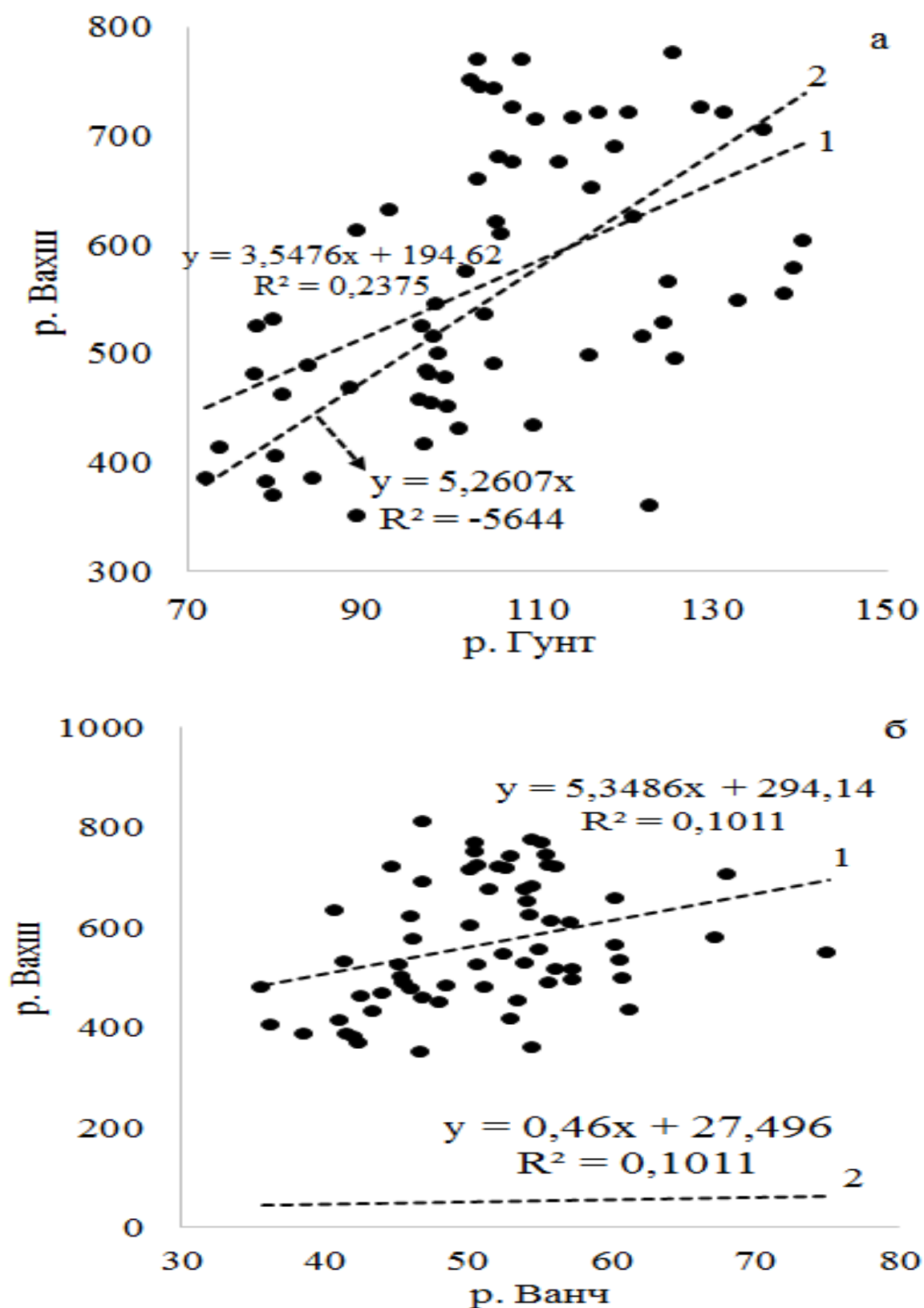


Рисунок 4.4. — Взаимосвязь между среднегодовыми стоками реки Вахш и рек Гунт (а) и Ванч (б): 1 - графический метод; 2 - аналитический (по уравнению) метод

Обнаруженное явление подтверждает о существенном влиянии орографии горной местности на распространение воздушных масс и на формировании местных климатических условий в каждом межгорном пространстве.

4.2. Гидрохимия притоков реки Пяндж по степени их применимости в орошении орошаемых земель

Ныне в условиях усиления антропогенной нагрузки на водные артерии проблема качества воды становится актуальной закрепленной во многих документах ООН, ОБСЕ, международных организациях и правительств. В отличие от коммунально-бытового водоснабжения загрязнители в составе используемых для сельского хозяйства вод проходят цепочку почва-растение-организм человека. Многочисленные примеры реализации такой цепи попадания различных химических ингредиентов и даже тяжелых металлов обострило внимание ученых на комплексные исследования гидрохимии вод, используемые для ирригации. Естественно, что загрязнение водных артерий в основном происходят в среднем течении и низовьях рек, учитывая почти полное отсутствие антропогенного влияния на верховьях горных рек. При этом не следует забывать о существенной роли процессов выветривания горных пород, т.е. вымывания речной водой химических элементов состава горных пород. Таким образом наряду с комплексным изучением гидрометеорологических условий бассейнов рек важно проведения планомерного и систематического мониторинга гидрохимических показателей речных систем как залог обеспечения всех отраслей экономики, коммунально-бытового водоснабжения и сельского хозяйства безопасной водой [145], учитывая, что водные ресурсы большинства рек Центральной Азии и реки Пяндж в том числе широко применяются для орошения сельскохозяйственных земель [146].

Требование орошаемого земледелия к качеству поливной воды основано на влиянии состава воды на рост сельскохозяйственных культур и на

водопроницаемость почвы. Степень минерализации (концентрация солей различных катионов) поливной воды является основным фактором, влияющим на рост сельскохозяйственных культур и проницаемость почвы. При оценке критерия применимости вод для ирригации необходимо учитывать два противоположных фактора: концентрацию солей, которая обычно оценивается по электропроводности (ЕС); влияние натриевой соли, которая отражается в коэффициенте адсорбции натрия (SAR) рассчитываемого с учетом концентраций Na^+ , Ca^+ и Mg^+ в поливной воде.

Влияние коэффициента адсорбции натрия отражается в уменьшении проницаемости почвы по мере его нарастания [147]. Влияние воды, богатой Na^+ на физические и химические свойства почвы и здоровье растений было изучено и широко обсуждалось в [148-156].

В [157] предложены рекомендации по оценке комбинированного воздействия коэффициента адсорбции натрия и электропроводности в оросительной воде на проблемах инфильтрации почвы.

В условиях глобального изменения климата и нарастающего темпа дефицита воды повторное использование сточных вод для орошения является актуальной как для расширения имеющихся водных ресурсов, так и для предотвращения сброса в поверхностные воды. Переработанные сточные воды, например, производимые муниципалитетами и фермами в Калифорнии, все чаще повторно используются для орошения и ожидается что к 2030 году повторное использование сточных вод в штате Калифорния достигнет 3.0 Млрд. м^3 [158].

В растениеводстве наиболее нежелательными химическими элементами являются натрий (Na^+), (K^+) и магния (Mg^+) при их высоких концентрациях [148,155,158-165].

Все процитированные выше исследования показали, что отрицательное влияние K^+ и Mg^{2+} на гидравлическую проводимость насыщенной почвы помещает их между крайними значениями Na как худшего почвенного диспергатора и кальция (Ca^+) как лучшего почвенного флокулянта: $\text{Na}^+ > \text{K}^+ >$

$Mg^{2+} > Ca^{2+}$. Хотя такое упорядочение негативных воздействий катионов на гидравлические свойства почвы количественно установлено давно [166,167] оно еще не было включено в стандартную критерию качества орошаемой воды.

Обострение проблемы дефицита воды, наблюдаемое во всем мире, стимулирует научно-исследовательские и прикладные работы по разработке технологии повторного использования сточных и возвратных вод [162,164]. Для оценки степени применимости вод для орошения по содержанию натрия широко применяется доля адсорбированного натрия (SAR), которая принята как индикатор содержания натрия в водной среде и в почве определяемой выражением [168]:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (2)$$

В социально-экономическом значении сельское хозяйства Центральной Азии, остается важнейшей отраслью экономики в большинстве государств региона. Жизнеобеспечение основной части населения напрямую зависит от продуктивности и эффективности земледелия, поскольку большая часть населения региона (от 43% в Казахстане до 75% в Таджикистане) проживает в сельской местности. Общая площадь пахотных земель в Республике Таджикистан составляет 720,2 тыс. га, из которых 502,8 тыс. га являются орошаемыми. На территории Таджикистана вода используется для нужд ирригации в ограниченном объеме. Например, суммарный отбор воды из реки Пяндж составляет около 300.000 м³/год [169].

На Памире из общей площади, занимаемой горами 25700 км² лишь 240 км² (менее 1%) относятся к пахотным землям. Длительный период зимнего сезона, сухости климата процессы почвообразования протекают достаточно медленно и почвы региона маломощные и слабогумусированные [170-172].

Таким образом можно утверждать, что воды речных систем горного Памира на территории самой Республики Таджикистан для нужд ирригации используется в ограниченном объеме, внося существенный вклад в формировании стока трансграничной реки Амударья.

В последнее время появились цикл работ утверждающие существенного вклада атмосферного CO_2 в выветривание горных пород. Механизм такой реакции — это образование гидрокарбоната (HCO_3^-) который легко вступает во взаимодействия с минералами в результате которого выщелачиваются химические элементы. Это приводит к обогащению ионного состава речных вод и может способствовать к значительному увеличению концентрации элементов представляющие опасность для жизнедеятельности флоры и фауны и человека [173].

Для проведения химических анализов и определения применимости вод для ирригации отбор проб воды осуществлялись из рек Шахдара (3748903N 71.58356E), Гунт (38.87092N 69.99751E), Бартанг (37.93236N 71.59297E), Язгулем (38.15266N 71.33961E) и Ванч (38.30353N 71.33006E) -притоков трансграничной реки Пяндж.

Результаты химических анализов по определению катионов щелочных и щелочноземельных элементов в составе вод притоков – рек Бартанг, Гунт, Шахдара, Ванч и Язгулем приведены на рисунке 4.5. Из рисунка 4.5 видно, что почти все представленные притоки реки Пяндж характеризуются высокими содержаниями катионов кальция и магния.

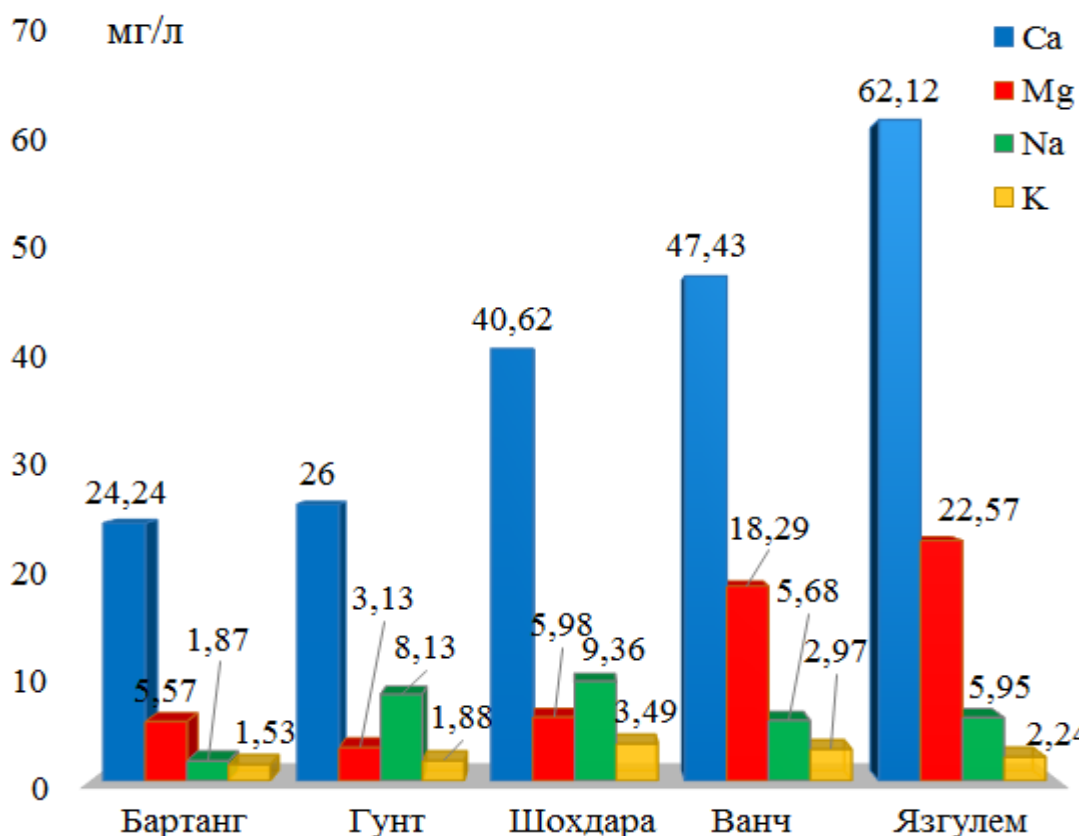


Рисунок 4.5. — Распределение содержания катионов Na^+ , K^+ , Ca^{2+} и Mg^{2+} в реках Бартанг, Гунт, Шахдара, Ванч и Язгулем

Обогащение речных вод катионами магния и кальция прежде всего обусловлено процессами вымывания горных пород. Наблюдаемый эффект может свидетельствовать о минералогических составах горных пород по руслам рек.

Отсутствие промышленных и горно-перерабатывающих предприятий в бассейнах рек дает основание предположить, что горные породы русла рек, в особенности рек Язгулем, Ванч и Шахдара богаты кальцитом, арагонитом и доломитом богатыми содержанием кальция и магнием. Богатая содержанием катионов щелочноземельных элементов речные воды приводит к существенному увеличению, как видно из рисунка 4.6 и рисунка 4.7, степени минерализации и жесткости вод.

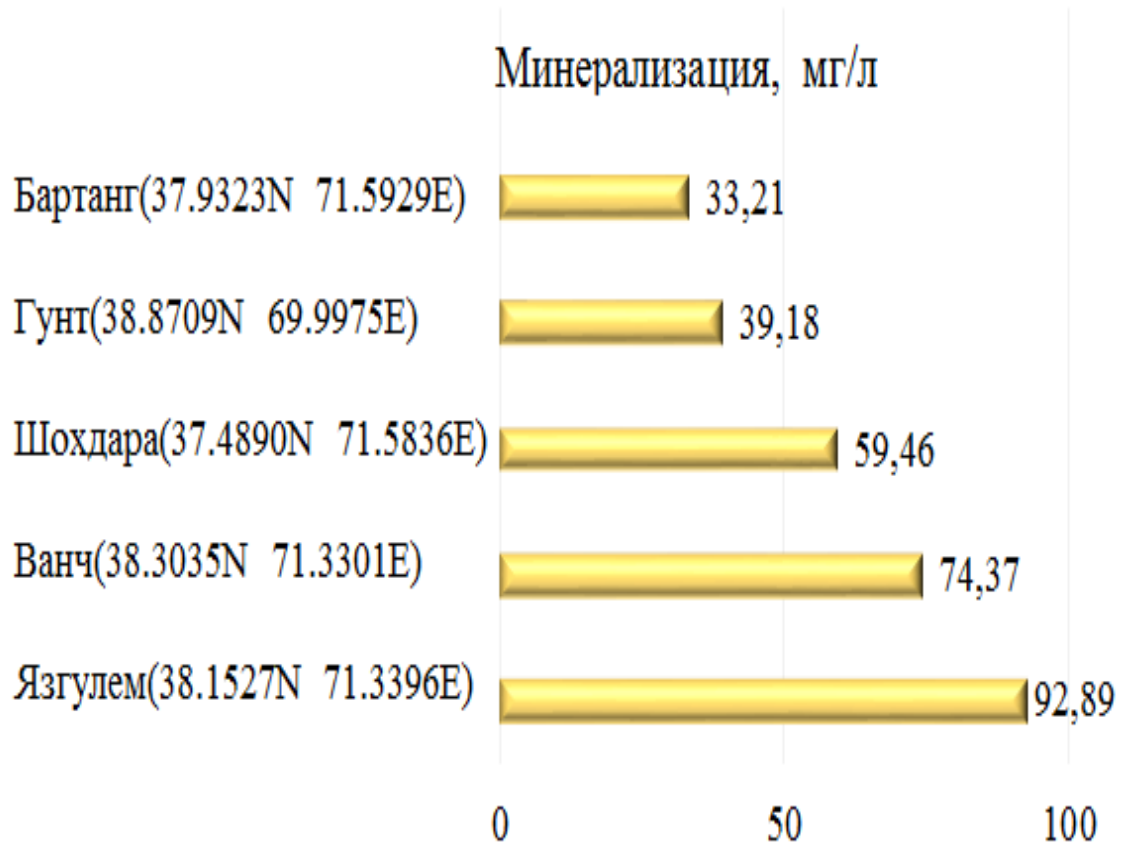


Рисунок 4.6. — Значений минерализации рек Бартанг, Гунт, Шахдара, Ванч и Язгулем

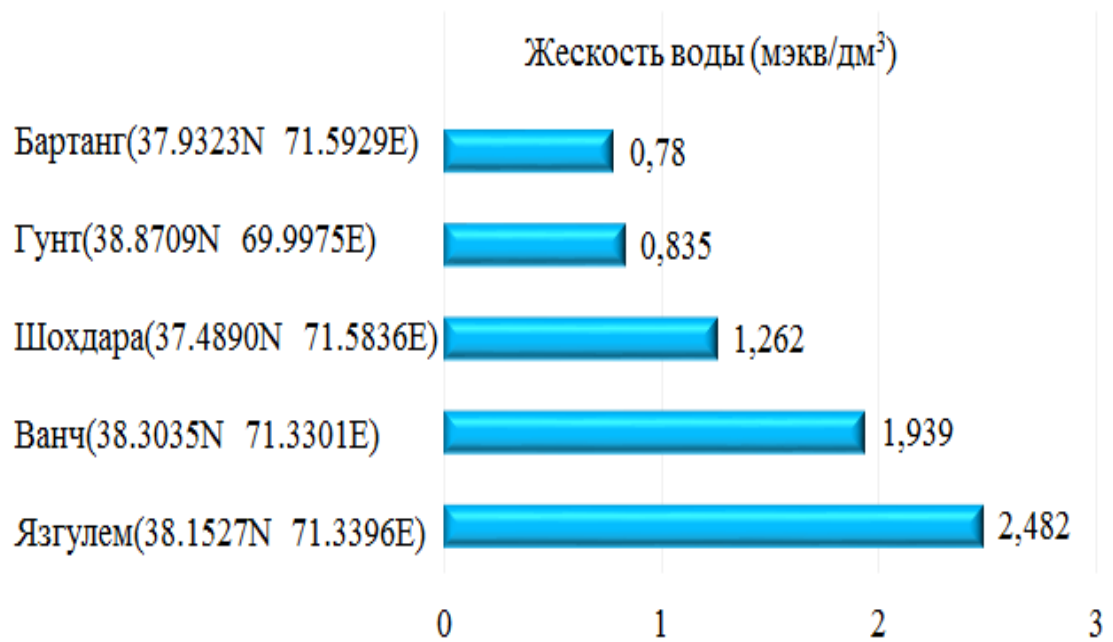


Рисунок 4.7. — Значений жесткости вод рек Бартанг, Гунт, Шахдара, Ванч и Язгулем

С использованием уравнения (1) вычислялись значений SAR и %Na для притоков трансграничной реки Пяндж – Бартанг, Ванч, Гунт, Шахдара и Язгулем, результаты которых представлены на рисунке 4.8.

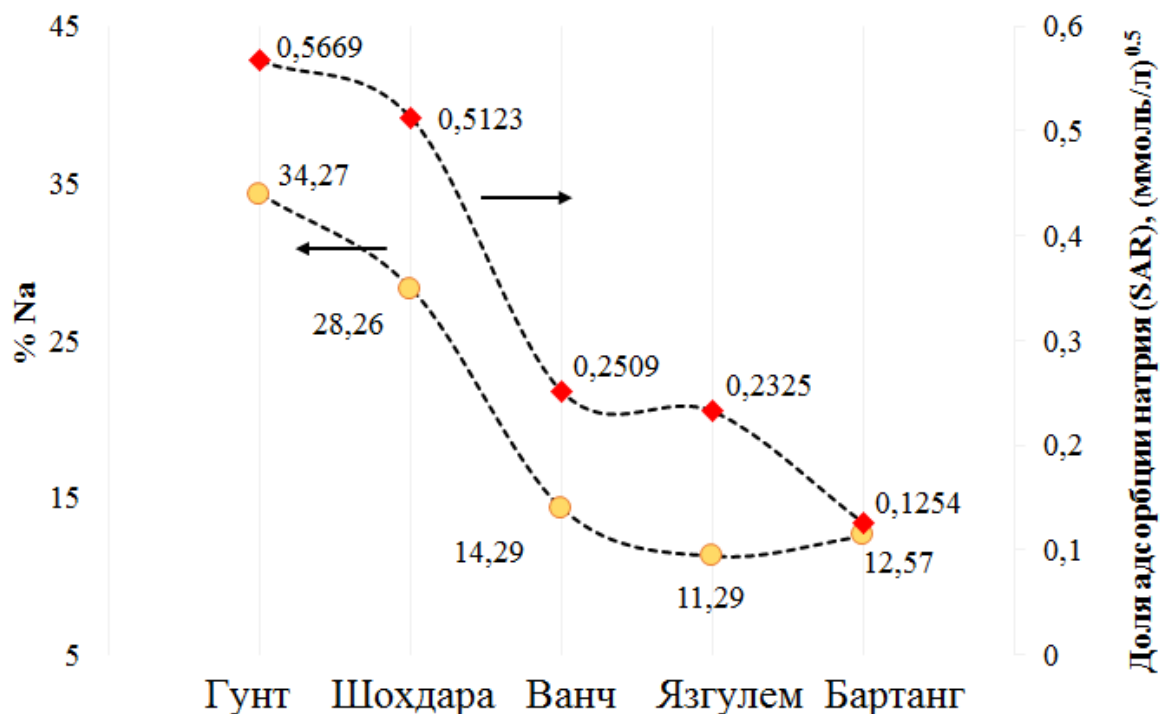


Рисунок 4.8. — Процентное значение Na^+ и доля его адсорбции для притоков трансграничной реки Пяндж

Из рисунка 4.8 следует, что наиболее высокое содержание катионов натрия наблюдается в реке Гунт и наименьшее значение в Бартанге. Естественно, высокая концентрация катиона в речной воде способствует его большей адсорбционной способности и это демонстрирует кривая SAR на рисунке 4.8.

Ощутимое содержание катионов естественно отразится на изменении основных его характеристик таких как возможность обмена (ESP) и растворимости (SSP). Об этом может свидетельствовать представленная на рисунке 4.9 значения ESP и SSP реки Гунт.

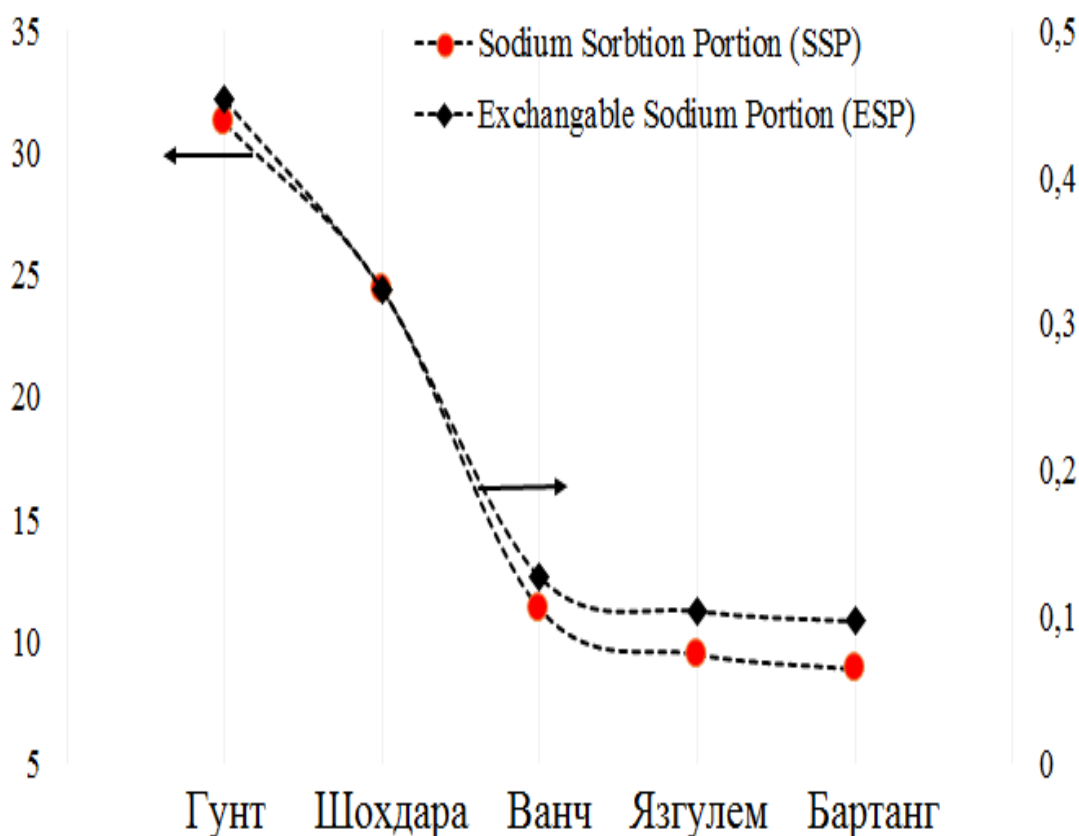


Рисунок 4.9. — Значений SSP и ESP притоков трансграничной реки Пяндж

С помощью термодинамических аргументов SAR можно связать с процентным содержанием обменного натрия [174] ключевым свойством почвы, влияющим на проницаемость. Хотя выше отмечалось о негативном влиянии больших концентрации K^+ , однако пока отсутствует стандарты по предельным значениям доли адсорбируемого калия (PAR) [175]. Однако в этих хорошо известных рекомендациях влияние калия не учитывается с обоснованием что концентрации Na в орошаемых почвах обычно намного выше, чем у K, но более важная причина заключается в том, что в Руководстве 60 Министерства сельского хозяйства США [168] делается вывод, что «обменный калий имеет лишь незначительное или не влияет отрицательно на физические свойства почв» Это послужило тому, что двухвалентные катионы Ca^+ , Mg^+ были объединены в одну группу [147]. При этом в [148] показано, что отношение воздухопроницаемости к

водопроницаемости является функцией процентного содержания обменного натрия (ESP) и процентного содержания обменного калия (EPP).

Основываясь на более ранней концептуальной работе [173] было предложено обобщенное уравнение для SAR, которое количественно оценивает, как различные эффекты Na^+ и K^+ как уменьшающие проницаемость почвы, так и различные эффекты Mg и Ca как флокулирующие катионы, повышающие проницаемость почвы [161]. Коэффициент структурной стабильности катионов (CROSS) используется в качестве химической основы для различения катионов, способствующих агрегации почвенных частиц от катионов, способствующих диспергированию почвенных частиц [173]:

$$\text{CROSS} = (\text{Na} + 0.56 \text{ K}) / [(\text{Ca} + 0.60 \text{ Mg})/2]^{0.5} \quad (2)$$

О весьма значимой линейной корреляции между CROSS и концентрацией соли было отмечено в [163].

В [147] предложено оптимизация коэффициента структурной стабильности катионов:

$$\text{CROSS} = (\text{Na} + a \text{ K}) / [(\text{Ca} + b \text{ Mg}) / 2]^{0.5} \quad (3)$$

Здесь, где a и b-численные коэффициенты. Обобщением результатов исследований влияния щелочных и щелочноземельных катионов на структуру почвы был установлен следующий порядок их расположения по отрицательному воздействию: $\text{Na} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$ [166].

Согласно коэффициенту структурной стабильности катионов (CROSS) главное отрицательное воздействия катионов магния и калия является закупоривание пор почв, которое присуще также натрию и кальцию. В таком аспекте CROSS аналогичен SAR, однако почти всегда $\text{CROSS} > \text{SAR}$. Главное преимущество CROSS заключается в том, что учитывает влияние всех четырех основных катионов воды на физические свойства почвы.

единственным проверенным параметром качества оросительной воды, который учитывает влияние всех четырех основных катионов на физические свойства почвы. Он основан на предположении, что влияние К и Mg на проницаемость почв обусловлено дисперсией почвенных агрегатов и последующей закупоркой почвенных пор. Те же соотношения справедливы и для эффектов Na и Ca, следовательно, включение К и Mg не создает новых вредных механизмов для рассмотрения, и использование CROSS в качестве диагностического инструмента должно быть аналогично использованию SAR. Из уравнения следует, что во всех случаях $CROSS > SAR$.

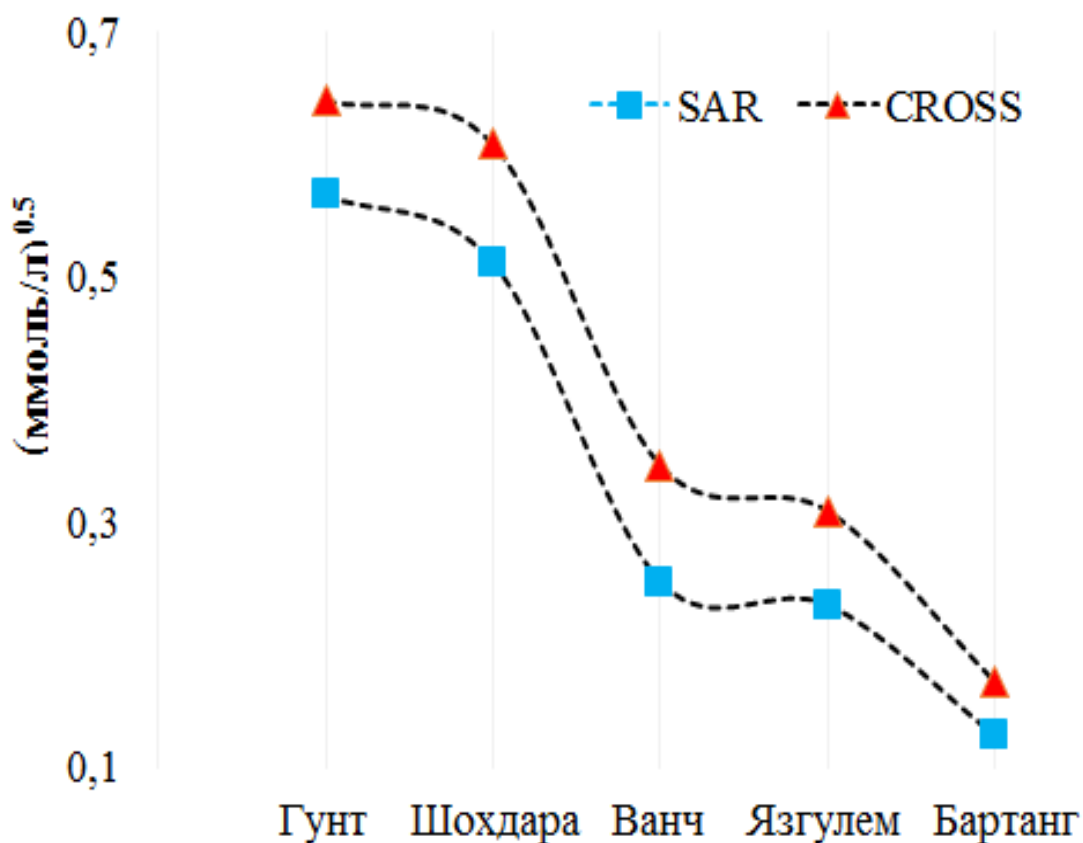


Рисунок 4.10. — Значений SAR и CROSS для вод притоков реки Пяндж

4.3. О механизмах влияния атмосферных условий в образовании химического состава река Шохдара и ее вклад в гидрохимию трансграничной реки Пяндж

Известно, что формирование гидрохимии главных рек происходит под непосредственным вкладом ее притоков. В свою очередь, химический состав природной воды определяется многими различными источниками растворенных веществ, включая газы и аэрозоли из атмосферы, выветривание и эрозию горных пород/почвы, реакции растворения или осаждения, происходящие под поверхностью земли, а также антропогенные воздействия, возникающие в результате деятельности человека [127].

Известно, что в условиях изменения климата горно-ледниковые бассейны переходят в квазиравновесное состояние и это порождает изменения ионного стока, приводящего к изменениям геохимических и геоэкологических процессов в бассейнах рек. В связи с этим, а также с учетом строгой зависимости орошаемых вод от ее качества вызывают необходимость к серьезным исследованиям ионного состава, транспортировки ионов вдоль русел рек, изучению физико-химических факторов, способствующих к седиментации и осаждению коллоидных систем [175-178].

Геологическая формация, петрографический состав наряду с растительностью и рельефа зоны формирования и русло реки являются также основными факторами существенно влияющие на гидрохимический состав водного объекта [179]. В последнее время с нарастанием проблемы потепления климата в обогащении речных артерий все более осязаемое влияние оказывает вымывание горных пород [180].

Продукты выветривания переносятся рекой как в растворенной, так и твердой фазах. Континентальная эрозия действует через два взаимодополняющих процесса – химическое выветривание и механическую денудацию. Годовой баланс массы растворенных и взвешенных твердых

веществ, переносимых реками, может быть использован для характеристики и количественной оценки химической и механической эрозии в их дренажных бассейнах [181].

В настоящем разделе работы представлены результаты исследований гидрохимии трансграничной реки Пяндж, являющейся одной из многоводных притоков реки Амударья, и установление вклада ее притока – реки Шохдара в формирование химического состава.

Объект исследования – река Шохдара с более 40 притоками длиной более десяти км с длиной 117 км с водосборной площадью бассейна 4228 км². Характерной чертой бассейна реки является большая площадь оледенения и развитая речная сеть. В формировании стока реки с более 39% и 41 % существенный вклад вносят снежно-ледниковые талые воды и подземные воды соответственно. Более 75% стока реки Шохдара протекает в период май-сентябрь [116].

Для обеспечения индивидуальности химического состава речных вод и определения влияния реки Шохдара на формирование гидрохимии реки Пяндж отбор проб воды осуществляли через каждые 500 – 600 м до и после их слияния, начиная с верховья по руслу рек. При отборе проб руководствовались методическими рекомендациями, изложенными в [182].

Элементный анализ проводили в США в лаборатории окружающей среды и геологии отдела геологических наук Университета Колорадо в Боулдере, а также в лаборатории химии влаги Института арктических и альпийских исследований с использованием масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) и ионной хроматографии. Критерием вклада реки Шохдара в формирование гидрохимии реки Пяндж был принят коэффициент корреляции Пирсона.

Выветривание горных пород, а также растворение эвапоритов являются основными факторами формирования химического состава вод горных рек. Условием выветривания карбонатных пород и их существенного вклада в формирование химического состава речных вод являются высокие значения

соотношения $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+ + \text{K}^+ (>6)$ и молярного соотношения $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ [181]. Расчеты с использованием данных таблицы 4.1 показывают, что для реки Шохдара соотношения $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ составляют соответственно 3.69 и 0.15, что свидетельствует о преобладании выветривания силикатных пород с определенной долей карбонатного выветривания (рисунок 4.11).

Таблица 4.1.- Химический состав воды реки Шохдара

Элемент	C, мкг/дм ³	Элемент	C, мкг/дм ³
As	0,52	Rh	0,043
Ba	28,680	Ru	0,223
Co	0,235	Sc	2,392
Cr	24,064	Se	0,604
Eu	0,087	Sm	0,074
Fe	716,98	Sr	130,38
Ni	6,342	Ti	0,907
Rb	3,071	U	2,702
Zn	7,104	V	0,365
	C, мг/дм ³		C, мг/дм ³
Ca	40,463	Na	9,049
Mg	6,011	Si	4,232

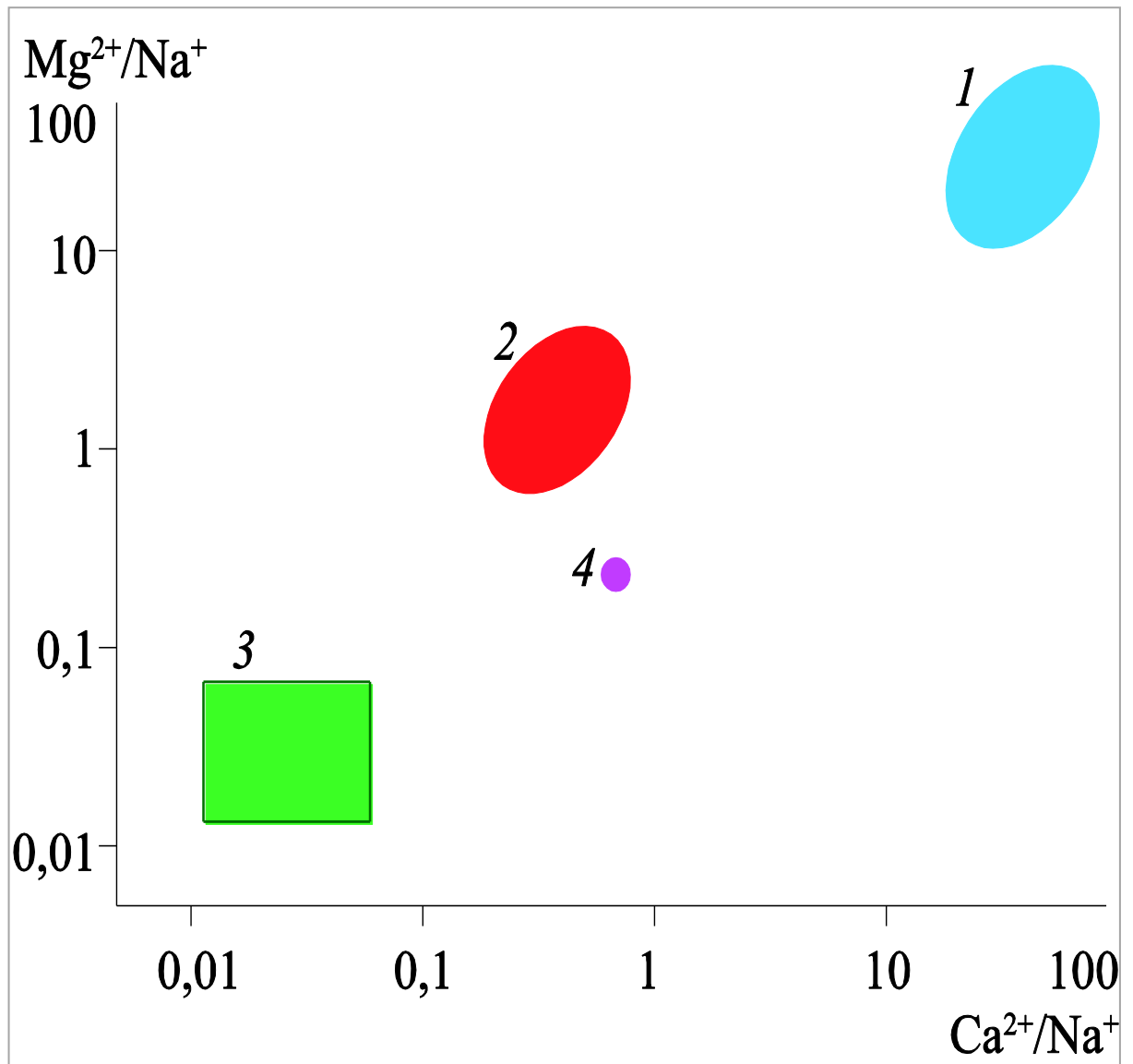


Рисунок 4.11. - Диаграмма Гиббса по видам выветривания горных пород: 1 – карбонатных; 2 – силикатных; 3 – растворения эвапоритов; 4 – Шохдара. В таблице 4.2 представлены результаты корреляции химических состав рек Шахдара и Пяндж выполненной с использованием корреляции Пирсона.

Таблица 4.2. - Корреляционная матрица Пирсона для среднего химического состава проб воды из рек Шохдара и Пяндж

р. Шохдара	р. Пяндж																						
	As	Ba	Ca	Co	Cr	Eu	Fe	K	Mg	Na	Ni	Rb	Rh	Ru	Sc	Se	Si	Sm	Sr	Ti	U	V	Zn
As	1																						
Ba	0,32	1																					
Ca	-0,47	-0,29	1																				
Co	0,77	0,32	-0,71	1																			
Cr	-0,16	0,05	-0,05	-0,32	1																		
Eu	-0,46	0,5	0,41	-0,47	0,14	1																	
Fe	0,81	0,33	-0,58	0,91	-0,36	-0,38	1																
K	-0,82	-0,52	0,76	-0,92	0,23	0,37	-0,87	1															
Mg	0,92	0,35	-0,58	0,9	-0,35	-0,49	0,9	-0,94	1														
Na	-0,77	-0,18	0,76	-0,93	0,28	0,63	-0,89	0,91	-0,92	1													
Ni	0,91	0,31	-0,61	0,92	-0,28	-0,52	0,91	-0,92	0,98	-0,93	1												
Rb	-0,59	-0,66	0,51	-0,76	0,19	-0,03	-0,76	0,82	-0,72	0,69	-0,72	1											
Rh	-0,08	0,4	-0,29	0,01	-0,04	0,16	-0,13	-0,17	0,01	0,06	-0,06	0,07	1										
Ru	0,78	0,21	-0,7	0,82	-0,22	-0,56	0,81	-0,83	0,85	-0,87	0,83	-0,56	0,02	1									
Sc	-0,8	-0,2	0,5	-0,84	0,44	0,46	-0,92	0,82	-0,89	0,87	-0,87	0,67	0,18	-0,78	1								
Se	-0,01	0,39	0,16	0,06	-0,28	0,42	0,05	-0,04	0,03	0,13	0,06	-0,16	0,24	-0,13	0,01	1							
Si	0,85	0,48	-0,74	0,81	-0,12	-0,41	0,73	-0,92	0,88	-0,8	0,84	-0,6	0,39	0,79	-0,68	0,03	1						
Sm	-0,07	0,72	0,08	-0,11	0,13	0,72	-0,01	-0,12	-0,06	0,2	-0,08	-0,36	0,28	-0,18	0,06	0,39	0,03	1					
Sr	0,87	0,34	-0,71	0,93	-0,27	-0,52	0,93	-0,96	0,97	-0,97	0,96	-0,76	-0,04	0,87	-0,9	-0,07	0,86	-0,07	1				
Ti	-0,45	-0,2	0,62	-0,71	0,34	0,37	-0,63	0,71	-0,63	0,75	-0,65	0,64	0,07	-0,58	0,65	0,16	-0,53	0,11	-0,71	1			
U	-0,17	-0,04	0,53	-0,18	-0,51	0,21	-0,19	0,28	-0,15	0,32	-0,16	0,19	0,08	-0,31	0,17	0,32	-0,25	0,07	-0,28	0,16	1		
V	-0,92	-0,36	0,67	-0,9	0,31	0,5	-0,89	0,94	-0,98	0,92	-0,96	0,69	-0,06	-0,89	0,89	-0,02	-0,91	0,05	-0,97	0,64	0,21	1	
Zn	-0,21	0,66	0,15	-0,26	0,22	0,69	-0,26	0,08	-0,25	0,4	-0,3	-0,25	0,29	-0,32	0,36	0,32	-0,1	0,66	-0,26	0,26	0,02	0,25	1

Из таблицы 4.2 следует, что река Шохдара наряду с элементами группы щелочных (K, Na), щелочноземельных (Mg, Sr) и переходных 3d-элементов (Fe, Co, Ni) обогащает реку Пяндж также мышьяком, ванадием, скандием и рутением.

На рисунке 4.12 и рисунке 4.13 представлены корреляционные зависимости концентраций мышьяка от Mg, Ni, Ru, Sr и ванадия от Sc, K и Na.

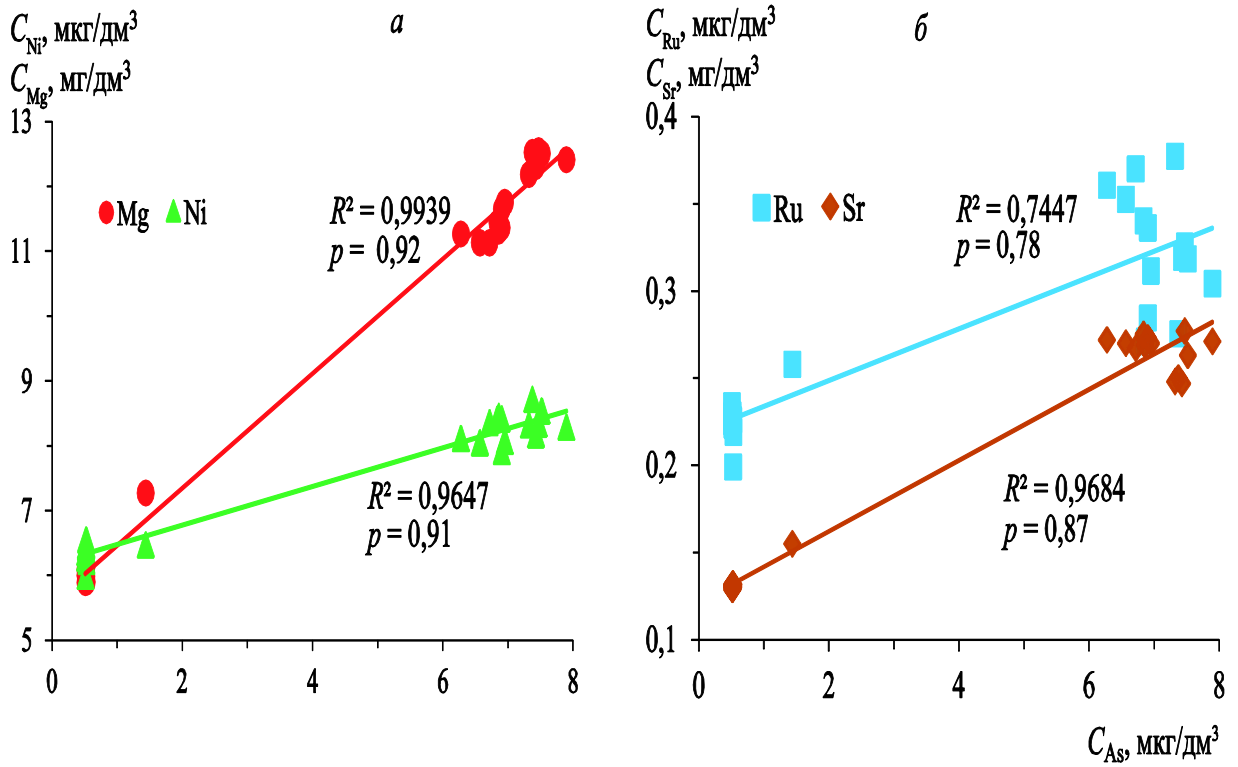


Рисунок 4.12. - Корреляционная зависимость концентраций мышьяка в составе воды рек Шохдара и Пяндж от катионов магния, никеля (а), рутения и стронция (б)

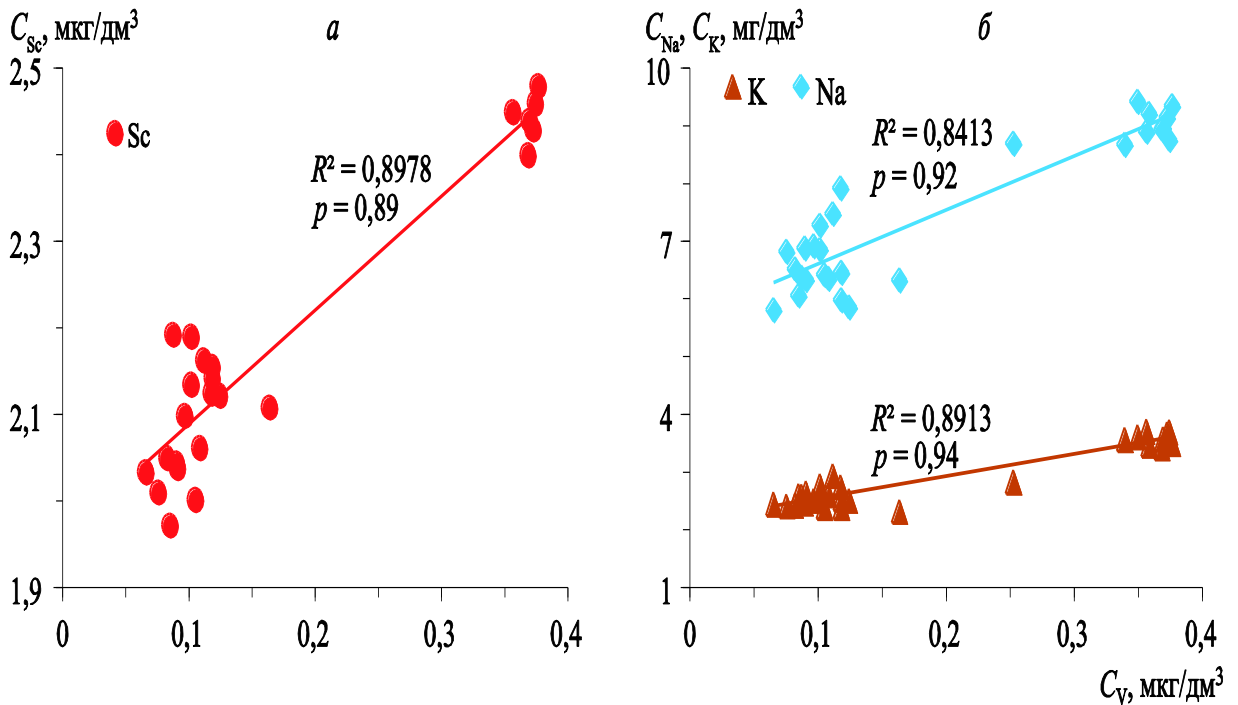


Рисунок 4.13. - Корреляционная зависимость концентраций ванадия в составе воды рек Шохдара и Пяндж от катионов скандия (а), калия и натрия

(б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты исследований показывают, что в бассейнах горных рек орография местности оказывает существенное влияние на пространственное распределение атмосферных осадков. В бассейне реки Зеравшан среднемноголетние атмосферные осадки по географическим широтам распределяются неравномерно с высоким значением в северо-западной части бассейна. Наблюдаемая достаточное количество атмосферных осадков летом в восточной части бассейна реки Зеравшан связано с проникновением в долину юго-западных воздушных масс со стороны Афганистана и Иранского нагорья.

Выявлено, что корреляция расхода воды реки Зеравшан и осенних осадков (IX-XI) является отрицательным характеризуемым коэффициентом корреляции от 0 до -0.1. Почти незначительная корреляция с нулевым значением коэффициента корреляции наблюдается в корреляции расхода воды реки Зеравшан с осадками летнего (VI-VIII) сезона.

Проявление такой картины корреляционных зависимостей расхода воды реки Зеравшан от осенних и летних осадков обусловлено тем, что незначительное количество осадков в соответствующих сезонах не в состоянии формировать стока и его прилив к реке Зеравшан из-за их расхода на увлажнение приповерхностных слоев почвы и подпитку резервуаров подземных вод. Обобщением результатов влияния атмосферных осадков климатических зон бассейна реки Зеравшан на формирование стока реки Зеравшан предложено математическое выражение для определения объема ледникового стока.

Установлено, что с 1950 по 2020 годы среднегодовое повышение температур в бассейнах рек Сурхоб и Обихингоу, Кызылсу составляет $6.3 \cdot 10^{-3}$ °C/год, $18.6 \cdot 10^{-3}$ °C/год и $13.5 \cdot 10^{-3}$ °C/год соответственно. Предположено повышение температуры в бассейне реки Вахш к 2050 году по отношению к периоду 1950-2020 гг. на 0.4 – 0.7 °C. В бассейне реки Обихингоу среднегодовая температура к 2020 году достигала 9,48°С которая по

сравнению с температурой базисного периода больше на 1.0°C и ожидается ее увеличение к 2050 году до 10°C , то есть на $1,42^{\circ}\text{C}$ больше по сравнению среднегодовой температуры базисного периода. В бассейне реки Сурхоб изменение температуры более умеренным. К 2020 и 2050 годам среднегодовая температура бассейна реки достигнет $11,50^{\circ}\text{C}$ и $11,93^{\circ}\text{C}$ которые на 0.6 и 1.0°C выше по отношению к базисному периоду

По результатам расчетов установлено, что среднегодовое увеличение количества осадков в бассейнах рек Сурхоб, Кызылсу и Обихингоу за период 1950-2020 гг составят 0.88 мм/год, 0.83 мм/год и 3.7 мм/год соответственно.

В среднем увеличение количества атмосферных осадков в бассейнах рек Сурхоб, Кызылсу и Обихингоу к 2050 году составит $7-9\%$ по отношению к периоду 1950-2020 гг.

По данным метеорологических станций Гарм и Тавильдара в соответствующих бассейнах рек Сурхоб и Обихингоу среднемноголетние значение атмосферных осадков составляют 770 и 970 мм и при площадях их водосбора 22730 и 6660 км² и удельное значение осадков соответствует 0.034 и 0.15 мм/м².

Результаты исследований распределения атмосферных осадков по сезонам года в формировании стока рек Сурхоб и Обихингоу и корреляционные зависимости стока рек от значений атмосферных осадков продемонстрировали, что коэффициенты корреляции хотя положительные, однако лежат в пределах 0.1 до 0.3 свидетельствующих о незначительном взаимосвязи стока рек и осадков.

Предположено, что возрастающий тренд объема стока рек Обихингоу, Сурхоб и Вахш за период 1950-2020 гг. связано с частичной деградацией оледенения на верховьях рек.

Было установлено, что в формировании стока главной реки Вахш вклад реки Сурхоб со значением среднемноголетнего стока 10.73 км³ является преобладающим по сравнению с р. Обихингоу с со средним многолетним стоком 5.56 км³.

Изменение среднегодовой температуры в бассейнах рек Ванч и Гунт с 1940 по 2020 год составляет 0,25 °С/год и 0,11 °С/год соответственно, и разница в среднегодовом удельном расходе реки Ванч и Гунт составляет 8,81 м³/км²·с весной и 40 м³/км²·с летом.

Между осадками в бассейнах рек Ванч и Гунт наблюдается тесная корреляция, означающая обеспечение бассейнов обеих рек один и тем же источником атмосферных осадков – влажная воздушная масса из Средиземноморья.

Тесная корреляционная зависимость атмосферных осадков в бассейнах рек Ванч и Гунт отражается на формировании стоков рек. Однако, тесная взаимосвязь стоков рек, главным образом, обусловлена фактором влияния потепления климата на площадях оледенения бассейнов рек. Тесная корреляция между осадками в бассейнах рек Ванч и Гунт свидетельствует об одном и том же источнике обеспечения бассейнов рек атмосферными осадками, которая является влажная, холодная средиземноморская воздушная масса. Кроме того тесная корреляционная взаимосвязь между стоками рек Ванч и Гунт обусловлена существенным вкладом ледников бассейнов в формировании стоков рек.

Требование орошаемого земледелия к качеству поливной воды основано на влияние состава воды на рост сельскохозяйственных культур и на водопроницаемость почвы. Степень минерализации (концентрация солей различных катионов) поливной воды является основным фактором, влияющим на рост сельскохозяйственных культур и проницаемость почвы.

Из результатов химических анализов по определению катионов щелочных и щелочноземельных элементов в составе вод притоков – рек Бартанг, Гунт, Шахдара, Ванч и Язгулем следует, что почти все представленные притоки реки Пяндж характеризуются высокими содержаниями катионов кальция и магния.

Обогащение речных вод катионами магния и кальция прежде всего обусловлено процессами вымывания горных пород. Наблюдаемый эффект

может свидетельствовать о минералогических составах горных пород по руслам рек. Наиболее высокое содержание катионов натрия наблюдается в реке Гунт и наименьшее значение в Бартанге. Естественно, высокая концентрация катиона в речной воде способствует его большей адсорбционной способности и это демонстрирует кривая SAR на рисунке 4.9.

Ощутимое содержание катионов естественно отразится на изменение основных его характеристик таких как возможность обмена (ESP) и растворимости (SSP).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Установлено, что расход воды реки Зеравшан тесно коррелирует с атмосферными осадками зимнего (XII-II) и весеннего (III-V) сезонов, свидетельствующих о существенном вкладе таяния снегов и ледников верховья реки Зеравшан и ее притоков в формировании стока [4-А, 8-А].

2. Показано, что корреляция расхода воды реки Зеравшан с осенними осадками (IX-XI) является отрицательным характеризуемым коэффициентом корреляции от 0 до -0.1. Корреляция расхода воды реки Зеравшан с осадками летнего (VI-VIII) сезона характеризуется почти нулевым значением коэффициента корреляции [4-А, 8-А].

3. Показано, что ледниковая подпитка реки Зеравшан ныне составляет 1.08 км^3 или 21% от общего стока [4-А, 8-А].

4. Установлено, что среднегодовое повышение температуры в бассейнах рек Сурхоб, Кызылсу и Обихингоу составляет $18 \cdot 10^{-30} \text{ °C/год}$, $9,4 \cdot 10^{-3} \text{ °C/год}$ и $14 \cdot 10^{-30} \text{ °C/год}$, соответственно [5-А, 6-А, 7-А].

5. Определено, что среднегодовая величина осадков за 1950-2020 годы в бассейнах рек Сурхоб, Кызылсу и Обихингоу составляет 760,15; 421,56 и 949,74 мм соответственно [6-А, 7-А].

6. Установлено, что среднегодовое изменение температуры в бассейнах рек Ванч и Гунт с 1940 по 2020 годы составляет $0,25 \cdot 10^{-3} \text{ °C/год}$ и $1,1 \cdot 10^{-2} \text{ °C/год}$ соответственно [1-А, 2-А, 3-А, 5-А, 6-А, 7-А].

7. Показано, что реки Бартанг, Гунт, Шахдара, Вандж и Язгулем характеризуются большим количеством катионов кальция и магния, что связано с вымыванием горных пород в бассейнах этих рек водой [1-А, 2-А,7-А].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Реки и озера Таджикистана. Главное управление по гидрометеорологии и наблюдениям за природной средой, Министерства охраны природы Республики Таджикистан. Душанбе. – 2003. – С. 23.
- [2]. Фанские горы // [http:// www. centralasia-travel. com/ru/ countries/ tadjikistan /sights/ fan mountain](http://www.centralasia-travel.com/ru/countries/tadjikistan/sights/fan%20mountain).
- [3]. Karimov, A. A. Anti-Mudflow Constructions of Some Sections of the Zeravshan River Basin and Georisk Prevention Measures / A. A Karimov, K. K. Olimov // *Kishovarz*. – 2019. - No 2. - P.147-149.
- [4]. Глазырин, Г.Е. Прогноз изменения оледенения гор Западного Таджикистана / Г.Е. Глазырин, А.Ф. Финаев // М-лы гляциологич. исследований. – 2003. - Вып. 95. - С.102-106.
- [5]. Karimov, A. A. About Engineering-Geonomic Research in the Zeravshan River Pool (Southern Tien Shan) in Connection with Climate Oscillations / A.A. Karimov, N.K. Ospanova // *Journal of Geoscience and Environment Protection*. – 2020. – V. 8. – P. 387 - 394. <https://www.scirp.org/journal/gep>.
- [6]. MAGICC (Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change). Version 2.4. January 2000. Climatic Research Unit. University of East Anglia. Norwich, UK.
- [7]. Finaev, A.F. Climatic Changes in the Mountain Glacier Area of Pamir / A.F. Finaev // NATO ASI Series I. Vol. 56. Ice Physics in the Natural Environment. (Eds. Wettlaufer/ Dash/ Untersteiner). Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. – 1999. - P. 289- 294.
- [8]. Normatov, P. Modern State of the Transboundary Amudarya Main Tributaries / P. Normatov, I. Normatov, B. Markaev // Proc. XVI World Water Congress, IWRA, 29 May – 03 June 2017. Cancun, Mexico. – 2017. - P. 385-393.
- [9]. Normatov, P.I. Variations in hydrological parameters of the Zeravshan River and its tributaries depending on meteorological conditions / P.I. Normatov, R. Armstrong, I.S. Normatov // *Russ. Meteorol. Hydrol.* – 2106. – V. 41. – P. 657–661. <https://doi.org/10.3103/S1068373916090090>.

- [10]. ЕБР. Влияние изменения климата на водные ресурсы в Центральной Азии (Обобщающий отчет) Алматы. – 2009. – С. 57.
- [11]. WB. Report No: ACS12128.Europe and Central Asia. Assessment of the role of glaciers in stream flow from Pamir and Tien Shan Mountains. May 4, 2015. Washington, D.C. – 2015. – P.110.
- [12]. Olsson, O. Identification of the effective water availability from stream flows in Zarafshan river basin / O. Olsson, M. Gassmann, K. Wegerich, M. Bauer // J. Hydrology. – 2010. - V. 390. - P. 190-197.
- [13]. Крюков, В.И. Схема территориального деления Таджикской ССР для целей экономического мониторинга окружающей среды республики / В.И. Крюков // Рук. Деп. в ТаджикНИИТИ 07.08.1989. №48 (648). Душанбе. – 1989. – С. 104.
- [14]. Touge, Y. Study on Snow Melting Process in Land Surface Model in High Altitudes in Zeravshan River Basin / Y. Touge, K. Tanaka, E. Nakakita, S. Kazama // J. Env. – 2014. – V.17. – P. 103-110.
- [15]. UN. Drainage basin of the Aral Sea and other Transboundary surface waters in Central Asia. December - 2011. - P.131-164. <https://doi.org/10.18356/7dcbd514-en>.
- [16]. Groll, M. Water quality, potential conflicts and solutions – an upstream-downstream analysis of the transnational Zarafshan River (Tajikistan, Uzbekistan) / M. Groll, Ch. Opp, R. Kulmatov, M. Ikramova, I. Normatov // J. Env. Earth Sci. – 2013. – V.32. – P.123-137. doi:10.1007/s12665-013-2988-5.
- [17]. Kulmatov, R. Spatial distribution and speciation of microelements in Zeravshan river water / R. Kulmatov, M.J. Hoshimhodjaev // Water Resources. – 1992. - V. 11. - P. 103-114.
- [18]. Kulmatov, R. Assessment of Water Quality of the Transboundary Zarafshan River in the Territory of Uzbekistan / R. Kulmatov, Ch. Opp, M. Groll, D. Kulmatova // J. Water Resource and Protection. – 2013. - V. 5. - P.17-26.
- [19]. Шульц, В.Л. Реки Средней Азии / В.Л Шульц // Л.: Гидрометеоиздат.1965. – С. 301.

- [20]. Тахиров, И.Г. Водные ресурсы Республики Таджикистан / И.Г., Тахиров, Г.Д Купайи // Книга 1. Реки. Душанбе. – 1998. – С. 201.
- [21]. Ресурсы поверхностных вод СССР / Т.14. Вып.3. Бассейн реки Амударьи. Л.: Гидрометеиздат. – 1971. – С. 472.
- [22]. Аброров, Х. Формирования водных ресурсов горного Зеравшана и их экономический потенциал / Х. Аброров, Н. Шерматов// Душанбе. - 2013. – С. 132.
- [23]. Аброров, Х. Особенности гидрологического режима реки Зерафшан и ее больших притоков / Х. Аброров, Н. Шерматов // Вестник ТНУ. Серия естеств. наук. – 2010. – V. 3(59). - С.295-301.
- [24]. Баканин, Г.В. Гидрология бассейна реки Зеравшан в пределах Тадж. ССР / Г.В. Баканин, А.Г Трестман, С.М. Гордон // Материалы по производительным силам Таджикистана. – 1964. - Вып. 2. – С.76-82.
- [25]. Киреев, И.А. Гидрологические исследования в бассейне Зеравшана / И.А. Киреев // Таджикско-Памирская экспедиция 1933 г // Ленинград: Наука. - 1934. – С. 213.
- [26]. Ланге, О.К. Гидрогеологическая характеристика бассейна р. Зеравшан / О.К. Ланге // М.: Просвещение. - 1954. – С. 138.
- [27]. Реки и озера Таджикистана. Министерство охраны природы Республики Таджикистан. Главное управление по гидрометеорологии и наблюдениям за природной средой. Душанбе: Ирфон. – 2001. – С. 23.
- [28]. Chub, V.E. Water resources of the Central Asia under conditions of climate change / V.E Chub. In Book: Climate change and terrestrial carbon sequestration in Central Asia. Ed: Lal R., Suleimenov M., Stewart B.A. and et al. Taylor & Francis/Balkema. London, UK. – 2007. - P.67-74.
- [29]. Схема комплексного использования реки Зеравшан. – С.8. minenergoprom.tj/barnoma/w11.doc.
- [30]. Норматов, П.И. Геоэкологическая оценка загрязненности поверхностных вод и снегов бассейна трансграничной реки Зеравшан / П.И.

Норматов // автореферат дис. ... кандидата географических наук: 25.00.36. Санкт-Петербург. - 2016. – С. 24.

[31]. Konovalov, V. G. Evolution of Glaciation in the Pamiro-Alai Mountains and its Effect on River Run-Off / V. G. Konovalov, A. S. Shchetinnicov // J. Glaciology. - 1994, - V. 40. - P.78-91. doi:10.1017/S0022143000003920.

[32]. Khujanazarov, T. Addressing Water Resources Regulations Policy in Zeravshan River Basin / T. Khujanazarov, Y. Touge, R. Namura, K. Tanaka, S. Tanaka // Annuals of Disas. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ. – 2015. - No. 58 B. - P. 441-447.

[33]. Tanaka, K. Development of the new land surface scheme SiBUC commonly applicable to basin water management and numerical weather prediction model / K. Tanaka // doctoral dissertation. Kyoto University. - 2004. – P. 24.

[34]. Catalogue of Pamir and Hissaro-Alay Glaciation for 1980 (database of S.A. Shchetinnicov). Ed.: Prof. G.E. Glazirin, M.G. Glazirina. Almaty. - 2012. – P. 565.

[35]. Vilesov, E.N. Modern climate changes and glaciers in the Talas river basin / E.N. Vilesov // Questions of geography and geocology. – 2014. - No 4. - P. 38-44.

[36]. Glazirin, G.E. The state of glaciation in the Gissar-Alai in recent decades and its possible dynamics in connection with future climate changes // G.E. Glazirin, A.S. Shchetinnicov // Materials of glaciological research. – 2001. - Is. 90. - P. 126-129.

[37]. Glazirin, G.E. Assessment of changes in glaciation in a transitional regime under climate change, Materials of glaciological research / G.E. Glazirin, Yu. Kadama // Chronicle. Discussions. – 2003. – Is. 64. -P. 212-215.

[38]. Glazirin G.E. Information about the system of hydrometeorological monitoring in Uzbekistan. Snow-ice and water resources of the high mountains of Asia / G.E Glazirin // Materials of the international seminar "Assessment of snow-ice and water resources of Asia". Almaty. – 2006. - P. 139-161.

[39]. Klimov, S.I. Assessment of the rate of glaciation degradation in the basins of the Chirchik, Chatkal, Kashkadarya and Surkhandarya rivers / S.I. Klimov, O.A.

Sergeeva, Sh.T. Mukhtarov // Bulletin. Climate change. Causes, consequences and response measures. – 2016. – Is. 10. - P. 51-63.

[40]. Konovalov, V.G. (2011), Past and prospective changes in the state of Central Asian glaciers / V.G Konovalov // Ice and snow. -2011. – V. 3 (115). - P. 60-68.

[41]. Meer, Ch. A new inventory of glaciers for the Upper Naryn basin and the first results of the 2010 expedition / C. Meer, W. Haag, A. Lambrecht // Collection of abstracts of reports of the International Scientific Symposium "Water in Central Asia". Tashkent. – 2010. - P. 61.

[42]. Kudyshkin, T.V. Changes in glaciation of river basins with the predominance of small glaciers in the second half of the XX - beginning of the XXI century / T.V. Kudyshkin, Yu. A. Tarasov, A.V. Yakovlev // Questions of geography and geoecology. – 2014. - No. 4. - P. 45-54.

[43]. Osipov, E. Yu. Dynamics of glaciation in the mountains of the South of Eastern Siberia over the past 160 years / E. Yu. Osipov, O.P. Osipova // Snow and ice. – 2015. – Is. 2 (130). - P. 33-41.

[44]. Shchetinnicov, A.S. Change in the size of the Pamir-Alai glaciation for 1957-1980 / A.S. Shchetinnicov // Proc. of the Moscow State University. – 1993. – Is. 76. - P. 77-83.

[45]. Shchetinnicov, A.S. Morphology of glaciation of the Pamir-Alai river basins as of 1980 (handbook) / A.S. Shchetinnicov // Tashkent. -1997. – P. 149.

[46]. Shchetinnicov, A. S. Morphology and regime of the Pamir-Alai glaciers / A.S. Shchetinnicov //Tashkent. – 1998. - P. 216.

[47]. Catalog of glaciers of the USSR. -1963. – V. 14. – Is. 3(1, 2). – P. 120.

[48]. Гордиенко, В.Е. Гляциологический и геоморфологический очерк верховьев реки Ягноба. В кн.: «Зеравшан» / В.Е. Гордиенко // Труды ледниковых экспедиций. – 1936. -Т. 3. – С. 113-123.

[49]. Давыдов, Л.К. Зеравшанский ледник / Л.К. Давыдов // Ученые записки ЛГУ. Серия география. – 1952. - Вып. 8. – С.117-123.

[50]. Давыдов, Л.К. Бассейны Зеравшанского ледника река Матча и ее верхние притоки. В кн.: Крупнейшие ледники Средней Азии - Ледники

Федченко и Зеравшан / Л.К Давыдов, А.Г. Пронин А // Ленинград: ЛГУ. - 1967. – С. 235.

[51]. Коновалов, Е.П. Об области питания и строения Зеравшанского ледника / Е.П. Коновалов // Известия государственного географического общества. – 1935. - Т. 67. - Вып. 5.- С.43-56.

[52]. Корженевский, Н.Л. Некоторые новые данные о Зеравшанском леднике / Н.Л. Корженевский // Известия Всероссийского географического общества. – 1948. - Т. 80. -Вып. 5. – С. 32-39.

[53]. Ледники – водные ресурсы Таджикистана в условиях изменения климата. Государственное Учреждение по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистана. Душанбе. – 2003. – С. 34.

[54]. Kayumov, A. Glaciers of Tajikistan in condition of the Climate change / A. Kayumov // State Agency for Hydrometeorology of Committee for Environmental Protection under the Government of the Republic of Tajikistan. Dushanbe. – 2003. – P. 32.

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

[56]. Насыров, М.Н. Высокогорные озера бассейна реки Зеравшан / М.Н. Насыров, Н.Г. Хасанов, К.Г. Садиков, Л.Ф. Камалов // Изв. узбекского геогр. общества. – 1970. - Т.12. – С. 112-118.

[57]. Влияние изменения климата на водные ресурсы в Центральной Азии. Евразийский Банк Развития. – 2009. – С. 42.

[58]. Влияние таяния ледников на состояние водных ресурсов в Центральной Азии. Отчет Регионального центра ООН по превентивной дипломатии для Центральной Азии. 11-12 апреля 2013 г. Алматы, Казахстан, - С. 48.

[59]. Homidov, A. Sh. Dynamics of glaciers and mountain lakes in Zeravshan River Basin / A. Sh Homidov // www.untj.org/index.php.

- [60]. База знаний по использованию земельных и водных ресурсов бассейна Аральского моря. Реки. Вахш // www.cawater-info.
- [61]. Wang, X. Attribution of Runoff decline in the Amu Darya river in Central Asia during 1951-2007 / X. Wang, Y. Luo, L.J. Sun // Hydromet. - 2016. - V.17. - P. 1543-1560. doi: 10.1175/JHM-D-15-0114.1.
- [62]. Siegfried, T. Will climate change exacerbate water stress in Central Asia / T. Siegfried, T. Bernauer, R. Guiennet, S. Sellars, A.W. Robertson, J. Mankin // Climatic Change. - 2012. - V. 112(3-4). - P. 881-899. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0253-z>.
- [63]. Unger-Shayesteh, K. What do we know about past changes in the water cycle of central Asian headwaters? A review / K. Unger-Shayesteh, S. Vorogushyn, D. Farinotti // Global Planet. Change. -2013. -V. 110. - P. 4-25. doi: 10.1016/j.gloplacha.2013.02.004.
- [64]. Духовный, Ю.А. Отчет Проекта PEER - "Адаптация управления водными ресурсами трансграничных вод бассейна Амударьи к возможным изменениям климата / Ю.А. Духовный, А. Сорокин, Н.А. Агальцева // Отчет - CA Water-Info. Report_2-4_1_ru.pdf.
- [65]. Omani N., Srinivasan R., Smith P. Impacts of climate change on the glacier melt runoff from five river basins / N. Omani, R. Srinivasan, P. Smith // Abstract of 1st Climate Change Symposium: Adaptation and Mitigation Proceedings of the 3-5 May 2015 Conference. Chicago Illinois, USA, Published by ASABE St. Publication date May 3, 2015.
- [66]. White, C. J. The Impact of Climate Change on the Water Resources of the Amu Darya Basin in Central Asia / C. J. White, T.W. Tanton, D.W. Rycroft // Water Resource Manage. - 2014. - V. 28. - P.5267-5281. doi:10.1007/s11269-014-0716-x.
- [67]. Petrov, G.N. Conflict of interests between water users in the Central Asian Region and possible ways to its elimination / G.N. Petrov, I. Sh. Normatov // Wat. Res. - 2010. -V.37 (1). - P. 113-120.

- [68]. 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 / E. Pohl, R. Gloaguen, R. Seiler // *Remote Sens.* - 2015. - V.7 (8). - P. 9727–9752. doi: 10.3390/rs70809727.
- [69]. Kapnick, S. B. Snowfall less sensitive to warming in Karakoram than in Himalayas due to a unique seasonal cycle / S. B. Kapnick, T.L. Delworth, M. Ashfaq // *Nat. Geosci.* - 2014. - V. 7(11). - P. 834–840, doi: 10.1038/ngeo 2269.
- [70]. Normatov, P.I. Meteorology and Hydrology of the tributaries basins of the Transboundary Amudarya river in condition of Climate Change / P.I. Normatov, I. Sh. Normatov, R.U.Eshankulova, A.O. Muminov // *Modern Env. Sci. and Eng.* – 2018. – V.3 (8). – P.81-92.
- [71]. Kure, S. Hydrologic impact of regional climate change for the snowfed and glacierfed river basins in the Republic of Tajikistan: hydrological response of flow to climate change / S. Kure, S. Jang, N. Ohara // *Hydrol. Process.* – 2013. –V.27. – P. 4057– 4070. doi: 10.1002/hyp.9535.
- [72]. Wagner, S. Glacier volume changes in the Pyanj and Vakhsh basins. Application of simple parameterizations to estimate past and future glacier changes in the Pyanj and Vakhsh river subbasins / S. Wagner, M. Hoelzle // *FAO.* – 2010. - P. 112-134.
- [73]. Mernild, S. H. Global glacier changes: A revised assessment of committed mass losses and sampling uncertainties / S. H. Mernild, W. H. Lipscomb, D. B. Bahr, V. Radic, M. Zemp // *Cryosphere.* – 2013. – V. 7. – P. 1565–1577. <https://doi.org/10.5194/tc-7-1565-2013>.
- [74]. Bolch, T. The state and fate of Himalayan glaciers / T. Bolch // *Science.* – 2012. –V. 336(6079). – P. 310–314. <https://doi.org/10.1126/science.1215828>.
- [75]. Gardelle, J. Slight mass gain of Karakoram glaciers in the early twenty-first century /J. Gardelle, E. Berthier, Y. Arnaud // *Nat. Geosci.* – 2012. – V. 5, - P. 322–325. <https://doi.org/10.1038/ngeo1450>.

- [76]. Marzeion, B. Past and future sea-level change from the surface mass balance of glaciers / B. Marzeion, A.H. Jarosch, M. Hofer // *Cryosphere*. – 2012. – V. 6. – P. 1295–1322. <https://doi.org/10.5194/tc-6-1295-2012>.
- [77]. Giesen, R. H. Climate-model induced differences in the 21st century global and regional glacier contributions to sea-level rise / R. H. Giesen, J. Oerlemans // *Clim. Dyn.* – 2013. – V. 41. – P. 3283–3300. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1743-7>.
- [78]. Radic, V. Glaciers in the Earth's hydrological cycle: Assessments of glacier mass and runoff changes on global and regional scales / V. Radic, R. Hock // *Surv. Geophys.* – 2014. – V. 35. – P. 813–837. <https://doi.org/10.1007/s10712-013-9262-y>.
- [79]. Huss, M. A new model for global glacier change and sea level rise / M. Huss, R. Hock // *Front. Earth Sci.* – 2015. – V. 3. – P. 54-62. <https://doi.org/10.3389/feart.2015.00054>.
- [80]. Huss, M. Toward mountains without permanent snow and ice. *Earth's Future*. – 2017. – V. 5. – P. 418–435. doi: 10.1002/2016EF000514.
- [81]. Zhao, L. Glacier volume and area change by 2050 in High Mountain Asia / L. Zhao, R. Ding, J.C. Moore // *Global and Planetary Change*. – 2014. - V.122. - P. 197–207.
- [82]. Lioubimtseva, E. Climate and environmental change in arid Central Asia: Impacts, vulnerability and adaptations / E. Lioubimtseva, G.M. Henebry // *Journal of Arid Environments*. – 2009. – V. 73(11). - P. 963-977.
- [83]. Wagner, S. Glacier volume changes in the Pyanj and Vakhsh basins. Application of simple parameterizations to estimate past and future glacier changes in the Pyanj and Vakhsh river subbasins / S. Wagner, M. Hoelzle // *FAO*. – 210. - P. 112-134.
- [84]. Норматов, И.Ш. Исследование пространственного распределения атмосферных осадков Центрального и Западного Памира с применением стабильных изотопов поверхностных вод / И.Ш. Норматов, А.Хомидов, П.И.

Норматов, А.О. Муминов // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2022. - № 3 (385). - С. 98-111.

[85]. Jarihani, B. Simulation of river flow in the Gunt River Basin in Tajikistan / B. Jarihani, A. Zemlyanskova, O. Makarieva // Abstract EGU General Assembly 2022, 23–27 May 2022. Vienna, Austria. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-8568>.

[86]. Hock, R. / R. Hock, G. Rasul, C. Adler, B. Cáceres, S. Gruber, Y. Hirabayashi, M. Jackson, A. Käab, S. Kang, S. Kutuzov, A. Milner, U. Molau, S. Morin, B. Orlove, H. Steltzer // IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Eds: H. O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer. – 2019. - P. 131-202.

[87]. Норматов, И.Ш. Сезонные и высотные колебания стабильных изотопов рек Западного и Центрального Памира / И.Ш. Норматов, Г.Т. Фрумин, А. Хомидов // Гидрометеорология и экология. - 2022. - № 67. - С.230-242. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-230-242.

[88]. Normatov, I. Climate change impact on hydrological characteristics and water availability of the Mountain Pamir Rivers / I. Normatov, P. Normatov // Proc. IAHS. - 2020. - V.383. - P.31-41. <https://doi.org/10.5194/piahs-383-31-2020>.

[89]. Normatov P. I., Markaev B. A., and Normatov I. Sh. Meteorological Features of Climatic Zones in the Basin of the Transboundary River Pyanj. Bul. Irkutsk St. Univ., 2017, 21, P.106–113.

[90]. Normatov, P. I. Meteorological Features of Climatic Zones in the Basin of the Transboundary River Pyanj / P.I. Normatov, B.A. Markaev, I. Sh. Normatov // Bul. Irkutsk St. Univ. – 2017. - V.21. - P.106–113.

[91]. Meier, C. Discharge pattern in the Gunt valley, Western Pamir, with respect $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ and Hydrochemistry. Chapter 43. Geostatistical and geospatial approaches for the characterization of natural resources in the environment / C. Meier, M. Knoche, M. Brehme, R. Merz, S.M. Weise. Ed.: N. Janardhana Raju. Springer. - 2016. – P. 281-285.

- [92]. Viviroli, D. Assessing the hydrological significance of the world's mountains. / D. Viviroli, R. Weingartner, B. Messerli // *Mt. Res. Dev.* - 2003. - V. 23. – P. 32–40.
- [93]. Langston, G. Internal structure and hydrological functions of an alpine proglacial moraine./ G. Langston, A. Pidlisecky, L.R. Bentley, M. Hayashi, A. McClymont // *Hydrol. Process.* -2011. – Volume. 25. – P. 2967–2982.
- [94]. Immerzeel, W. W. Large-scale monitoring of snow cover and runoff simulation in Himalayan river basins using remote sensing. / W.W. Immerzeel, P. Droogers, S.M. De Jong, M.F.P. Bierkens // *Remote Sensing. Environ.* -2009. – V. 113. – P. 40–49.
- [95]. Immerzeel, W. W. Climate change will affect the Asian water towers./ W.W. Immerzeel, L. P.H. Van Beek, M.F.H. Bierkens // *Science.* – 2010. – V. 328. – P. 1382–1385.
- [96]. Immerzeel, W. W. Hydrological response to climate change in a glacierized catchment in the Himalayas./ W. W. Immerzeel, L.P. Van Beek, M. Konz, A.B. Shrestha, M.F.P. Bierkens // *Climatic Change.* – 2012. – V. 110. – P. 721–736.
- [97]. Immerzeel, W. W. Rising river flows throughout the twenty-first century in two Himalayan glacierized watersheds./ W. W. Immerzeel, F. Pellicciotti, M.F.P. Bierkens // *Nat. Geosci.* – 2013. – V. 6. – P. 742–745.
- [98]. Jeelani, G. Role of snow and glacier melt in controlling river hydrology in Liddar watershed (western Himalaya) under current and future climate / G. Jeelani, J. Feddema, C.J. Van der Veen, L. Stearns // *Water Resources.* – 2012. – V.1. – P. 48–56.
- [99]. Lutz, A. F. Consistent increase in High Asia's runoff due to increasing glacier melt and precipitation./ A.F. Lutz, W. W. Immerzeel, A.B. Shrestha, M. F. P. Bierkens // *Natural climate change.* – 2014. – V. 4. – P. 587–592.
- [100]. Lutz, A. F. Climate change affects the upper Indus hydrology: Sources, shifts and extremes. / A.F. Lutz, Immerzeel W. W., Kraaijenbrink P. D. A., Shrestha A. B., Bierkens M. F. P. // *PLoS One.* – 2016. – Volume.9. –P. 1–33.

- [101]. Зиганшина, Д.Р. Река несет жизнь народам. Сеть водохозяйственной организации стран Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии / Д.Р. Зиганшина, А.Г. Сорокин А.Г // Ташкент: МКВК. - 2022. - 2с. www.eecsa-water.net.
- [102]. Pohl, E. Sensitivity analysis and implications for surface processes from a hydrological modelling approach in the Gunt catchment, high Pamir Mountains. // E. Pohl, M. Knoche, R. Gloaguen, C. Andermann, P. Krause // *Earth Surf. Dynam.* - 2015. – V. 3. – P. 333–362.
- [103]. Fuchs, M. C. Tectonic and climatic forcing on the Pyanj river system during the Quaternary. /M.C. Fuchs, R. Gloaguen, E. Pohl // *Int. J. Earth Sci.* – 2013. – V. 102. – P. 1985–2003.
- [104]. Aizen, V. B. Stable-isotope and trace element time series from Fedchenko glacier (Pamirs) snow/firn cores. /V.B. Aizen, P.A. Mayewski, E.M. Aizen, D.R. Joswiak, A.B. Surazakov, S. Kaspari, B. Grigholm, M. Krachler, M. Handley, A. Finaev // *Journal Glaciol.* – 2009. – V. 55. – P. 275– 291.
- [105]. Syed, F. S. Effect of remote forcings on the winter precipitation of central southwest Asia, part 1: observations. / F.S. Syed, F. Giorgi, J.S. Pal, M.P. King // *Theor. Appl. Climatol.* – 2006. – V.86. – P. 147–160.
- [106]. Palazzi, E. Precipitation in the Hindu-Kush Karakoram Himalaya: observations and future scenarios. //E. Palazzi, J.V. Hardenberg, A. Provenzale // *Journal Geophys. Res. Atmos.* – 2013. – V. 118. – P. 85–100.
- [107]. Аболин, Р. И. Основы естественно-исторического районирования Средней Азии / Р. И. Аболин // *Тр. Среднеаз. ун-та. Сер. XII. География.* – 1929. - Вып. 2. – С. 37.
- [108]. Молчанов, Л. А. Климатическое районирование Средней Азии / Л. А. Молчанов, Р. Р. Циммерман // *Бюллетень Комитета по районированию.* – 1926. - №3. – С. 12.
- [109]. Агаханянц, О. Е. Основные проблемы физической географии Памира / О. Е. Агаханянц // *Душанбе. Изд. АН Таджикской ССР.* – 1965. – Ч.1. – С. 115.

- [110]. Bhattarail, B. C. Impact of Climate Change on Water Resources in View of Contribution of Runoff Components in Stream Flow: A Case Study from Langtang Basin, Nepal. /B.C. Bhattarail, D. Regmi // Hydrology and meteorology. – 2011. – V. 9. – P. 75–84.
- [111]. Hosaka, M. Changes in snow cover and snow water equivalent due to global warming simulated by a 20 km-mesh global atmospheric model. /M. Hosaka, D. Nohara, A. Kitoh // SOLA. – 2005. – V. 1. – P. 93–96.
- [112]. Christensen, J. H., Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: Chapter 11. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / J.H. Christensen // Ed.: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller. Cambridge University Press. Cambridge, UK and New York, NY, USA. – 2007. – P. 847–940.
- [113]. Deser, C. The seasonal atmospheric response to projected Arctic sea ice loss in the late twenty first century. / C. Deser, R. Thomas, M. Alexander, D. Lawrence // Journal Climate. – 2010. – V. 23. – P. 333–351.
- [114]. Отчет о водно туристическом походе в районе Юго-Западного Памира. 2011. Рубцовск. – С. 132. <http://veslo.ru>.
- [115]. Meier, K. Stable isotopes in river waters in the Tajik Pamirs: regional and temporal characteristics / K. Meier, M. Knoche, M. Brehme //Isotope Envir. Health Study. - 2013. - V. 49. – P.542-554.
- [116]. Gulomov, M.N. Geomorfologicheskie osobennosti b redzim pulsiruyushikh lednikov dolini reki Vanch / M.N. Gulomov // Nauka, Novie tekhnologii I innovatcii. – 2016. - No. 12. - P. 75-79.
- [117]. Smith, C.J. Potassium and magnesium in irrigation water quality assessment / C.J. Smith, J.D. Oster, G. Sposito //J. Agriculture Water Manage. - 2015. - V. 157. - P.59–64.
- [118]. Quirk, J.P. The effect of electrolyte concentration on soil permeability / J.P. Quirk, P.K. Schofield // J. Soil Sci. - 1955. - V. 6. - P.163–178.

- [119]. Assessment of the State of Transboundary Waters in the UNECE Region: Assessment of Transboundary Rivers, Lakes and Groundwaters in Central Asia. 2010. Geneva. – P. 54 (en).
- [120]. Arnell, N. W. The Impacts of Climate Change on River Flood Risk at the Global Scale. *Climatic Change* / N.W. Arnell, S.N. Gosling // *Climatic Change*. - 2016. - V.134 (3). - P.387-401. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1084-5>.
- [121]. Saiko, T. A. Irrigation expansion and dynamics of desertification in the Circum-Aral region of Central Asia / T.A. Saiko, I.S. Zonn // *Applied Geography*. - 2000. - V.20 (4). - P.349-367. [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(00\)00014-X](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(00)00014-X).
- [122]. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Eds: H. O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer. - 2019. - P. 131-202.
- [123]. Normatov, P.I. Monitoring of Meteorological, Hydrological Conditions and Water Quality of the Main Tributaries of the Transboundary Amu Darya River. In Book: *Achievements and Challenges of Integrated River Basin Management*. Chapter 9 / P.I. Normatov, I. Sh. Normatov // Ed.: Dejan Komatina. – 2018. - P. 149-176. doi: 10.5772/intechopen.74958.
- [124]. Tsukatani, T. Baseline Study of Surface Streams of Zeravshan River Basins / T. Tsukatani, Y. Katayama // *Discussion Kier Paper. Joint Field Survey Expedition 528*. University Kyoto. Japan. - 2001. - P. 68-74.
- [125]. Норматов, П.И. Мониторинг чрезвычайных водных факторов и исследование антропогенной нагрузки промышленных объектов на качество воды в бассейне реки Зеравшан / П.И. Норматов, Р. Армстронг, И.Ш. Норматов, Н. Нарзуллоев // *Метеорология и Гидрология*. - 2015. - №5. - С. 89-97.
- [126]. Normatov, I. Sh. Distribution of snow cover by climatic zones of the Transboundary Pyanj river basin / I. Sh. Normatov, V.V. Goncharuk, P.I. Normatov, Q.N. Odinaev // *Bull. National Academy of Sciences of the Republic of*

- Kazakhstan. - 2020. - V.3. - No. 385. - P.77-85.
<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.72>.
- [127]. Котляков, В.М. Подвижки ледников Памира в первые 20 лет XXI века / В.М Котляков, Л.В. Десинов, С. Л. Десинов, В. А. Рудаков // Докл. РАН. Наука о Земле. – 2020. - Т. 495. № 1. - С. 64–68.
- [128]. Sorg, A. Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia) / A. Sorg, T. Bolch, M. Stoffel, O. Solomina, M. Beniston // Nat. Clim. Change. -2012. - V. 2. – P. 725–731. doi: 10.1038/nclimate1592, 2012.
- [129]. Arendt, A. Randolph Glacier Inventory [v2.0]: A Dataset of Global Glacier Outlines / A. Arendt, T. Bolch, J.G. Cogley, A. Gardner // Global Land Ice Measurements from Space. Boulder, Colorado, USA - 2012. – P. 38.
- [130]. Paul, F. Rapid disintegration of Alpine glaciers observed with satellite data / F. Paul, A. Kaab, M. Maisch, T. Kellenberger, W. Haeberli // Geophysical Research Letters. -2004. - V. 31. - L21402. doi: 10.1029/2004GL020816.
- [131]. Barnett, T.P. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions / T.P. Barnett, J.C. Adam, D.P. Lettenmaier // Nature. - 2005. - V. 438(17). - P. 303–309. doi: 10.1038/nature04141.
- [132]. Aizen, V.B. Glacier changes in the central and northern Tien Shan during the last 140 years based on surface and remote-sensing data / V.B. Aizen, V.A. Kuzmichenok, A.B. Surazakov, E.M. Aizen // Annals of Glaciology. - 2006. - V.43. – P. 202–213.
- [133]. Paul, F. Calculation and visualization of future glacier extent in the Swiss Alps by means of hypsographic modelling / F. Paul, M. Maisch, C. Rothenbuhler, M. Hoelzle, W. Haeberli // Global and Planetary Change. - 2007. - V. 55. –P. 343–357. doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.08.003.
- [134]. Makhmadaliev, B. The Second National Communication of the Republic of Tajikistan under the United Nations Framework convention on Climate Change / B. Makhmadaliev, A. Kayumov, V. Novikov, N. Mustaeva, I. Rajabov // -2008. Available at: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/tainc2.pdf>.

- [135]. Hirabayashi, Y. Global-scale modelling of glacier mass balances for water resources assessments: Glacier mass changes between 1948 and 2006 / Y. Hirabayashi, P. Döll, S. Kanae // *Journal of Hydrology*. - 2010. – V.390. –P. 245–256. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.001.
- [136]. Khromova, T. E. Changes in glacier extent in the eastern Pamir, Central Asia, determined from historical data and ASTER imagery / T.E. Khromova, G.B. Osipova, D.G. Tsvetkov, M.B. Dyurgerov, R.G. Barry // *Remote Sens. Environ.* – 2006. - V. 102. – P. 24–32, doi: 10.1016/j.rse.2006.01.019.
- [137]. Aizen, V. B. Glaciers and hydrological changes in the Tien Shan: simulation and prediction / V.B. Aizen, E.M. Aizen, V.A. Kuzmichenok // *Environ. Res. Lett.* - 2007. – V. 2. – P. 045019. doi: 10.1088/1748-9326/2/4/045019.
- [138]. Aizen, V. B. Glacier changes in the Tien Shan as determined from topographic and remotely sensed data / V.B. Aizen, V.A. Kuzmichenok, A.B. Surazakov, E.M. Aizen // *Global Planet. Change.* – 2007. – V. 56. – P. 328–340. doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.07.016.
- [139]. Bolch, T. Climate change and glacier retreat in northern Tien Shan (Kazakhstan/Kyrgyzstan) using remote sensing data / T. Bolch // *Global Planet. Change* – 2007. – V.56. – P. 1–12 doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.07.009,2007.
- [140]. Bolch, T. The State and Fate of Himalayan Glaciers / T. Bolch T, A. Kulkarni, A. Kääb, C. Huggel, F. Paul, J.G. Cogley, H. Frey, J.S. Kargel, K. Fujita, M. Scheel, S. Bajracharya, M. Stoffel // *Science*. – 2012. - V. 336. –P. 310–314. doi:10.1126/science.1215828.
- [141]. Narama, C. Spatial variability of recent glacier area changes in the Tien Shan Mountains, Central Asia, using Corona (~ 1970), Landsat (~ 2000), and ALOS (~ 2007) satellite data / C. Narama, A. Kääb, M. Duishonakunov, K. Abdrakhmatov // *Global and Planetary Change*. – 2010. – V. 71. – P. 42–54. doi: 10.1016/j.gloplacha.2009.08.002.
- [142]. Голосов, В.Н. Влияние ирригационной эрозии на деградацию почв речных долин в высокогорном поясе Памира / В.Н. Голосов, П.М. Сосин,

В.Р. Беляев, Б. Вольфграмм, Ш. И. Ходжаев // Почвоведение. - 2015. - № 3. - С. 373–384.

[143]. Норматов, П.И. Мониторинг метеорологических условий зоны формирования водных ресурсов трансграничной реки Пяндж (Таджикистан) / П.И. Норматов, Г.Т. Фрумин, И.Ш. Норматов, А.О. Муминов // Ученые записки РГГМУ. - 2017. - № 47. - С.9-15.

[144]. Oster, J.D. Accounting for potassium and magnesium in irrigation water quality assessment / J.D. Oster, G. Sposito, Ch. J. Smith // J. California Agriculture. - 2016. - V. 70(2). - P.71-76. doi: 10.3733/ca.v070n02p71.

[145]. Arienzo, M. The relative effects of sodium and potassium on soil hydraulic conductivity and implications for winery wastewater management / M. Arienzo, E.W. Christen, N.S. Jayawardane, W.C. Quayle // Geoderma. - 2012. - V. 173. - P.303–310.

[146]. Benitez, F.J. Purification kinetics of winery wastes by ozonation, anaerobic digestion and ozonation plus anaerobic digestion / F.J. Benitez, J. Beltran-Heredia, F.J. Real, J.L. Acero // J. Environ. Sci. Health. - 1999. - A 34. - P. 2023–2041.

[147]. Chen, Y. Banin A., Borochovitch A. 1983. Effect of potassium on soil structure in relation to hydraulic conductivity / Y. Chen, A. Banin, A. Borochovitch // Geoderma. - 1983. - V. 30. - P. 135–147.

[148]. Frenkel, H.. Effects of Clay Type and Content, Exchangeable Sodium Percentage and Electrolyte Concentration on Clay Dispersion and Soil Hydraulic Conductivity / H. Frenkel, J.O. Goertzen, J.D. Rhoades // Soil Sci. Soc. Am. J. - 1978. - V. 42. - P. 32–39.

[149]. Hamilton, A.J. Wastewater irrigation: the state of play / A.J. Hamilton, F. Stagnitti, X.Z. Xiong, S.L. Kreidl, K.K. Benke, P. Maher // Vadose Zone J. - 2007. - V.6. - P. 823–840.

[150]. Hermon, S. Zero liquid discharge approach in plating industry: treatment of degreasing effluents by electrocoagulation and anodic oxidation / S. Hermon, D. Grange, Y. Pellet, G. Lloret, S. Oyonarte, F. Bosch, M. Coste // Water Sci. Technol. - 2008. - V.58. - P. 519–527.

- [151]. Jayawardane, N.S. Evaluation of the effects of cation combinations on soil hydraulic conductivity / N.S. Jayawardane, E.W. Christen, M. Arienzo, W.C. Quayle // Soil Res. - 2011. - V. 49. - P. 56–64.
- [152]. Laurenson, S. Review: Use of Recycled Wastewater for Irrigating Grapevines /S. Laurenson, N.S. Bolan, E. Smith, M. Mccarthy // Australian Society of Viticulture and Oenology Inc. - 2012. P. 1–10.
- [153]. Laurenson, S. Effect of K^+ on $Na - Ca$ exchange and the SAR–ESP Relationship / S. Laurenson, E. Smith, N.S. Bolan, M. McCarthy // Soil Res. - 2011. - V.49. - P. 538–546.
- [154]. Ayers, R.S. Water quality for agriculture / R.S. Ayers, D.W. Westcot // FAO Irrig. Drain. - 1985. -V. 29. - Rev.1. – P.23-29.
- [155]. Weber, E. Recycled water causes no salinity or toxicity issues in Napa vineyards / E.Weber, S.R. Grattan, B.R. Hanson // J. California Agriculture. - 2014. - V. 68(3). - P.59–67.
- [156]. Assouline, S. Balancing water scarcity and quality for sustainable irrigated agriculture / S. Assouline, D. Russo, A. Silber, D. Or //Water Resour Res. - 2015. - V.51. - P.3419–3436.
- [157]. Platts, B.E. Chloride levels increase after 13 years of recycled water use in the Salinas Valley / B.E. Platts, M.E. Grismer //J. California Agriculture. - 2014. - V. 68(3). - P.68–74.
- [158]. Platts, B.E. Rainfall leaching is critical for long-term use of recycled water in Salinas Valley / B.E. Platts, M.E. Grismer //J. California Agriculture. - 2014. - V. 68(3). - P.75–81.
- [159]. Buelow, M.C. The effect of mineral-ion interactions on soil hydraulic conductivity / M.C. Buelow, K. Steenwerth, S.J. Parikh //J. Agriculture Water Manage. - 2015. - V. 152. - P.277–285.
- [160]. Marchuk, A. Nature of the clay-cation bond affects soil structure as verified by X-ray computed tomography / A. Marchuk, P. Rengasamy, A. McNeill, A. Kumar // Soil Res. - 2013. - V. 50. - P. 638–644.

- [161]. Rengasamy, P. Cation ratio of soils structural stability (CROSS) / P. Rengasamy, A. Marchuk // *Soil Res.* - 2011. - V. 49. - P.280–285.
- [162]. Smith, C.J. Potassium and magnesium in irrigation water quality assessment / C.J. Smith, J.D. Oster, G. Sposito // *J. Agriculture Water Manage.* - 2015. - V. 157. - P.59–64.
- [163]. Quirk, J.P. The effect of electrolyte concentration on soil permeability/ J.P. Quirk, R.K. Schofield // *J. Soil Sci.* - 1955. - V. 6. - P.163–78.
- [164]. Levy, G.J. Sodicity. In: P.M. Huang, Y. Li, M.E. Sumner (Eds.). *Handbook of Soil Sciences / G.J. Levy // Resource Management and Environmental Impacts.* 2012. Boca Ratón. FL: CRC Press. Chapter 1.
- [165]. U.S. Salinity Laboratory Staff. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Handbook.* -1954. - No. 60. Washington, DC: USDA.
- [166]. *Assessment of the State of Transboundary Waters in the UNECE Region: Assessment of Transboundary Rivers, Lakes and Groundwaters in Central Asia.* 2010. Geneva. – P. 54 (en).
- [167]. Голосов, В.Н. Влияние ирригационной эрозии на деградацию почв речных долин в высокогорном поясе Памира / В.Н. Голосов, П. М. Сосин, В. Р. Беляев, Б. Вольфграмм, Ш. И. Ходжаев // *Почвоведение.* - 2015. - № 3. - С. 373–384.
- [168]. Котова, А.Ю. Поведение некоторых радионуклидов в различных почвах/ А.Ю. Котова, А.Ю. Санжарова // *Почвоведение.* - 2002. - № 1. - С. 108–120.
- [169]. Мамытов А.М. Почвы гор Средней Азии и Южного Казахстана / А.М. Мамытов // Фрунзе: Илим. - 1987. – С. 310.
- [170]. Аналитический отчет. Качество воды в бассейнах рек Амударья и Сырдарья. Ташкент. - 2011. – С. 80.
- [171]. Oster, J.D. The Gapon coefficient and the exchangeable sodium percentage-sodium adsorption ratio relation / J.D. Oster, G. Sposito // *J. Soil Sci. Soc. Am.* - 1980. - V.44. - P.258–260.

- [172]. Wallender, W.W. Agricultural Salinity Assessment and Management / W.W. Wallender, K.K. Tanji // ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice. - 2012. - No. 71. – P. 43-52.
- [173]. Rengasamy, P. Processes involved in sodic behavior. In: Sumner ME, Naidu R (Eds.). Sodic Soil: Distribution, Properties / P. Rengasamy, M.E. Sumner // Management and Environmental Consequences. New York: Oxford University Press. - 1998. - P.35–50.
- [174]. Nikanorov, A.M. Water chemical composition of rivers, lakes and wetlands: Types and properties of water / A.M. Nikanorov, L.V. Brazhnikova // Ed.: M.G. Khublaryan. - 2009. - V.2. - P. 42–80. <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C07/E2-03.pdf>.
- [175]. Таиров, А.З. Об изучении ионного стока реки Сырдарьи в ее нижнем течении / А.З. Таиров // Вопросы географии и геоэкологии - 2015. - №1. - С. 67–71.
- [176]. Кирста Ю.Б., Пузанов А.В. Системно-аналитическое моделирование ионного стока горных рек / Ю.Б. Кирста, А.В. Пузанов // Ползуновский альманах. - 2018. - №4. - С.113–116.
- [177]. Паромов, В.В. Ионный сток и химический состав ледниковой реки Актру (горный Алтай) / В.В. Паромов, О.Г. Савичев, Л.Н. Шантыкова, Т.А. Торгашева // Вест. Томск. гос. ун-та. - 2014. - №383. - С.226–231.
- [178]. Meybeck, M. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads / M. Meybeck // Amer. J. Sci. - 1987. - V. 287(5). - P. 401–428. doi:10.2475/ajs.287.5.401.
- [179]. Meier, Ch. Multiple-tracer based characterization of a river catchment in the Pamir Mountains / Ch. Meier // Halle-Wittenberg. - 2019. – P. 91.
- [180]. Pandey, S.K. Weathering and geochemical processes controlling solute acquisition in Ganga Headwater–Bhagirathi River, Garhwal Himalaya, India / S.K. Pandey, A.K. Singh, S.I. Hasnain // Aqua. Geochem. - 1999. - No5. - P. 357–379.
- [181]. Normatov I., Anderson R., Shermatov N., Normatov P. Hydrochemistry of Mountain Pamir: Tributaries of the Transboundary Pyanj River and their

waters applicability for irrigation / I. Normatov, R. Anderson, N. Shermatov, P. Normatov // J. Sustainable Develop. Mount. Terr. – 2021. - V.13 (1). - P. 53–57.

Список публикаций соискателя по теме диссертации:

[1-A]. Abdurakhimov B.H. About mechanisms of formation of the chemical composition of the high-mountain rivers of Central Asia: The Shakh dara river and its contribution to the hydrochemistry of the Transboundary Panj river / I. Sh. Normatov, V.V. Goncharuk, A.I. Normatov, B.A. Abdurakhimov // J. Water Chemistry and Technology. 2022. – V.44. - №1. – P. 56-61.

[2-A]. Abdurakhimov B.H. The contribution of rock weathering on upstream to the formation of the Pyanj river tributaries hydrochemistry / D.S. Azimov, A.O. Muminov, B.H. Abdurakhimov, I. Sh. Normatov // Polytechnic Bulletin. 2022. – V. 1. - №57. - P. 92-97.

[3-A]. Абдурахимов Б.Х. Формирование гидрологии реки Гунт в зависимости от пространственного распределения сезонных осадков / Б.Х. Абдурахимов, К.Н. Одинаев, А.О. Муминов // Вестник Таджикского Национального университета, Сер. естеств. наук. - 2023. - №2. - С. 120 – 128.

[4-A]. Абдурахимов Б.Х. Влияние зональности климатических условий водосборов на образование стока рек на примере бассейна реки Зеравшан / Б.Х. Абдурахимов // Вестник Педагогического университета (естеств. науки). – 2023. - №1(7). – С. 29-38.

[5-A]. Абдурахимов Б.Х. Метеорология бассейнов рек Ванч И Гунт, применение статистических методов для корреляционного анализа гидрологических характеристик / И.Ш. Норматов, А.О. Муминов, А. Хомидов, Б.Х. Абдурахимов // Ж. Кишоварз. – 2022. - №4 (97). – С. 123-129.

[6-A]. Абдурахимов Б. Х. Метеорологические и гидрологические характеристик бассейна реки Ванч [Текст] / Б.Х. Абдурахимов, Н.С. Саидрасулова, Г.А. Ахмадбекова // Сб. статей III Международной научно-практической конференции. - Пенза, РФ. - 2022. – С.77-79.

[7-A]. Abdurakhimov B. N. Hydrochemistry of the Transboundary Pyanj river (Aral Sea Basin) tributaries and their applicability for irrigation [Текст] / В.Н. Abdurakhimov, А.О. Muminov // Мат-лы Республиканской научно-теоретической конференции “Проблемы современной химии и состояния ее внедрения в учебный процесс”.- Дангара. – 2022. – С. 38-43.

[8-A]. Абдурахимов Б.Х. Вклад климатических зон бассейна в формировании стока реки Зеравшан [Текст]/ Б.Х. Абдурахимов, А.О. Муминов // Республиканская научно-теоретическая конференция “Рациональное использование природы и защита окружающей среды в условиях изменения климата”. - Душанбе. – 2023. – С.204 - 210.