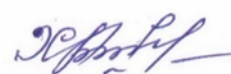


АГЕНТСТВО ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ КОМИТЕТА ОХРАНЫ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН
ТАДЖИКСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

УДК 540.4(282.255.434): 556.531



Хомидов Анвар Шеринович

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФОРМИРОВАНИЯ
ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И СНЕГОВ
БАСЕЙНА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ПЯНДЖ**

Специальность 1.6.21– Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата географических наук

Санкт-Петербург - 2023

Работа выполнена на кафедре метеорологии и климатологии Таджикского национального университета и в отделе гляциологии Агентства по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан

Научный руководитель:

Норматов Ином Шерович

доктор химических наук, профессор,
член-корр. НАНТ, зав. кафедрой
Метеорологии и климатологии ТНУ

Научный консультант:

Фрумин Григорий Тевелевич

доктор химических наук, профессор
ведущий научный сотрудник научно-
исследовательской лаборатории
«Рационального природопользования»
Российского государственного
педагогического университета им.А.И.Герцена

Официальные оппоненты:

Егоров Александр Николаевич

доктор географических наук, ведущий
научный сотрудник ФГБУН «Институт
озероведения РАН»

Рыбалко Александр Евменьевич

доктор геолого-минералогических наук,
главный научный сотрудник ФГБУ «ВНИИ
Океангеология»

Ведущая организация: Казахский национальный Университет имени аль-Фараби

Защита состоится «6» декабря 2023 года в _____ на заседании диссертационного совета Д 24.2.365.01 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: Санкт-Петербург, первый корпус РГГМУ, Малоохтинский проспект, 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета или на сайте <http://www.rshu.ru/university/dissertations/>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим направлять по адресу 192007, Россия, Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79, Российский государственный гидрометеорологический университет, Диссертационный совет Д 24.2.365.01, Ученому секретарю.

Автореферат разослан « » _____ 202... г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат военных наук, доцент



Соколов А.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. С геоэкологической проблемой теснейшим образом связан дефицит водных ресурсов во многих регионах мира, ухудшением качества водных ресурсов из-за загрязнения и естественных причин, обусловленных выветриванием горных пород при активном участии углекислого газа атмосферы, сопровождающегося изменением гидрохимии рек и нерациональным использованием водных ресурсов. С нарастанием проблемы изменения климата дефицит водных ресурсов будет усугубляться и становится все более серьезным препятствием в обеспечении устойчивого развития любой территории. Из-за полузасушливого и засушливого климата Центральная Азия сильно зависит от пресной воды, поступающей от таяния снега и ледников, которая ими используется для орошения, гидроэнергетики и бытовых нужд. Изменения времени поступления (сезонности) и количества пресной воды могут иметь серьезные геоэкологические последствия для будущего управления орошаемым земледелием и производства энергии гидроэлектростанциями. Этот эффект будет наиболее ощутимым в больших ирригационных зонах Центральной Азии, но также и в потенциальных местах строительства гидроэлектростанций в верховьях рек, таких как Рогунская плотина в Таджикистане.

В настоящее время бассейны Центральной Азии в значительной степени зависят от таяния снега для обслуживания летней потребности (потребность относится к потреблению поверхностных и подземных вод в сельскохозяйственных, промышленных и бытовых целях). Кроме того, выявлен высокий риск того, что таяние снега к середине столетия больше не будет удовлетворять летнюю потребность в воде в бассейнах Центральной Азии.

Учитывая и без того очень высокий уровень нехватки воды во многих частях Центральной Азии, наблюдаемое и прогнозируемое повышение температуры воздуха и уменьшение осадков в западной части Казахстана, Узбекистана и Туркменистана может усугубить проблемы нехватки и распределения воды. Учитывая зависимость экономики Узбекистана от орошаемого земледелия, которое потребляет более 90% имеющихся водных ресурсов бассейна Амударьи, воздействие изменения климата на речной сток также сильно повлияет на экономику. Недавние исследования показали, что геоэкологический риск нехватки воды в регионе тесно связан с высоким спросом на воду, обусловленным социально-экономическим давлением и демографическими тенденциями. В Центральной Азии в результате неэффективного использования воды для орошения и деградации пахотных земель уже отмечается снижение урожайности на 30% по сравнению с показателями 90-х годов прошлого века. В зависимости от климатических сценариев, производительность сельского хозяйства может снизиться на 20–50% к 2050 г. (по сравнению с исходным уровнем 2000–2009 гг.) в Узбекистане и до 30% в Таджикистане, если не будут приняты соответствующие меры по адаптации. Снижение производительности сельского хозяйства в сочетании со стремительным ростом населения и цен на продовольствие может оказать

непосредственное влияние на продовольственную безопасность значительной части населения.

Прогнозы показывают, что для бассейна Аральского моря пиковый расход воды может быть достигнут в 2030 и 2044 гг. с последующим устойчивым снижением стока ледников.

В Таджикистане к 2030 году по сравнению с 1961-1990 гг., ежегодные средние температуры будут увеличиваться на $0,2^{\circ}\text{C}$ - $0,4^{\circ}\text{C}$ и к концу 21-го века, по сценарию ожидается, что потепление превысит 5°C в южных районах Таджикистана, а также в горах центрального Таджикистана и западного Памира.

Наблюдаемые ныне увеличения речных стоков в реках Западного и Восточного Памира (бассейна реки Пяндж) вряд ли продолжатся до середины XXI века. Согласно прогнозам, при отсутствии адекватных превентивных мер, изменение климата может повысить среднюю температуру бассейна реки Пяндж от $0,7^{\circ}\text{C}$ до $1,40^{\circ}\text{C}$ к середине XXI века и уменьшить объем ледников на 50%-70%, что приведет к снижению поверхностного стока рек на 10%-20%. Более высокие уровни температуры и осадков будут иметь геоэкологические последствия на чувствительные к климату сектора, такие как водные ресурсы, энергетика, сельское хозяйство и транспорт. Вызванная изменениями климата угроза продовольственной безопасности будет возрастать, если не будут предприняты необходимые меры, поскольку больше людей будет проживать на территориях, которые имеют высокую уязвимость к изменениям климата и экстремальным погодным явлениям. Ежегодные потери от изменения климата, экстремальных геоэкологических и климатических явлений оцениваются в 600 млн долл. США, или 4,8% от валового внутреннего продукта (ВВП) Таджикистана. Вызванные с изменением климата потери, будут увеличиваться с повышением уровня температуры и осадков. К 2030 году средняя температура по прогнозам, увеличится на $2,3^{\circ}\text{C}$. Среднее количество осадков, вероятно, увеличится на 8% на территориях, находящихся до 2500 м над уровнем моря и снизятся на 3% в горных районах. Изменение климата как геоэкологический риск может принести вред Таджикистану в результате воздействия на целый ряд различных социальных, культурных, экономических и природных ресурсов. Более частые экстремальные климатические явления могут неблагоприятно повлиять на функционирование и стабильность как антропогенных, так и природных систем, а также на дальнейшее усугубление вызванных климатом потерь и убытков. Если не будут предприняты надежные меры по снижению уязвимости и повышению адаптации, страна, вероятно, будет испытывать значительные дополнительные экономические потери, проблемы в гуманитарной сфере и ухудшения состояния окружающей среды.

Высокая зависимость Таджикистана от чувствительных к климату секторов, делают страну крайне уязвимой к изменениям климата и экстремальным погодным явлениям. В большинстве территорий Таджикистана могут возникнуть сильные геоэкологические стрессы, такие как изменение биоразнообразия, деградация земель и падение урожайности в сельском хозяйстве к концу этого века. Снижение производительности сельского хозяйства и продуктивности пастбищ отрицательно

скажутся на питании населения. Изменения биоразнообразия экосистем, могут вызвать инфекционные заболевания и возникновения вспышек болезней, распространяющихся через воду и пищу.

На основе анализа по регионам, воздействиям и частоте стихийных бедствий, стоимость общенациональных ущербов в год от изменения климата, по оценкам, ежегодно увеличится с 50,4 млн долл. США в 2014 году до 132,3 млн долл. США в 2030 году. Несмотря на то, что повышение температуры, засуха и деградация пастбищ по прошествии времени наносят крупнейшие ежегодные убытки, с 2014- 2030 гг. повышения уровни воды и наводнения, сельскохозяйственные вредители, лавины, оползни и сели, как ожидается, в совокупности принесут наиболее серьёзное увеличение ежегодных убытков. Потепление климата и связанное с ним появление водного стресса может повлиять на качество воды, так как уменьшение речных стоков приводит к нехватке для разбавления нечистот и нагрузок сточных вод. В результате увеличивается концентрация патогенных микроорганизмов, что может вызвать более активное распространение инфекций.

Наводнение является одной из главных геоэкологических проблем реки Пяндж, ее избыточная вода ежегодно приносит большой ущерб в результате паводков. Во времена Советского Союза с целью защиты района от паводков и орошения сельскохозяйственных площадей была построена защитная дамба. После приобретения Таджикистаном независимости в 1991 году, дамба пострадала в результате береговой эрозии и частично разрушилась под воздействием повторяющихся ударов паводкового потока и из-за отсутствия соответствующего ремонта и обслуживания. Вследствие этого, вышеназванный район неоднократно страдал от паводковых разрушений. В июле 2015 года период аномальной жары спровоцировал таяние вечномёрзлых грунтов в высокогорных районах Западного Памира (бассейн реки Пяндж). Насыщенные влагой и ослабленные склоны над кишлаком Барсем в Горно Бадахшанской Автономной Области (ГБАО), в конце концов, породили мощный селевой поток, который накрыл часть кишлака и перегородил реку Гунт (приток реки Пяндж). Восемьдесят восемь домов были разрушены, линии электропередач были повреждены, автодорога Душанбе-Хорог была заблокирована, а принесенный обломочный материал образовал большую плотину, за которой возникло огромное озеро, представлявшее угрозу для электростанции, кишлаков и города Хорога.

Наводнение, селевые потоки, являющиеся неотъемлемым атрибутом горных рек и реки Пяндж, в частности, усугубляют геоэкологические проблемы урбанизации, которые включают загрязнение природной среды, истощение подземных вод, активизацию экзогенных проблем сохранения и восстановления растительности и загрязнения поверхностных водоемов, в том числе микробиологическими загрязнителями.

Ожидается увеличение риска паводков в результате прорыва ледниковых озер. Уменьшение осадков, усиление суммарного испарения и уменьшение стока в результате таяния снега и ледников, вероятно, в совокупности приведут к

значительному сокращению водных ресурсов, особенно в орошаемых зонах Центральной Азии во второй половине этого столетия. В течение этого столетия будет происходить оттаивание на обширных участках вечномерзлых склонах в обеих регионах, что увеличит вероятность гравитационных перемещений масс, таких как камнепады, ледяные лавины и сели. Такие события в высокогорных районах часто могут распространяться на большие расстояния и затрагивать сообщества в низовьях в результате цепочки сложных процессов. Отсутствие адекватного мониторинга ключевых переменных среды является основным ограничением в понимании прошлых и будущих тенденций. Риски изменения климата необходимо оценивать с учетом конкретных условий подверженности и уязвимости региона, чтобы разработать соответствующие адаптационные решения для управления водными ресурсами и борьбы со стихийными бедствиями.

Естественно, для решения геоэкологических последствий влияния изменения климата на метеорологические условия, состояния водных, снежно-ледовых ресурсов и качество водных артерий бассейнов рек, а также для подготовки страны для борьбы с геоэкологическими рисками и опасными климатическими угрозами и разработки научно-обоснованного механизма адаптации требуется информационная система многолетних данных климатических параметров.

Степень изученности научной проблемы, теоретическая и методологическая основа исследования. В периодических изданиях по направлению исследований опубликовано множество работ, посвященных отдельным аспектам геоэкологической проблемы водных ресурсов и их рационального использования, климата, но они характеризуются эпизодичностью и охватывают узкую ветвь проблемы воды и климатических явлений. В настоящее время для реализации Целей Тысячелетия и решения проблемы разработки механизмов адаптации к изменениям климата требуется комплексный подход, рассматривающий компоненты экосистемы, геоэкологических рисков в их тесной взаимосвязи. Вопрос о существовании потенциальных возможностей нанесения ущерба экосистеме появлением природных и антропогенных факторов воздействия, таких как изменение климата, наводнений, чрезвычайных природных явлений, прошлые и настоящие виды деятельности человека, был озвучен в Стокгольме в 1972 году на Всемирной конференции Организации Объединенных Наций, а затем на саммите в Рио в 1992 году с повесткой дня на XXI век.

Важным аспектом мероприятий, направленных на нейтрализацию геоэкологических рисков и факторов воздействия на экосистему и, тем самым, минимизацию ущерба, является разработка механизмов адаптации компонентов экосистемы к изменениям климата, основанных на научно обоснованных предложениях и рекомендациях. Это достигается путем обобщения, систематизации и критического подхода к метеорологическим, гидрологическим, гляциологическим архивным данным и последовательным мониторингом климатических условий, гидрологии водных артерий, состояния криосферы и физических характеристик ледников и снежных покровов.

Однако следует отметить, что в последние годы существенно активизировались исследования по комплексному изучению метеорологических условий бассейнов трансграничных рек и тесно связанных с ними состояние оледенения, гидрологии и гидрохимия рек, чрезвычайные природные явления. Широко представлены климатические, гидрологические и гляциологические информации в сайтах ряда профилирующих международных и национальных организаций.

Агентство по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан имеет широкую сеть наблюдательных станций по всей территории республики и богатый архивный материал.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы являлась разработка информационной системы поддержки принятия управленческих решений, затрагивающих геоэкологическое состояние водной системы бассейна реки Пяндж.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- Геоэкологический мониторинг динамики температуры и атмосферных осадков климатических зон и оценка геоэкологических последствий влияния изменения климата в бассейне реки Пяндж за период 1940-2020 гг.
- Геоэкологический анализ влияния орографии на пространственное распределение атмосферных осадков по климатическим зонам бассейна реки Пяндж за период 1940-2020 гг.
- Геоэкологическое исследование высотного распределения снежного покрова и изменения соотношений среднегодовых значений высот снежного покрова к среднегодовым осадкам в западном, центральном и восточном Памире (водосборной территории реки Пяндж).
- Использование изотопных методов для определения основных источников обеспечения климатических зон бассейна реки Пяндж атмосферными осадками.
- Геоэкологический мониторинг процессов формирования химического состава реки Пяндж и ее притоков.
- Геоэкологическая оценка степени применимости реки Пяндж и ее притоков для орошения сельскохозяйственных земель.

Объект исследования. Бассейн реки Пяндж и ее притоки.

Предмет исследования. Геоэкологическая оценка последствий влияния изменения климата на климатические характеристики бассейна реки Пяндж и гидрохимии реки Пяндж и ее притоков. Геоэкологическая оценка степени применимости вод реки Пяндж и ее притоков для орошения.

Методы исследования. Исследования проводились путем систематизации и статистической обработки данных по температуре и атмосферным осадкам. Химико-аналитические методы определения концентрации химических элементов и изотопные методы для оценки распределения осадков по бассейнам рек. Применение корреляции Пирсона для определения взаимосвязи метеорологических и гидрологических характеристик бассейнов реки Пяндж и ее притоков.

Достоверность результатов обеспечивается использованием статистических и математических методов обработки данных наблюдений.

Научная новизна работы:

- Геоэкологическим мониторингом метеорологических данных впервые установлено, что во всех климатических зонах Памира происходит потепление климата и данный процесс протекает в более ускоренном темпе на высокогорьях в зоне водосбора реки Пяндж.
- Геоэкологическим анализом распределения атмосферных осадков по климатическим зонам водосбора реки Пяндж установлено, что влажная воздушная масса из Средиземноморья является основным источником обеспечения Западной и Центральной части Памира влагой. Максимальное количество осадков в восточной части Памира в конце весны и летом вызвано проникновением воздушных масс из северной части Индийского океана.
- Геоэкологическим мониторингом влияния орографии местности на формирование высоты снежного покрова установлено, что геоэкологическим последствием сложности проникновения влажных западных воздушных масс из Средиземноморья в Восточный Памир (Мургаб, Шаймак) является формирование незначительных глубин снежного покрова.
- Геоэкологическим анализом установлен вклад выветривания горных пород в обогащении химического состава вод реки Пяндж и ее притоков. Предположено о существенном вкладе атмосферного диоксида углерода в выветривание горных пород и формирование химического состава рек Пяндж и ее притоков.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты исследований внедрены в тематические планы Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Академии наук Республики Таджикистан и в Агентство по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан.

Основные положения диссертационной работы включены в учебную программу дисциплин “Гидрология суши” и “Метеорология” кафедры Метеорологии и климатологии Таджикского национального университета.

Научные результаты, выносимые на защиту:

- Результаты геоэкологического мониторинга климатических характеристик и оценки геоэкологических последствий влияния изменения климата в бассейне реки Пяндж за период 1940-2020 гг.
- Результаты геоэкологического анализа влияния орографии на пространственное распределение атмосферных осадков по климатическим зонам бассейна реки Пяндж за период 1940-2020 гг.
- Результаты геоэкологических исследований высотного распределения снежного покрова и изменения соотношений среднегодовых значений высот снежного покрова к среднегодовым осадкам на водосборной территории реки Пяндж.
- Результаты применения изотопных методов для определения основных источников обеспечения климатических зон бассейна реки Пяндж атмосферными осадками.

- Результаты геоэкологического мониторинга процессов формирования химического состава реки Пяндж и ее притоков и геоэкологической оценки степени применимости реки Пяндж и ее притоков для орошения сельскохозяйственных земель.
- Результаты геоэкологического анализа химического состава снежного покрова и талых вод ледника Гармо.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований докладывались на Международной конференции «Science Leader Award 2015», 5-7 октября 2015, Алматы, Казахстан, Всемирной выставке ЕХРО- 2017, 12-22 июня 2017, Астана, Казахстан, Республиканская научно-практическая конференция «Водохозяйственный комплекс – проблемы и пути решения», 4-7 мая 2022, Душанбе, Таджикистан, Международный форум “Вода и горы на пути к устойчивому развитию”, 6-9 июня 2022, Душанбе, Таджикистан, Республиканской научно-теоретической конференции профессорско-преподавательского состава ТНУ “Годы развития промышленности (2022-2026)”, 20-27 апреля 2022, Душанбе, Таджикистан, Международной конференции “Роль физики в развитие науки, просвещения и инноваций” 27-28 октября 2022, Душанбе, Таджикистан, American Geophysical Union Fall Meeting, 12-16 December 2022, The XIth Scientific Assembly of the International Association of Hydrological Sciences (IAHS 2022), 29 May - 3 June 2022, Montpellier, France.

Личный вклад автора заключается в постановке проблемы исследования, методическом обеспечении ее решения и анализе результатов мониторинга метеорологических условий и гидрологических характеристик бассейна реки Пяндж и ее притоков. В основе диссертации лежат результаты семилетних исследований автора по проблеме метеорологии и гидрологии бассейна реки Пяндж.

Публикации. По теме диссертации опубликовано **8** научных работ, в том числе **3** публикации в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и ВАК Российской Федерации.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и выводов, изложена на **134** страницах основного текста и включает **40** рисунков и **12** таблиц. Список использованных источников включает **167** наименования, в том числе **135** иностранных.

Основное содержание диссертации

Во Введении обоснована актуальность темы, кратко изложены предмет и объект исследований, структура диссертации, сформулированы цель и задачи работы, определена научная и практическая значимость проведенных исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, а также описан личный вклад автора.

В первой главе описаны физико-географические особенности объектов исследований бассейнов рек Пяндж, Вахш и их притоков. Представлены материалы по климатическим условиям, гидрологическим характеристикам рек, состоянию оледенения, гидроэнергетических потенциалов и водных ресурсов бассейнов рек. Показано, что многообразие климатических условий Центральной Азии, обнаружение закономерностей изменения метеорологических процессов в

зависимости от географических и геоэкологических особенностей региона привело к необходимости климатического районирования. В развитии представления климатического районирования Памир рассматривается как область, где происходит смена влажного, холодного средиземноморского климата на сухой центральноазиатский. Поскольку основная зона формирования водного стока р. Пяндж находится на Памире, мониторинг метеорологических условий, динамика их изменений в условиях глобального потепления является актуальной проблемой.

Обнаружено, что формирование снежного покрова и пространственное распределение атмосферных осадков в горном Памире в основном определяется орографией местности. Соотношение атмосферных осадков к глубине снежного покрова определяется температурным режимом и высотой местности. Существование эффекта влияния орографии на продвижение воздушных масс в горных местностях способствует тому, что происходит смещение периодов выпадения максимального количества снежного покрова в разные климатические зоны.

Данные последних десятилетий свидетельствуют об усилении сокращения площадей оледенения и снежного покрова в горах как южного, так и северного полушария Земли. Ожидается, что географические районы, в водных циклах которых доминирует гидрология таяния ледников и снега, будут более восприимчивыми к изменению климата, т.е. изменению сезонности стока речной системы. Эти климатические реакции горной речной гидрологии в сочетании с потенциальными изменениями на поверхности Земли, ростом численности населения и уже существующим дефицитом водных ресурсов могут создавать серьезные проблемы для горных регионов. Региональные климатические прогнозы МГЭИК (2007) показывают, что к концу XXI в. ожидается потепление Центральной Азии на 3,7°C.

До 2085 года будет расти спрос на воду для удовлетворения спроса на испарение, обусловленного повышением температуры. Моделирование показывает, что в 2085 году спрос на испарение, как ожидается, увеличится от 7 до 19% в зависимости от используемой глобальной модели циркуляции и принятого сценария выбросов. При большинстве результатов, приближающихся к росту спроса на испарение на 14%, это приравнивается к среднему увеличению спроса на воду примерно на 3,5 км³ для орошаемой площади.

Все результаты глобальных моделей указывают на незначительные изменения осадков в верхнем водосборе, но необходимо проявлять осторожность, поскольку эти модели содержат конкретную неопределенность, имитирующую горные районы. Повышение температуры приведет к более коротким зимам, и большая часть осадков в верхнем водосборе будет дождем, а не снегом; усиление эвапотранспирации и меньший сток будут еще более усугублять последствия. Деграция ледников ускоряется и к 2085 году ожидается заметное сокращение ледникового стока, который, хотя и не вносит большой вклад в то, как во влажные годы, вносит значительный вклад в засушливые годы. Из-за трудностей в моделировании будущего стока водосбора, гидрологические факторы которого изменяются по сравнению с теми, которые имели место в прошлом, точные прогнозы невозможны. Изучив

широкий спектр сценариев стока, в лучшем случае к 2085 году мы можем ожидать сокращения потока на 5%, а худшем- на 20%, что с увеличением спроса на испарение приравнивается к среднему дефициту между 10 и 25% существующих водных ресурсов, но в засушливые годы это может увеличиться до 35%.

Если методы орошения не изменятся, с увеличением потерь от испарения и уменьшением речного стока, к 2085 году площадь, которую можно орошать, придется значительно сократить. Хотя моделирование сценариев показывает тенденцию, что будет меньше воды, и увеличение испарения, некоторая неопределенность все еще существует, поэтому никакие поспешные решения об изменениях в управлении не должны быть реализованы. В отличие от этого, тщательно продуманные и проработанные стратегии управления должны разрабатываться и рассматриваться в более широком масштабе, учитывая, главным образом, варианты улучшения ирригационного сектора. Возможно, полностью смягчить неблагоприятные последствия изменения климата невозможно, однако имеется значительный потенциал для их уменьшения.

Например, необходимо разработать стратегии для адаптированного к засухе распределения воды с тем, чтобы в периоды нехватки воды можно было также обеспечить достаточный запас воды в сложившихся условиях. В качестве дополнения к увеличению имеющихся водных ресурсов для орошения в засушливые годы можно было бы использовать незасоленные возобновляемые грунтовые воды в области ирригационных проектов.

Проведением глубоких и всесторонних анализов существующих проблем воды и климата в исследуемых бассейнах рек разработана цель диссертационной работы.

Во второй главе представлена характеристика информационного массива, указывающая об источниках, использованных в диссертационной работе данных, полученных в периоды экспедиционных и полевых работ в рамках Международных проектов “Contribution to High Asia Runoff from Ice and Snow” в сотрудничестве с Университетом Колорадо в Боулдере (США) и Университетом Катманду (Непал) (2012-2016 гг), “Risk management & Risk assessment of water resources of the Amu Darya river basin in the conditions of climate change and construction of large reservoirs”(2015-2018 гг) и “Interstate Water Resource Risk Management: Towards A Sustainable Future for the Pyanj River Basin” (2016-2019 гг) финансируемого ЮСАИД и Агентством по Гидрометеорологии Республики Таджикистан по изучению водных, гидроэнергетических ресурсов и экологического состояния бассейна реки Пяндж.

Информационный массив, полученный при проведении экологического мониторинга в бассейне реки Пяндж, включает:

гидрохимические наблюдения, выполненные при отборе проб;

результаты химико-аналитических и других лабораторных исследований проб природной среды;

результаты изотопных анализов рек Центрального и Западного Памира (бассейна реки Пяндж).

С 2015 г. по 2021 г. в бассейне реки Пяндж для определения содержания загрязняющих веществ на более 75 точках геоэкологического мониторинга было отобрано: 877 проб речной воды; 186 проб снежного покрова; 182 пробы коллекторно-дренажных вод. Информационный массив химико-аналитических определений, полученный по результатам исследований в бассейне реки Пяндж за период с 2010 г. по 2021 г., включает более 28640 записей значений концентраций загрязняющих веществ и физико-химических свойств объектов природной среды, в том числе: 1950 записей значений температуры; 2010 записей значений рН; 2020 записей значений концентрации кальция; 2020 записей значений концентрации магния; 2020 записей значений концентрации натрия; 2020 записей значений концентрации калия; 2020 записей значений концентрации железа; 320 записей значений концентрации цинка; 320 записей значений концентрации меди; 320 записей значений концентрации хрома(VI); 2020 записей значений концентрации SO_4^{2-} ; 2020 записей значений концентрации NO_3^- ; 2020 записей значений концентрации Cl^- ; 2020 записей значений концентрации PO_4^{3-} ; 2020 записей значений концентрации HCO_3^- ; 320 записей значений концентрации кадмия; 320 записей значений концентрации мышьяка; 320 записей значений концентрации ртути; 320 записей концентрации сурьмы; 320 записей концентрации урана; 320 записей концентрации стронция; 320 записей концентрации цезия; 320 записей концентрации самария; 320 записей концентрации европия; 320 записей концентрации рутения; 320 записей концентрации рубидия.

Пяндж - река на границе Таджикистана и Афганистана, левая составляющая Амударьи длиной 921 км и площадью бассейна 114 тыс. км². Образуется слиянием рек Памир и Вахандарья. Средний расход воды 1032 м³/с. Используется в основном для орошения. Ее ресурсы составляют около 20% общих ресурсов региона, 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. Река Пяндж принимает в себя несколько притоков, наиболее крупными из которых являются реки Памир, Гунт, Бартанг, Язгулем, Ванч и Кызылсу. Слева, со стороны Афганистана, впадают многочисленные малые реки, а также р. Вахан (источник р. Амударья) и р. Кокча. При слиянии рек Пяндж и Вахш образуется Амударья – крупнейшая река Центральной Азии. Средний годовой расход воды (г/п Нижний Пяндж) - 1 010 м³/с, средний годовой объем стока - 31.9 км³. Пик стока приходится на июнь-июль-август, с максимальным расходом в июле. Удельная водоносность рек бассейна р. Пяндж различается в зависимости от условий увлажнения и рельефа. Так, на востоке Памира, где преобладает высокогорное пустынное плато, поверхностный сток менее 5 л/с/км², в то время как на западе Памира водоносность бассейнов рек Ванч и Язгулем более 20 л/с/км². Объем ледников бассейна р. Пяндж оценивается в 170-200 км³. За период 1970-2010 гг., а также за более длительное время 1941-2010 гг. произошло незначительное увеличение стока рек Гунт, Бартанг, Ванч и Кызылсу (южная). Повышенными значениями водности отличались два последних десятилетия, особенно р. Яхсу/Кызылсу (южная). Эта река отличается от многих других тем, что ее питание

определяется дождевыми осадками и таянием снега весной, и она подвержена разрушительным паводкам и селям, особенно в 1998, 2002, 2005, 2010 гг. ее сток увеличился, главным образом, за счет усиления паводка и наводнений в весенний период.

В третьей главе диссертации представлены результаты мониторинга и систематизации метеорологических условий южной, западной, центральной и восточной зон Памира и динамика изменения температуры и атмосферных осадков за период 1940-2020 гг. В развитии представления климатического районирования Памир рассматривается как область, где происходит смена влажного, холодного средиземноморского климата на сухой центральноазиатский. Поскольку основная зона формирования водного стока р. Пяндж находится на Памире, мониторинг метеорологических условий, динамика их изменений в условиях глобального потепления является актуальной проблемой.

Для мониторинга гидрометеорологических условий соответствующих климатических зон Памира использовались данные базисных метеорологических станций Дарваз, Джавшангоз, Хорог, Ирхт, Ишкашим и Мургаб. Условно определены базисные станции.

На рисунке 1 (а, б, в, г, д, е), представлена динамика изменения температуры по данным вышеперечисленных метеостанций за период 1940-2020 гг.

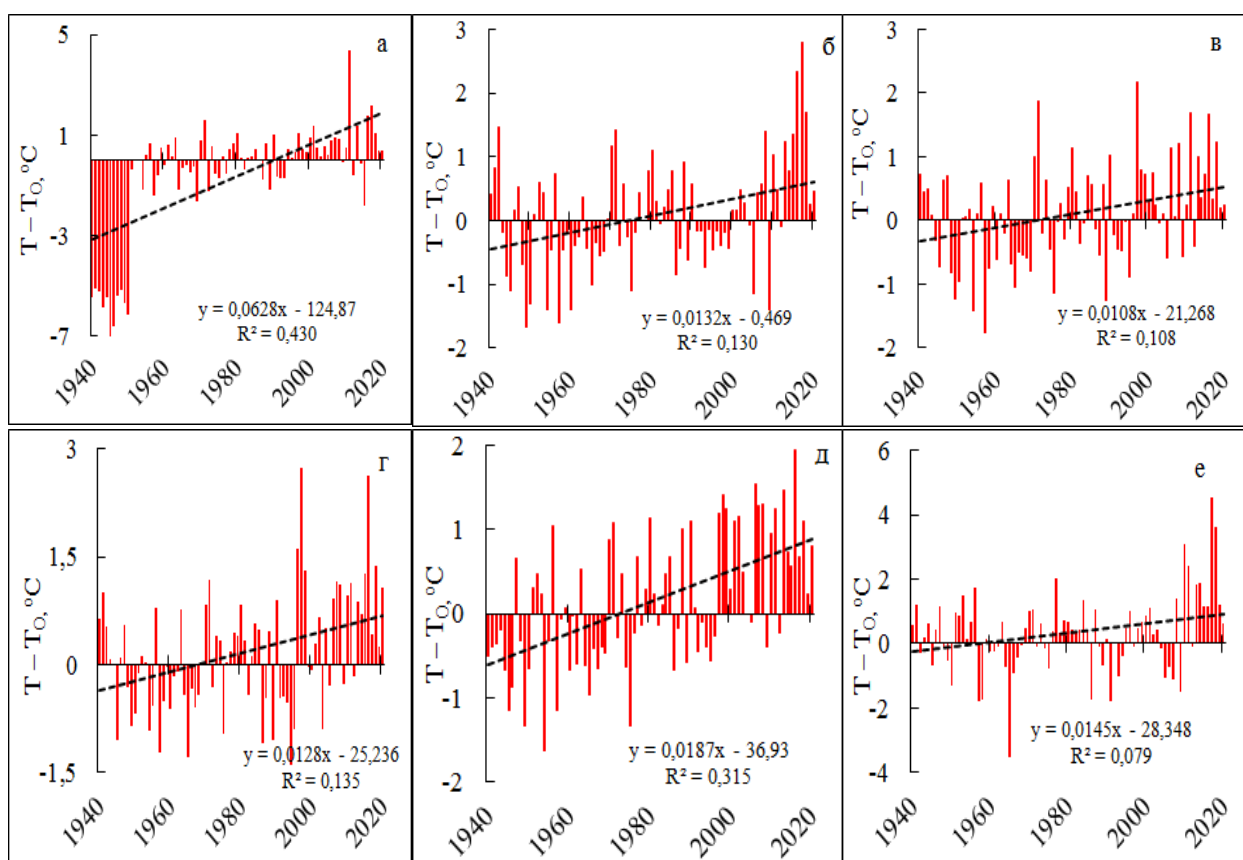
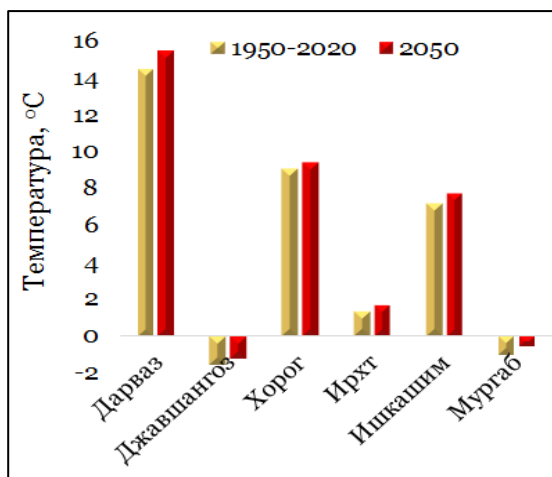


Рисунок 1- Динамика изменения температуры в бассейне реки Пяндж за период 1940-2020 гг. по данным метеостанций Дарваз (а), Джавшангоз (б) Хорог (в), Ирхт (г), Ишкашим (д) и Мургаб (е)

На рисунке 1 видно, что за рассматриваемый период 1940-2020 гг. во всех климатических зонах Памира произошло увеличение температуры. С учетом динамики возрастания температуры и соответствующими расчетами прогнозировано, что в бассейне реки Пяндж к 2050 году ожидается увеличение температуры на 0.31-0.54°C. В частности, в: Дарвазе – 0.90-1.00°C; Хороге – 0.33°C; Ишкашине – 0.54°C; Ирхте – 0.39°C; Джавшангозе – 0.36°C; Мургабе – 0.45°C (рисунок. 2).



Динамика изменения атмосферных осадков по данным метеостанций Дарваз, Хорог, Ишкашим, Ирхт, Джавшангоз и Мургаб бассейна р. Пяндж показывает ее неоднозначное поведение в разных климатических зонах благодаря наличию фактора влияния орографии горной местности на распространение воздушных масс (рисунок. 3, а, б, в, г, д, е).

Рисунок 2 - Среднегодовое значение температуры бассейна реки Пяндж за период 1940-2020 гг. и к 2050 г.

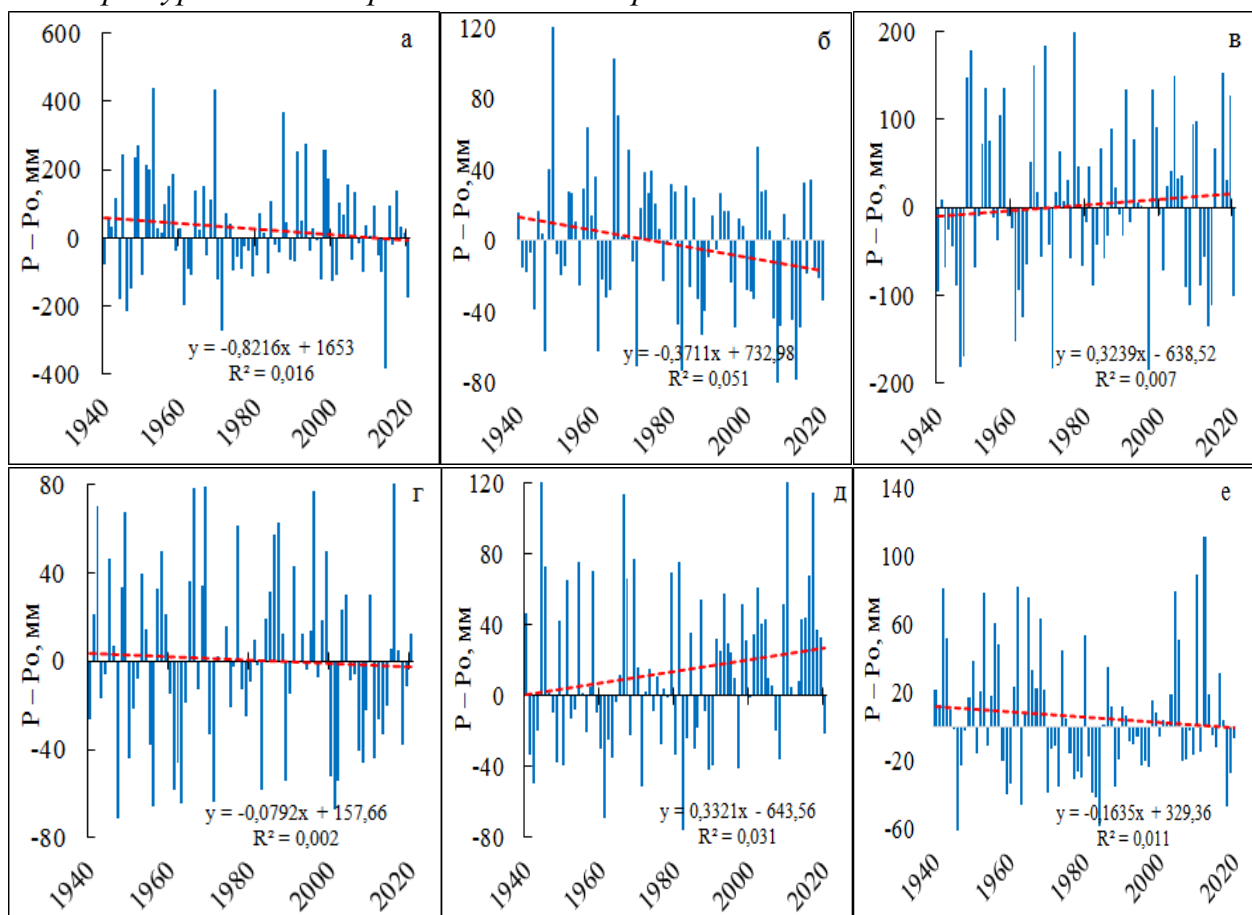
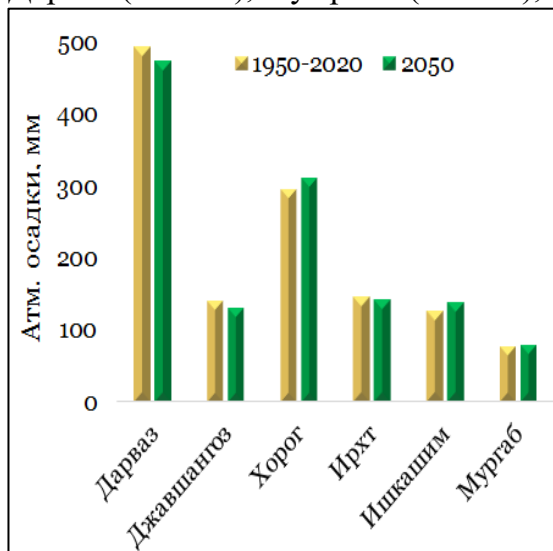


Рисунок 3- Изменение атмосферных осадков в бассейне реки Пяндж за период 1940-2020 гг. по данным метеостанций Дарваз (а), Джавшангоз (б) Хорог (в), Ирхт (г), Ишкашим (д) и Мургаб (е)

Спрогнозировано, что к 2050 году по данным метеостанций в Дарвазе, Ирхте и Джавшангозе, произойдет уменьшение количества атмосферных осадков на 3.8%, 2.0% и 7.7% соответственно, а в Хороге, Ишкашине и Мургабе ожидается увеличение осадков на 5.5%, 9.0% и 1.0% соответственно. В среднем по бассейну реки Пяндж прогнозируется увеличение атмосферных осадков на 0.9% по отношению к периоду 1940-2020 гг. (рисунок 4).

Для мониторинга сезонного распределения атмосферных осадков по климатическим зонам Памира использовались данные метеорологических станций Дарваз (1288 м), Хумроги (1737 м), Рушан (1981 м), Хорог (2080 м), Ирхт (3276 м),



Ишкашим (2600 м), Мургаб (3576 м) и Шаймак (3840 м) за период 1950-2020 гг с применением статистических методов обработки (корреляции Пирсона и Спирмена) для определения тренда изменения исследуемых метеорологических параметров. Поступление и распространение воздушных масс по террасам высокогорья имеет отличительные черты, обусловленные фактором влияния орографии горной местности.

Рисунок 4 - Среднегодовое значение атмосферных осадков бассейна реки Пяндж

за период 1950-2020 гг. и к 2050 г.

В качестве примера можно привести среднегодовое значения атмосферных осадков в западной, центральной и восточных частях Памира, которые показывают определенную последовательность в проявлении сезонов с максимальным значением осадков в западной, центральной и восточных частях Памира (рисунок 5, а, б, в).

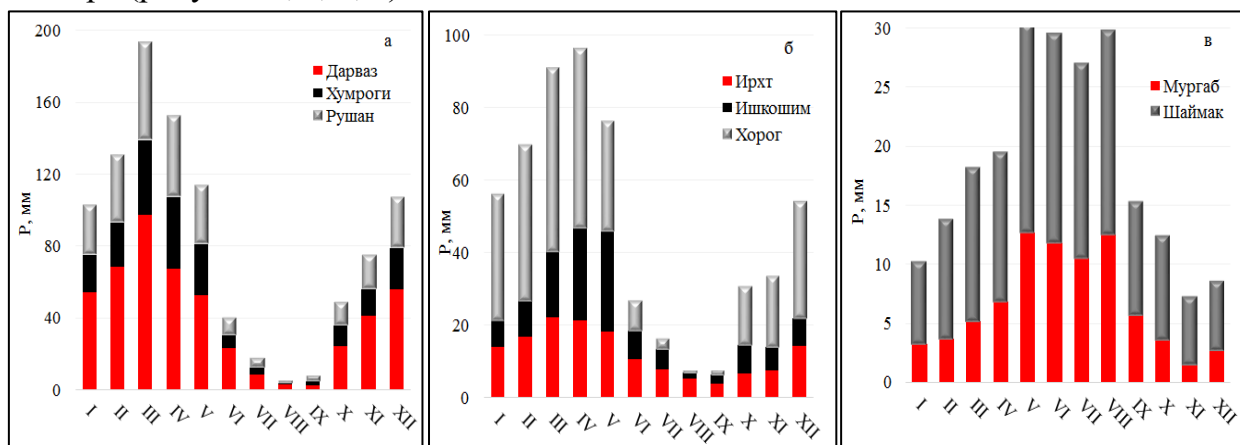


Рисунок 5- Многолетние среднемесячные атмосферные осадки в западной (а), центральной (б) и восточных частях (в) Памира

Из рисунка 5(а) следует, что, если на западном и центральном Памире обильное количество осадков приходится на весенний период с максимумами в марте и апреле соответственно, то в восточной части Памира максимум атмосферных осадков

приходится на май-август. Наблюдаемая на рис.5 (а, б) гистограмма указывает на вклад западных воздушных масс с влагой Средиземноморья в обеспечение западной и центральной части Памира. Проявление максимальных значений атмосферных осадков в восточной части Памира в конце весны и летом вызвано проникновением воздушных масс из северной части Индийского океана. Среднегодовое количество осадков на восточном Памире незначительно (40–140 мм при среднем значении около 76 мм).

Ныне в установлении вклада видов воздушных масс в переносе водяного пара широко применяются изотопные методы, основанные на прослеживании изменения значений изотопов ^2H и ^{18}O по мере продвижения водяного пара воздушными массами из исходной зоны формирования и агрегатного перехода, и формирование атмосферных осадков.

На рисунке 8 приведены результаты исследования изотопного состава рек западного и центрального Памира между 70° до 71.1° восточной долготы на высотах 1075-1525 м н.у.м.

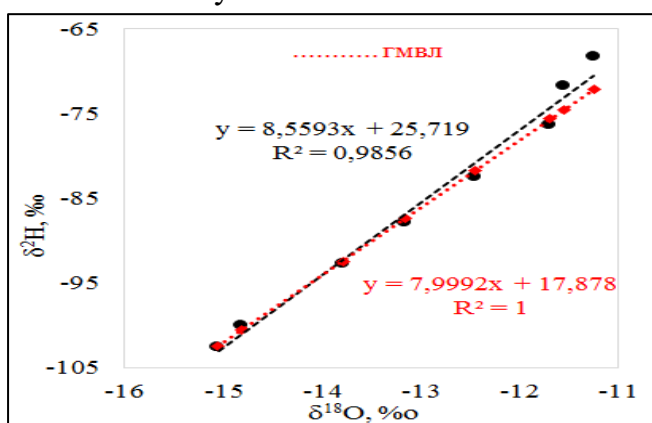


Рисунок 6 - Линейная зависимость между $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в речных водах западного и центрального Памира по сравнению с Глобальной метеоритной водной линией (ГМВЛ)

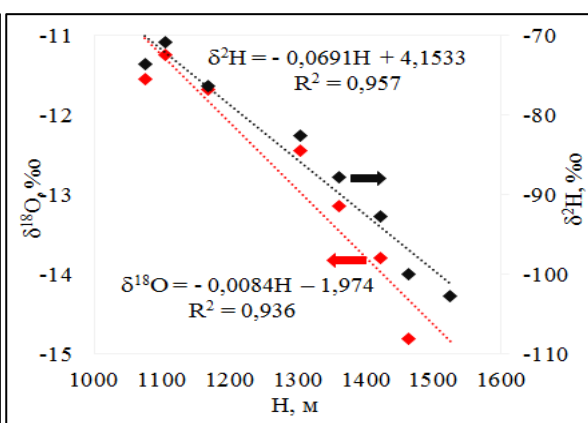


Рисунок 7-Зависимость содержания изотопов ^{18}O , ^2H в речных водах западного и центрального Памира от высоты отбора проб воды

Из рис.6 видно, что в западной и центральной частях Памира наблюдается близкая к ГМВЛ зависимость между $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в речных водах. Это свидетельствует о том, что в этих частях Памира наблюдается высокая влажность воздуха и высокая влажность осадков. В восточной части Памира наблюдается значительное отклонение от ГМВЛ, что свидетельствует о том, что в этой части Памира наблюдается низкая влажность воздуха и низкая влажность осадков. В южной части Памира наблюдается значительное отклонение от ГМВЛ, что свидетельствует о том, что в этой части Памира наблюдается высокая влажность воздуха и высокая влажность осадков.

Уменьшение $\delta^{18}\text{O}$ с увеличением высоты характеризует пространственное изменение осадков между 70° и 71.3° восточной долготы. Высота отбора проб варьируется в диапазоне от 1075 м до 1525 м н.у.м., при этом соответствующие значения $\delta^{18}\text{O}$ в речной воде варьируются от $-11,6\text{‰}$ при 70°E до $-15,1\text{‰}$ при $71,3^\circ\text{E}$. Из рис.7 следует, что значения $\delta^{18}\text{O}$ в речной воде демонстрируют небольшие изменения магнитуды в более низком диапазоне высот. Общая скорость вертикального падения $\delta^{18}\text{O}$ $0,16\text{‰}/100$ м и ниже, чем в среднем по миру $0,28\text{‰}/100$ м.

В четвертой главе представлены результаты изучения происхождения химического состава реки Пяндж и ее притоков Шохдары и Ванч.

Климатообразующие метеорологические параметры, а именно атмосферные осадки, температура и испарение в большинстве случаев определяют водный режим поверхностных и подземных вод.

Атмосфера является начальной стадией формирования гидрохимии водных объектов. Основными отличиями атмосферных от остальных видов природных вод являются их быстрые изменения минерализации и состава во времени и пространстве и низкое значение степени минерализации.

Перенос аэрозолей (ядер конденсации) воздушными течениями из других областей с иными физико-географическими условиями может способствовать формированию поверхностных вод с совершенно иными физико-химическими свойствами, чем у присущего состава водоносных пород того или иного района.

Изменением температуры атмосферного воздуха и связанные с ним промерзание и оттаивание почв и пород сказывается на условиях питания поверхностных и грунтовых вод, и, следовательно, на их минерализации и химическом составе. Всякие колебания температуры воды обуславливают изменение растворимости солей, присутствующих в природных растворах.

Выветривание горных пород в наземных экосистемах поглощает запасы углекислого газа из атмосферы, тем самым снижая интенсивность атмосферного парникового эффекта.

Особую актуальность исследования ионного стока приобретают при изучении тех геосистем, которые находятся в неустойчивых состояниях, например, горно-ледниковых бассейнов в условиях климатических изменений.

На рисунке 8, где представлен элементный состав реки Шохдара, следует, что химический состав речной воды характеризуется незначительными концентрациями, но богатым набором химических элементов.

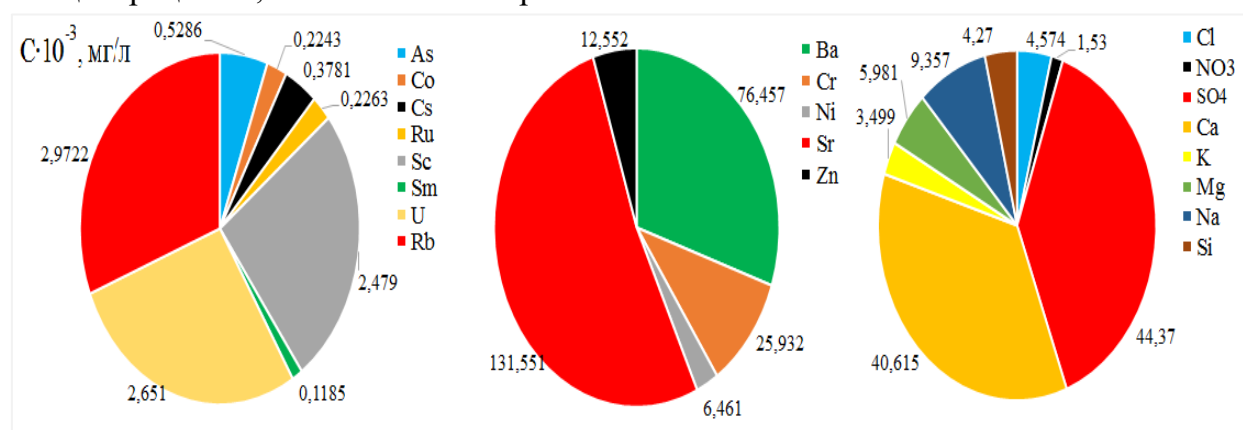
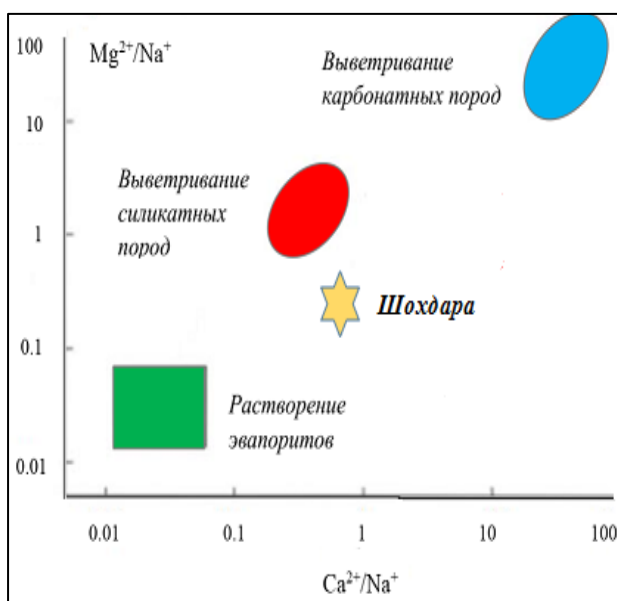


Рисунок 8- Химический состав воды реки Шохдара

Из анализа данных следует, что соотношения Na^+/Cl^- и K^+/Cl^- реки Шохдара соответственно равны 2.05 и 0.77. Следовательно, можно утверждать, что доминирующим фактором в формировании химического состава реки Шохдара является выветривание горных пород бассейна реки.

В свою очередь, преобладание карбонатного, силикатного выветривания или растворение эвапоритов в обеспечение рек химическими элементами определяется зависимостью соотношений Mg^{2+}/Na^{+} и Ca^{2+}/Na^{+} (рисунок 9).

Проведенными расчетами соответственных соотношений было установлено, что формирование химического состава реки Шохдара происходит в результате выветривания силикатных пород (Рисунок 9). Фактором доминирования выветривания карбонатных пород в формировании химического состава рек являются высокие значения соотношения



$Ca^{2+}+Mg^{2+}/Na^{+}+K^{+}(>6)$ и молярного соотношения Mg^{2+}/Ca^{2+} .

Было установлено, что для вод реки Шохдара соотношение $Ca^{2+} + Mg^{2+}/Na^{+} + K^{+}$ достигает 3.62 и Mg^{2+}/Ca^{2+} равняется 0.92. Следовательно, можно предположить, что в бассейне реки Шохдара преобладает процесс выветривания силикатных пород, но без исключения определенной доли карбонатного выветривания.

Рисунок 9 - Диаграмма Гиббса выветривания карбонатных, силикатных пород и эвапоритов

Для определения взаимосвязи компонентов рек и вклада реки Шохдара в обеспечение главной реки Пяндж химическими элементами проводилась корреляционная зависимость с использованием корреляции Пирсона (Таблица 1).

Таблица 1 - Корреляционная матрица Пирсона для среднего химического состава проб воды из рек Шохдара и Пяндж

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Fe^{3+}	Cl^{-}	NO_3^{-}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}
Ca^{2+}	1								
Mg^{2+}	-0,10	1							
Na^{+}	0,31	-0,86	1						
K^{+}	0,49	-0,86	0,855	1					
Fe^{3+}	0,08	0,96	-0,84	-0,75	1				
Cl^{-}	0,56	-0,83	0,92	0,90	-0,73	1			
NO_3^{-}	-0,2	0,59	-0,32	-0,56	0,40	-0,43	1		
SO_4^{2-}	0,12	0,95	-0,85	-0,73	0,98	-0,70	0,45	1	
HCO_3^{-}	0,99	-0,16	0,40	0,54	0,02	0,61	-0,23	0,04	1

Из сравнения данных, обобщенных в таблице 1, следует, что между анионом Cl^{-} и щелочными элементами, анионами SO_4^{2-} и Mg^{2+} , Ca^{2+} с анионом HCO_3^{-} наблюдаются сильные положительные корреляции.

В общей проблеме выветривания горных пород и формирования химического состава рек миграция образующихся химических элементов по руслу реки представляет значительный интерес и является важным аспектом с точки зрения использования вод для орошения сельскохозяйственных земель. Учитывая актуальность данной проблемы, проводились исследования гидрохимии среднего и нижнего течения трансграничной реки Пяндж и особенностей динамики изменения химического состава вдоль русла реки.

Отбор проб воды из реки Пяндж осуществлялся в точках: 1(37.92010N 71.40069E), 2(37.93905N 71.28160E), 3(38.11634N 71.32416E), 4(38.34362N 71.19676E), 5(38.40696N 71.13829E), 6 (38.44870N 71.02927E), 7(38.46246N 70.76193E), 8(38.35925N 70.65354E), 9(38.34769N 70.60247E) и 10(37.98391N 70.25198E) (рисунок 10).



Рисунок 10- Расположение исследуемой территории, включая все точки отбора проб

На рисунке 11 представлены концентрации лантаноидов (Eu, Sm), тяжелых металлов (ТМ) и урана в соответствующих точках отбора проб из реки Пяндж. Набор данных и описательный анализ всех гидрохимических параметров показывают очень неоднородное распределение химических элементов по течению реки. Незначительные значения концентрации элементов - отражение естественного процесса выветривания и отсутствия стационарных источников их поступления в водный сток.

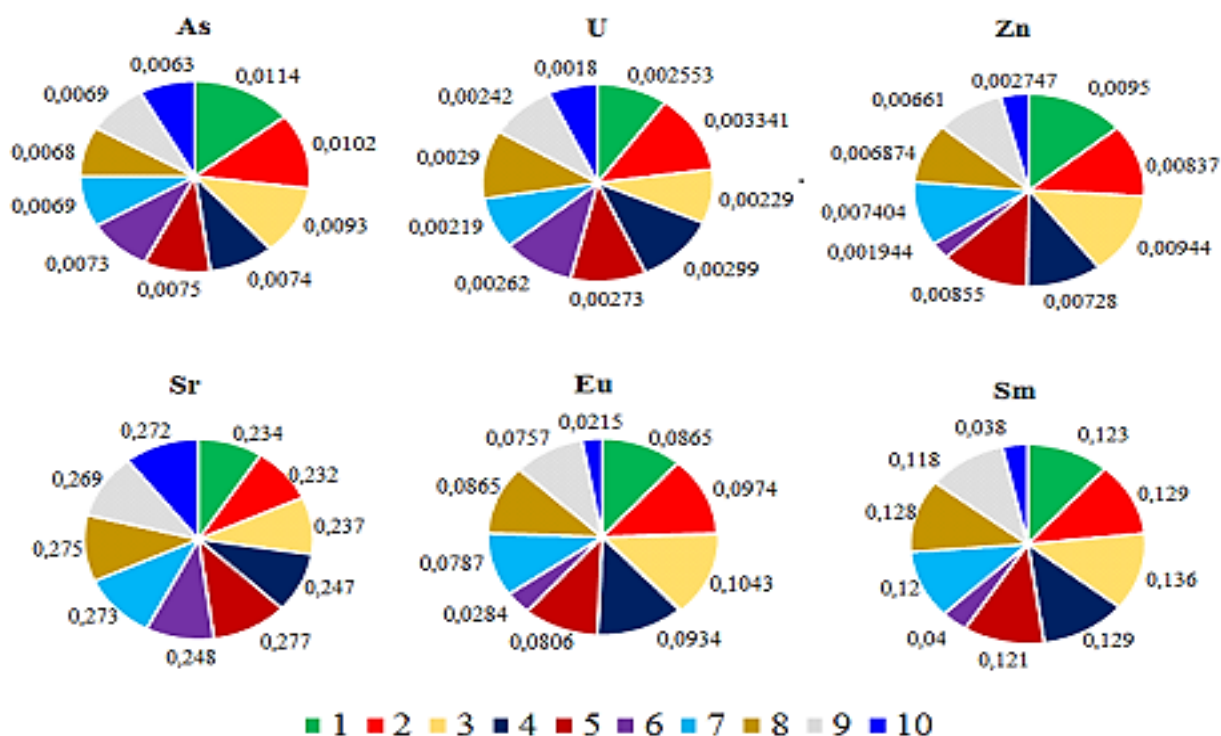


Рисунок 11-Распределение концентрации (мг/дм³) лантаноидов, тяжелых металлов и урана вдоль русла трансграничной реки Пяндж

Динамика изменения концентрации некоторых лантаноидов и тяжелых металлов (ТМ) по руслу реки, представленная на рисунке 12, показывает, что по мере течения реки Пяндж в низовье концентрация лантаноидов и ТМ уменьшаются.

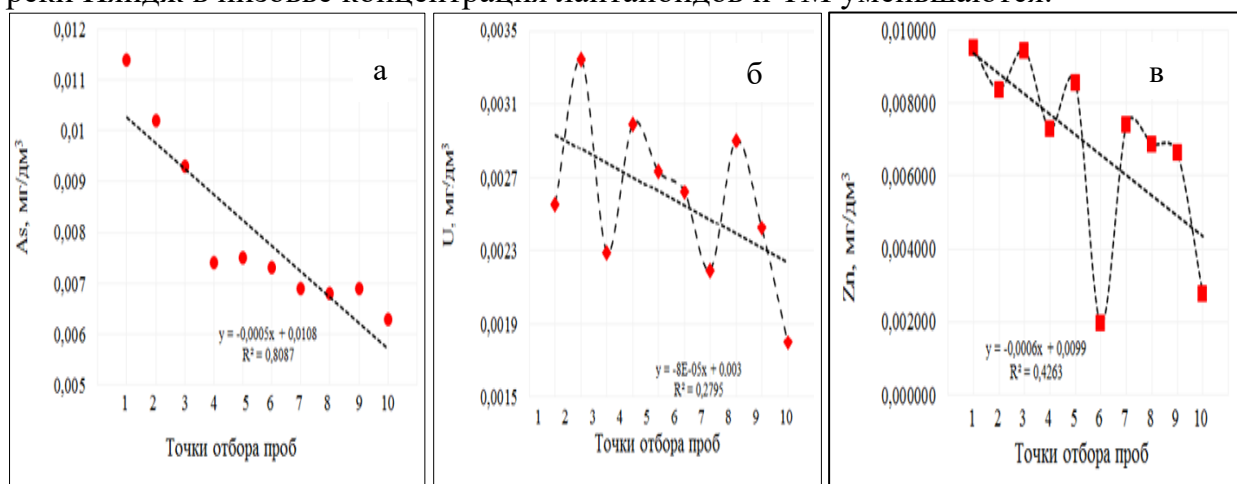


Рисунок 12- Динамика изменения концентрации As (а), U (б), Zn (в) по руслу реки Пяндж

Следует отметить, что на некоторых участках реки Пяндж наблюдаются всплески более высоких концентраций элементов (например, в точках отбора проб 2 и 8 на рисунке 12). Понятно, что формирование стока реки Пяндж - это среднее течение всех ее притоков. Поэтому можно ожидать, что процессы выветривания того или иного элемента в бассейне притоков реки способствуют проявлению его повышенной концентрации в основной реке. Выше по течению реки, чуть выше точки 8 отбора пробы воды из реки Пяндж (рисунок 10) к реке вливается правый

приток - река Возгина, бассейн которой характеризуется золотосодержащими богатыми полезными ископаемыми.

Можно предположить, что наблюдаемые на рисунке 12 более высокие концентрации урана в пробах воды из точки 8 – это и есть вклад реки Возгина.

В таблице 2 обобщено содержание щелочных и щелочноземельных элементов в пробах воды, отобранных вдоль русла реки.

Таблица 2 - Концентрации щелочных и щелочноземельных элементов в пробах воды 1-10 и координаты точек отбора проб воды из реки Пяндж

Точки отбора проб	Координаты	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻
		мг/дм ³				
1	37.92010N 71.40069E	39,63	11,3	2,76	7,93	62,05
2	37,93905N 71.28160E	38,3	10,85	2,63	7,7	61,04
3	38.11634N 71.32416E	38,47	11,11	2,54	7,29	59,55
4	38.34317N 71.19719E	39,86	12,31	2,47	6,88	70,01
5	38.40696N 71.13829E7	38,97	12,54	2,42	6,83	69,60
6	38.44870N 71.02927E	39,02	12,19	2,64	6,34	69,45
7	38.46246N 70.76193E	37,69	11,65	2,44	6,52	66,81
8	38.35925N 70.65354E	37,18	11,44	2,39	6,43	7,30
9	38.34769N 70.60247E	37,97	11,3	2,33	6,33	64,59
10	37.98391N 70.25198E	37,45	11,26	2,54	6	64,41

Для определения наименования пород, ответственных за формирование химического состава воды, руководствовались критериями, согласно которым высокие соотношения (>6) щелочноземельных катионов (Ca²⁺+Mg²⁺)/(Na⁺+K⁺) и молярные соотношения Mg²⁺/Ca²⁺ указывают на доминирование выветривания карбонатных пород, т.е. кальцита и доломита. Кроме того, при Ca²⁺/SO₄²⁻>1 можно предположить, что H₂SO₄ не заменяет H₂CO₃ в качестве источника протонов для выветривания горных пород.

Из сравнения данных, представленных в таблице 2, следует, что в образцах вод, отобранных по руслу реки Пяндж в точках 1-10, не выполняются выше предложенные критерии. Следовательно, процесс выветривания происходит не из-за кальцита и доломита, и роль H₂SO₄ как источника протонов для выветривания горных пород ощутима, за исключением образца воды, отобранного в точке 8 по руслу реки. Для образца воды из точки 8 отношение (Ca²⁺+Mg²⁺)/(Na⁺+K⁺) равняется 5.5 и отношение Ca²⁺/SO₄²⁻>1, которые могут быть основанием для предположения, что выветривание в данном участке реки Пяндж происходит из карбонатных пород и H₂CO₃ является источником протонов для их выветривания.

Для выявления взаимосвязи между измеряемыми компонентами был проведен корреляционный анализ Пирсона, со статистической значимостью на уровне

p < 0.05 (таблица 3).

Таблица 3- Корреляционная матрица Пирсона для среднего химического состава проб воды из среднего и нижнего течения реки Пяндж

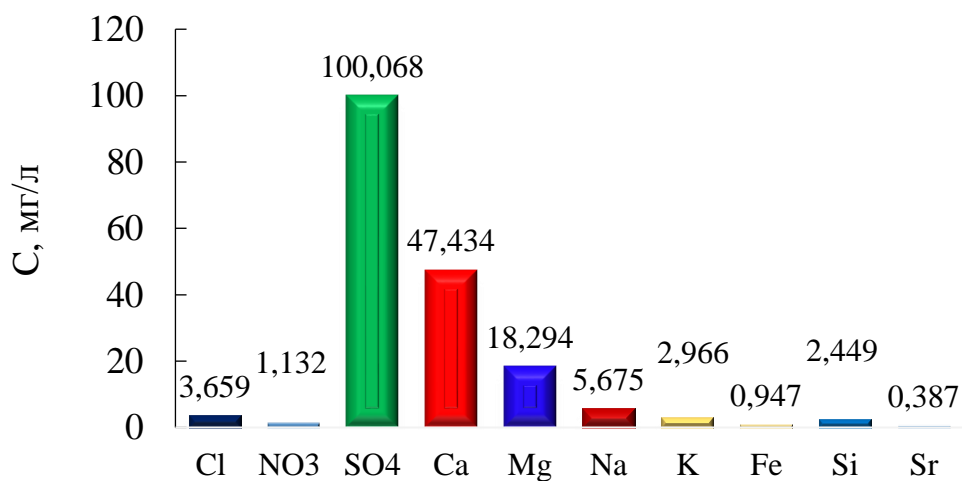
	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Sr ²⁺	Eu ³⁺	Sm ³⁺
Cl ⁻	1,00									
NO ₃ ⁻	0,33	1,00								
SO ₄ ²⁻	-0,09	0,43	1,00							
Ca ²⁺	0,53	0,54	0,54	1,00						
Mg ²⁺	0,03	0,23	0,28	0,49	1,00					
Na ⁺	0,83	0,46	0,11	0,54	-0,30	1,00				
K ⁺	0,23	0,12	0,25	0,46	-0,23	0,60	1,00			
Sr ²⁺	-0,45	-0,49	-0,25	-0,58	0,33	-0,78	-0,77	1,00		
Eu ³⁺	0,80	0,45	-0,21	0,22	-0,19	0,68	-0,13	-0,34	1,00	
Sm ³⁺	0,78	0,37	-0,24	0,15	-0,15	0,59	-0,25	-0,18	0,98	1,00

Слабые корреляции между Cl⁻, NO₃⁻ и SO₄²⁻ демонстрируют об отсутствии их общих источников, а их более низкие концентрации - о влиянии человеческой деятельности.

Геохимические связи между Na⁺, K⁺, Cl⁻ и SO₄²⁻ указывают на выветривание силикатных и эвапоритовых минералов, причем силикатный вклад значительно больше обусловленного минимальным количеством эвапоритов в бассейне.

Характерной особенностью распределения концентрации элементов является их пространственная неоднородность, убывающий тренд по руслу реки с проявлением всплесков в определенных участках реки, главным образом связанные с примыканием небольших притоков к главной реке.

Река Ванч является одним из притоков трансграничной реки Пяндж. Разнообразие химических компонентов с незначительными концентрациями в составе воды реки Ванч, как следует из рисунка 13, свидетельствует, во-первых, об отсутствии их стационарных источников и, во-вторых, об их происхождении как продукта выветривания горных пород.



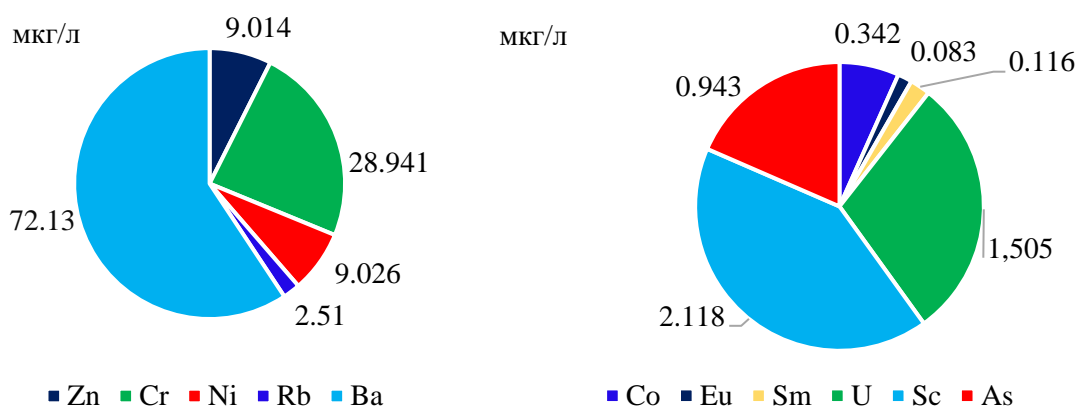


Рисунок 13- Химический состав воды реки Ванч

Расчеты, проведенные с использованием данных, представленных на рисунке 13, показали, что в нашем случае отношение $Na^+/(Na^+ + Ca^{2+})$ составляет 0.11, т.е. близкое к условиям выветривания горных пород. Из сравнения значений соотношения Ca^{2+}/Mg^{2+} , которые представлены в виде зависимости Mg^{2+}/Na^+ от Ca^{2+}/Na^+ (Рис.14) с диаграммой на рисунке 9 следует, что в бассейне реки Ванч преобладает выветривание силикатных пород.

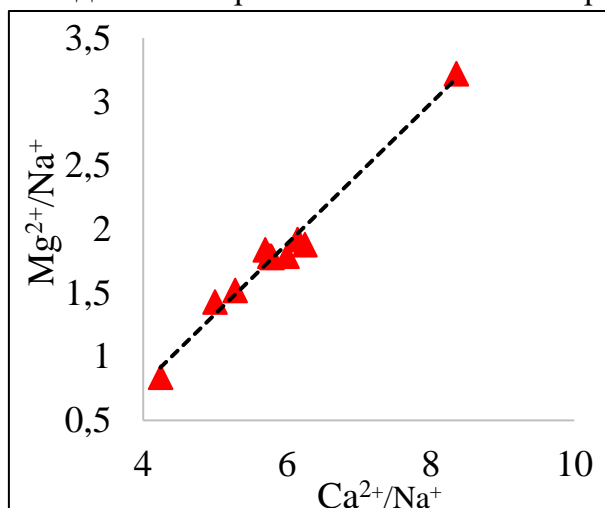


Рисунок 14- Взаимосвязь между Mg^{2+}/Na^+ и Ca^{2+}/Na^+ для речных вод Ванча и Пянджа

Разница концентраций элементов между реками Ванч и Пяндж при их положительном значении свидетельствует о вкладе реки Ванч как притока в обогащение этим элементом основной реки Пяндж (таблица 4).

Таблица 4-Концентрации химических элементов рек Ванч и Пяндж и их различие как вклад реки Ванч

Элемент	$C_{\text{Ванч}}$	$(C_{\text{Пяндж}})_{\text{ср}}$	ΔC	ΔE
	$\times 10^{-3}, \text{ мг/л}$			
As	0,943205	7,399781	-6,4568	
Ba	72,13069	66,58783	5,5429	Ba
Ca	47433,63	38136,12	9298	Ca
Co	0,341781	0,291165	0,0506	Co
Cr	28,94076	23,15446	5,7863	Cr
Eu	0,08259	0,076859	0,005731	Eu

Fe	946,8227	825,1237	121,699	Fe
K	2966,134	2544,444	421,69	K
Mg	18294,31	11204,27	7090	Mg
Na	5674,869	6994,703	-1319,83	
Ni	9,026187	8,031145	0,995	Ni
Rb	2,509091	2,608462	-0,0994	
Rh	0,084584	0,070951	0,0136	Rh
Ru	0,451069	0,315868	0,1352	Ru
Sc	2,117627	2,137632	-0,02	
Si	2448,611	2859,195	-410,584	
Sm	0,116028	0,11012	0,0059	Sm
Sr	387,3889	247,009	140,389	Sr
U	1,505	2,586636	-1,082	
Zn	9,013763	7,245432	1,7684	Zn

С-концентрация; ΔE-элементы, обогащаемые рекой Ванч основной реки Пяндж

Отборы проб снежного покрова и талой воды из ледника Гармо (N 38049' E 71046') осуществлялись в точках: 1-3 и 4, соответственно (рисунок 15).

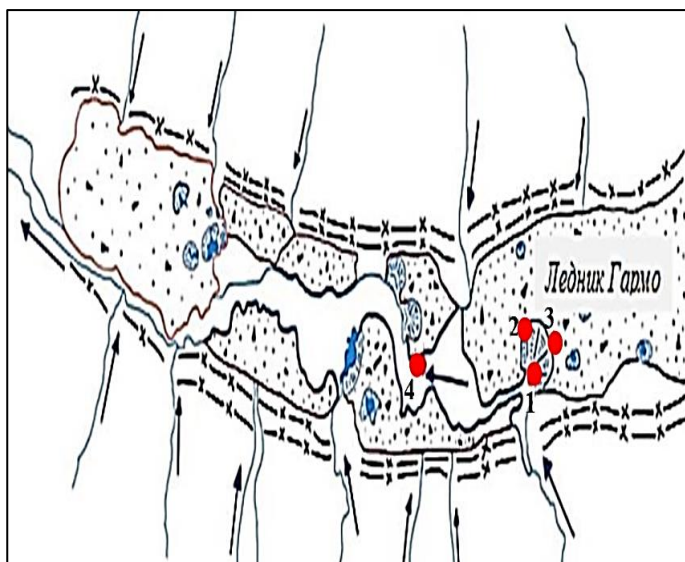


Рисунок 15- Схема отбора проб снежного покрова и талой воды из ледника Гармо

Для определения микроэлементов на каждом пункте отбора были отобраны по десять проб. Использовались промытые кислотой полиэтиленовые контейнеры (250 мл). Пробы отбирали вручную из поверхностной воды (глубина 30 см и посередине реки). Промытые кислотой полиэтиленовые контейнеры были опущены в поток.

Сразу же после отбора образцы были отфильтрованы через 0,2-мм ацетатцеллюлозный фильтр и хранились в полипропиленовых промытых кислотой бутылках. Гидрохимический анализ выполнен с использованием общепринятых классических методов и нормативных документов на методы испытаний. Биогенные соединения в пробе воды (нитраты, фосфаты) определены на спектрофотометре DR 3900 фирмы «HACH-LANGE». Были использованы соответствующие методики и реагенты со штрих-кодами: для определения фосфатов – LCK 349, нитратов – LCK 339.

В таблицах 5 и 6 обобщены результаты химических анализов проб снега и талой воды ледника Гармо.

Таблица 5- Результаты анализов ионно-солевого состава проб снега и талой воды

Пробы	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Σ ионов, мг/дм ³
		мг/дм ³						
№1 - снег	8,6	4,2	0,9	27,0	7,1	9,6	58,6	107
№2 - снег	8,7	4,0	1,9	26,0	7,1	9,6	61,0	110
№3 - снег	8,4	3,7	0,9	22,7	7,4	9,6	46,4	91
№4 – талая вода	7,7	31,3	11,2	31,0	11,3	57,6	134,2	277

Таблица 6 - Содержание биогенных веществ и тяжелых металлов в составе снега и талой воды из ледника Гармо

Пробы	Содержание биогенных веществ, мг/дм ³		Содержание тяжелых металлов, мкг/дм ³				
	(N-NO ₃ ⁻)	(P-PO ₄ ⁻)	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd
№1 снег	0,300	0,075	5,3	12,7	10,9	14,1	4,5
№2 снег	0,180	0,034	7,0	11,8	9,7	11,3	2,1
№3 снег	0,421	0,046	3,6	10,8	8,3	14,1	3,3
№4 талая вода	0,367	0,038	5,3	11,5	9,4	15,0	1,7

Нами проводились отборы проб талой воды непосредственно из ледника, результаты химического анализа которых представлены на рисунке 16.

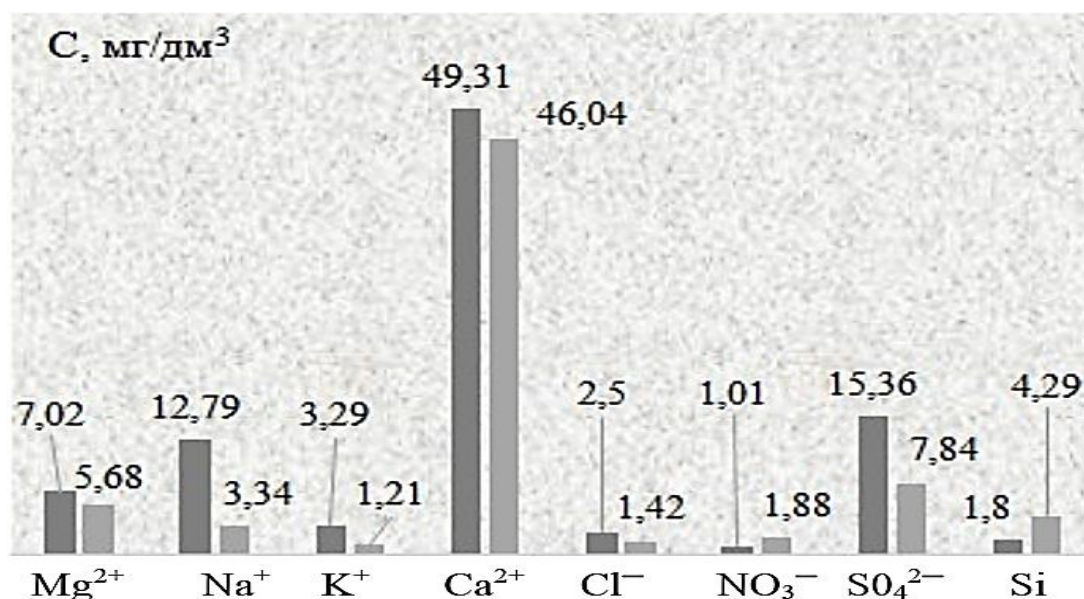


Рисунок 16 - Концентрации химических элементов в талых водах из ледника Гармо

Основные результаты и выводы:

1. Установлено, что за период 1940-2020 гг. наблюдалось увеличение температуры во всех климатических зонах Памира и к 2050 году потепление климата будет протекать в более ускоренном виде на высокогорьях в зоне водосбора реки Пяндж. Прогнозировано возрастание температуры в бассейне реки Пяндж к 2050 году на 0,31-0,54°C, Дарвазе - 0,9-1.0°C; Хороге – 0.33°C; Ишкашине – 0.54°C; Ирхте – 0.39°C; Джавшангозе – 0.36°C; Мургабе – 0.45 °C.
2. Обнаружено, что за период 1950-2020 гг. по данным метеостанций Дарваз, Ирхт и Джавшангоз происходило уменьшение количество атмосферных осадков на 3.8%, 2% и 7.7% соответственно, а по данным метеостанций Хорог, Ишкашим и Мургаб - увеличение осадков на 5.5%, 9% и 1% соответственно. В среднем к 2050 году по бассейну реки Пяндж увеличение атмосферных осадков составит 0.9% по отношению к периоду 1950-2020 гг.
3. Впервые изотопными методами установлено, что основным источником обеспечения Западной и Центральной части Памира атмосферными осадками является влажная воздушная масса из Средиземноморья. Проявление максимальных значений атмосферных осадков в восточной части Памира в конце весны и летом вызвано проникновением воздушных масс из северной части Индийского океана.
4. Выявлено влияние орографии местности на формирование высоты снежного покрова. Показано, что высокие хребты горных систем центрального Памира становятся преградой в проникновении влажных западных воздушных масс из Средиземноморья в Восточный Памир (Мургаб, Шаймак), характеризующихся образованием несущественных высот снежного покрова.
5. Определением химического состава, сравнением соотношений Mg^{2+}/Na^+ и Ca^{2+}/Na^+ с диаграммой Гиббса установлено, что выветривание силикатных горных пород является доминирующим фактором формирования химического состава рек Шохдара и Ванч.
6. Обнаружено, что характерной особенностью распределения концентрации химических элементов по реке Пяндж является их пространственная неоднородность, убывающий тренд по руслу реки с проявлением всплесков в определенных участках реки, связанных с примыканием притоков.
7. Установлено отсутствие стационарных источников загрязнения на верховьях трансграничной реки Пяндж и существенный вклад притоков в обогащении главной реки химическими элементами.
8. Вычислением коэффициентов адсорбции натрия (SAR), процентного содержания натрия (%Na), доли растворимого натрия (SSP) и процентного содержания обменного натрия (ESP) для реки Пяндж и ее притоков установлено их полное соответствие к критериям применимости для орошения.

Публикации автора по теме диссертации:

А. Работы, включенные в реферативные базы Scopus и Web of Science:

1. Klein Tank A.M.G., Pettersson T.C., Quadir D.A. **Homidov A.**, et al. Changes in daily temperature and precipitation extremes in Central and South Asia // J. Geophys. Res. —2006. —V.111. —P. 136-142. doi:10.1029/2005JD006316, 20062.

Б. В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Норматов И.Ш., Фрумин Г.Т., А. **Хомидов А.Ш.** Сезонные и высотные колебания стабильных изотопов рек Западного и Центрального Памира // Ж. Гидрометеорология и экология. — 2022. —№ 67. — с. 27-34.
2. Норматов И.Ш., **Хомидов А.**, Норматов П.И., Муминов А.О. Пространственное распределение атмосферных осадков Центрального и Западного Памира и их влияние на формирование изотопного состава поверхностных вод // Ж. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. — 2022. — №2 (384). — с.74-82.
3. Котляков В.М., Носенко Г.А., Осипова Г.Б., **Хомидов А.**, Цветков Д.Г. Космический мониторинг подвижки ледника Географического Общества на Памире // Мат-лы Гляциологических исследований. — 2008. — Вып.105.— с.145 – 148.
4. Норматов И.Ш., Шерализода Н. Ш., **Хомидов А. Ш.**, Шарофзода Ф. А., Муминов А. О. Химический состав снежного покрова и талых вод ледника Гармо, формирующий гидрохимию реки Обихингоу в бассейне реки Вахш // Известия Иркутского Государственного Университета. – 2022. – Т. 42. – с.58-67.

В. Другие публикации:

1. Пильгуй Ю.Н., Саидов М.С., **Хомидов А.**, Шакирджанова Г.Н. Ледники Таджикистан в условиях изменение климата. // Научно-исследовательский центр Агентство по землеустройству, геодезии и картографии при Правительстве Республики Таджикистан. Душанбе. — 2008. — 198С.
2. **Хомидов А.** Факторы и тенденции изменение климата и сокращение ледников. Ледники Таджикистан в условиях глобального потепления // Научно-исследовательский центр Агентство по землеустройству, геодезии и картографии при Правительстве Республики Таджикистан. Душанбе. — 2008. —112С.
3. Норматов И.Ш., Муминов А.О., **Хомидов А.Ш.**, Абдурахимов Б.Х. Метеорология бассейнов рек Ванч и Гунт, применение статистических методов для корреляционного анализа гидрологических характеристик // Ж. Кишоварз. - 2022. - Вып. 4 (97) – с. 123-130.
4. **Хомидов А.Ш.** Выветривание горных пород и формирование химического состава рек Шохдара, и Пяндж //Ж. Кишоварз. - 2022. - Вып.4 (97) – с. 145-150.