

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

УДК 540.4(282.255.434): 556.53

На правах рукописи

ХОМИДОВ АНВАР ШЕРИНОВИЧ

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

Специальность 1.6.21– Геоэкология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата географических наук

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

Научный консультант: доктор химических наук, профессор
Фрумин Григорий Тевелевич

Санкт-Петербург 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. МЕТЕОРОЛОГИЯ И ГИДРОЛОГИЯ БАССЕЙНА РЕКИ ПЯНДЖ И ПРИТОКОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	13
1.1. Современное состояние климатических зон, оледенения, гидрологии и водно-энергетических ресурсов бассейна реки Пяндж и ее притоков.....	13
1.2. Климатическое районирование бассейна реки Пяндж и особенность влияния горной орографии на метеорологические условия	18
1.3. Управление рисками для устойчивого управления водными ресурсами	23
1.4. Этапы и элементы реализации будущего управления рисками в бассейне реки Пяндж	25
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	31
2.1. Характеристика информационного массива.....	31
2.2. Методика обоснования территорий мониторинга в бассейне реки Пяндж...	33
2.3. Химико-аналитические исследования отобранных образцов и проб.....	36
2.4. Отбор проб снежного покрова	55
2.5. Изотопное исследование отобранных образцов.....	56
ГЛАВА 3. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ЗАПАДНОГО ПАМИРА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД.....	57
3.1. Метеорологические условия климатических зон водосбора реки Пяндж за период 1940-2020 гг.....	57
3.2. Динамика изменения атмосферных осадков в климатических зонах бассейна реки Пяндж за период 1940-2020 гг	62
3.3. Пространственное распределение атмосферных осадков по климатическим зонам бассейна реки Пяндж	66
3.4. Количественное соотношение жидкой и конденсированных фаз в атмосферных осадках на верховье реки Пяндж	70
3.5. Изотопные (^2H , ^{18}O) методы для определения источников поступления влажных воздушных масс и атмосферных осадков в бассейнах рек	73

3.6. Состояние водных ресурсов притоков реки Пяндж-рек Гунт и Ванч в условиях изменения климата.....	78
--	----

ГЛАВА 4. ФОРМИРОВАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ ВДОЛЬ РУСЛА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ПЯНДЖ (ТАДЖИКИСТАН).....	84
4.1. Выветривание горных пород и формирование химического состава реки Пяндж.....	84
4.2. Гидрохимия высокогорных рек Памира: факторы формирования химического состава реки Ванч-притока трансграничной реки Пяндж (Таджикистан).....	100
4.3. Вклад атмосферных осадков и CO ₂ в выветривание горных пород и формирование химического состава рек	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	119

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 полувасушливого 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°C-0,4°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°C до 1,40°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°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 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 возникновение 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 вечномерзлых 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 связанные с ним 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.

Объектом 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 формирования 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 Пянджа и 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 Международная конференция «Science Leader Award 2015», 5-7 октября 2015, Алматы, Казахстан, Всемирной выставке EXPO- 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 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, четырёх 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.

Диссертационное исследование соответствует паспорту специальности 1.6.21. “Геоэкология” по следующим направлениям: Природная среда и индикаторы ее изменения под влиянием природных процессов и хозяйственной деятельности человека (химическое и радиоактивное загрязнения биоты, почв, пород, поверхностных и подземных вод), наведенных физических полей, изменения состояния криолитозоны; Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, биологических, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли; Оценка состояния водного режима территорий и геоэкологические последствия его изменения в связи с изменениями климатических параметров. Геоэкологический анализ влияния регулирования речного стока на водные, прибрежно-водные и наземные экосистемы и обоснование путей сохранения и восстановления водных и наземных экосистем.

ГЛАВА 1. МЕТЕОРОЛОГИЯ И ГИДРОЛОГИЯ БАССЕЙНА РЕКИ ПЯНДЖ И ПРИТОКОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

1.1. Современное состояние климатических зон, оледенения, гидрологии и водно-энергетических ресурсов бассейна реки Пяндж и ее притоков

Река Пяндж – трансграничная река и одной из притоков Амударьи. Ее водные ресурсы формируются в Таджикистане и Афганистане, а используются в основном в Узбекистане и Туркменистане. Также большое значение имеет ее сток для Аральского моря.

Таблица 1.

Фактическое водопользование в бассейне реки Амударья (км³)

Страна	годы	Ирригация	Общее
Кыргызстан	1990	0,010	0,042
	1997	0,048	0,091
	2010	0,060	0,140
Таджикистан	1990	6,880	8,360
	1997	7,040	8,590
	2010	7,270	9,400
Туркменистан	1990	24,416	24,770
	1997	22,200	22,770
	2010	25,225	28,150
Узбекистан	1990	31,500	33,000
	1997	27,350	29,000
	2010	26,000	29,400

Из таблицы 1. видно, что в 2010 году более 65% годового стока бассейна реки Амударьи (78.46 км³) использовался в республиках Узбекистан и Туркменистан вместе взятой для орошения сельскохозяйственных земель. В свою очередь, доля водных ресурсов, формирующихся непосредственно на территории Узбекистана, по бассейну Амударьи составляет около 6%, по бассейну Сырдарьи - 15%, а в целом на

территории Республики формируется около 10% суммарного стока рек Средней Азии.

Республика Таджикистан использовала не более 10% годового стока. В 2006 году бывший губернатор Герата, а ныне министр энергетики и водных ресурсов Афганистана Исмаил Хан сделал ряд жестких заявлений по вопросу сбережения водного потенциала страны. Он считает, что благодаря снегопадам ежегодно внутри страны образовывается 75 млрд. кубических метров воды, из которых лишь 30 процентов расходуется внутри, а остальная часть – покидает афганскую территорию в виде рек и ручьев. Для сбережения водного потенциала страны министр предложил построить дамбы, водохранилища и каналы.

Горные водосборы служат важными источниками воды, предоставляя пресную воду для деятельности населений проживающих вниз по течению в низовьях рек [1,2]. Величина и время формирования стока из водосборных бассейнов как результат таяния снегов ледников, как правило, очень чувствительны к изменениям климата [3,4]. Изменения стока при таянии снегов и ледников могут повлиять на устойчивое развитие регионов в низовьях на долгосрочной перспективе [5,6]. Следовательно, моделирование процессов снежных и ледниковых стоков очень важны для водоснабжения, управления гидроэнергетикой и прогнозирования паводков [7]. Однако моделирование стока в горных регионах сталкивается с двумя проблемами: нехваткой метеорологических данных и неопределенностью калибровки параметров из-за ограниченности информации по сложным гидрологическим процессам [8].

Ныне всевозрастающие результаты исследований свидетельствуют о сокращении площадей горных оледенений и снежного покрова на полушариях Земли [9]. Ожидается, что географические районы, в которых в водном цикле доминирует ледниковое и снежное питание будут более восприимчивыми к изменению климата и они будут влиять на сезонность водного стока [10]. Изменения площадей сезонных снегов и оледенений могут привести к изменчивости стока реки, следовательно, к доступности воды у населений, проживающих ниже по течению. Несмотря на свое региональное значение, существует неопределенность, связанная с темпами и масштабами воздействия изменения климата на снежный покров и гидрологию таяния снега и ледников. Эти климатические реакции горной речной

гидрологии в сочетании с потенциальными изменениями почвенного покрова, ростом численности населения и уже существующим проблемой дефицита воды могут создавать серьезные проблемы для этого региона. Региональные климатические прогнозы МГЭИК (2007 г.) указывают, что средняя температура Центральной Азии к концу 21-го века возрастает на 3,7 ° С к концу 21-го века, с наибольшими значениями на Тибетском плато и в Гималаях [11].

По мере повышения температуры в глобальном масштабе мировые ресурсы снега, по прогнозам, будут меняться различными способами [12-15]. Долгосрочные изменения глобальной, региональной и локальных значений глубины снега, водного эквивалента снега (ВЭС) в конечном счете будут иметь серьезные последствия для функционирования экосистем, использования человеком снежных ресурсов и самого климата посредством механизмов обратной связи, таких как альbedo снега [16]. К сожалению, из трех перечисленных выше снежных единиц, только размер области снежного покрова легко контролируется с использованием спутников. Этот мониторинг, проводимый в течение нескольких десятилетий [17,18] показал, что глобальная область снежного покрова (ОСП) снижается в течение последних 30 лет [19].

Накопление снега обычно увеличивается с увеличением высоты из-за комбинированного эффекта преобладающих низких температур и повышенной частоты осадков, вызванных орографическими эффектами [20]. Распределенные данные по глубине снега, плотности и водного эквивалента снега с высоким пространственным и временным разрешением необходимы для подтверждения / или ввода данных для моделей дрейфа снега [21] и модели таяние снега- стока [22,23]. Пространственно распределенные данные водного эквивалента снега важны для многих заинтересованных сторон, например, его можно использовать в качестве вклада в новое поколение гидрологических моделей, прогнозирующих сток снеготаяния [24-27]. В бассейнах с развитой площадью оледенения талая вода вносит большой вклад в ежегодный сток, чем дожди [28]. Летний сток может быть усилен или сбалансирован присутствием ледников в водосборном бассейне [29], в зависимости от степени охвата ледников и межгодового распределения осадков. Одна шестая часть населения мира зависит от воды, происходящей из снегов или ледников [30].

Поэтому вклад ледников в формирование стока рек в условиях изменения климата находится в центре внимания и глубоких исследований во многих регионах мира [31-33]. Используя данные климатической модели в качестве аргумента, различные исследования указывают на увеличение стока весной из-за более раннего начала таяния снега, с последующим уменьшением из-за уменьшения протяженности ледников [34,35]. Ледниковая талая вода также может оказывать соответствующее воздействие на гидрологический режим более крупных водосборных бассейнов, расположенных ниже по течению. Исследование Гуса (2011) показало, что для водосборов размером 100 000 км² и 1% ледникового покрова в августе вклад ледников в сток может достигать 25% [36].

В бассейнах Амударьи и Сырдарьи вклад ресурсов талой воды в среднегодовой сток составляют соответственно 69% и 79%, а доля сезонного снеготаяния намного превышает долю ледникового питания. С 1961-1990 гг до 2001-2010 гг. общие значения талых вод снизились на 6-25% во всех бассейнах, кроме Меконга, где таяние снега увеличилось на 30% за счет незначительного увеличения площади снежного покрова. Вклад талых вод в годовой сток уменьшился одновременно на 5% в бассейнах рек Индус и Амударья и на 20% в бассейне Сырдарьи.

Наиболее выраженное изменение произошло в составе ледникового стока: доля не возобновляемого компонента в общем ледниковом стоке увеличилась с 16-30% до 26-46% почти во всех бассейнах. В то же время, доля возобновляемой составляющей значительно снизилась за счет общего сокращения площадей ледникового покрова. В результате общий вклад ледникового стока уменьшился во всех изучаемых бассейнах.

Показано, что дальнейшее сокращение ледников и сезонного снежного покрова в результате изменения климата будет влиять на сезонность речного стока в бассейнах Инда, Амударьи и Сырдарьи. Климатологические наборы данных также недостаточно точны, особенно для осадков, поскольку они в лучшем случае отражают эффекты орографии и дождевой картины, но не подходят для воспроизведения эффектов ветровых и снежных лавин, которые играют важную роль в альпийских условиях в качестве факторов перемещения снега [37,38]. Любая вогнутая форма мезорельефа в горах делает ловушку для преимущественного

накопления снега во многих местах, достаточных для поддержания ледника. Перемещение снега в некоторых условиях может привести к значительно более высокой концентрации снега, до 300-400% по сравнению с тем, что можно ожидать от региональной нормы осадков [39,40].

Пространственная изменчивость годовых осадков в верхних частях бассейнов Инд, Амударьи, Сырдарьи находится в диапазоне 300-3000 мм в области НКН и 250-2500 мм в регионе Аральского моря [38,41-43]. Поскольку величина его изменчивости на коротких расстояниях чрезвычайно высока, надежная оценка количества осадков, полученных ледниками, является особенно сложной задачей [42,44-49]. Как отмечает Армстронг [50], “у нас нет прямого количественного измерения того, сколько ледниковой талой воды поступает в речную систему, оставляя бассейн, содержащий ледники ...”. Таким образом, высокоточная оценка значения снега и ледника таяние в общей азиатской речной гидрологии остается в значительной степени незавершенным». Этому откликается в [51]: “Также трудно провести четкое количественное различие между вкладом от таяния межгодового снежного покрова и ледников”.

Алфорд и др. [52,53] исследуя ледники и ледниковые стоки в девяти суббассейнов левых притоков Ганга в Непале общей площадью оледенения 3644 км² и заключили, что ледники вносят 2-3% для всех рек, протекающей из Непала, т. е. всего 5.38 км³. Это указывает, что удельный ледниковый сток из этой области составляет около 1500 мм / год. В другом исследовании, проведенном недавно в Непале Гималаях Непала установлено, что вклад ледников и сезонных снегов в МАФ оценивается в 14 км³, то есть около 10% МАФ из Непала [54]. Регион Аральского моря изучен значительно лучше по сравнению с районом НКН. Для бассейнов Амударьи и Сырдарьи с 1938 года был проведен ряд масштабных оценок стока ледников [55-69].

Однако, поскольку все работы, опубликованные до 2000-х годов, были на русском языке, они остаются в значительной степени неизвестными международной аудитории. Редким исключением является недавняя оценка стока ледников в горах Тянь-Шаня, которая основана на обзоре нескольких источников, опубликованных на русском языке [70].

Оценка ледниковых стоков со всех бассейнов Амударьи и Сырдарьи может быть составлена из трех масштабных комплексных оценок произведенных в [64,65,67]. В [67] сделаны расчеты для всех ледников правобережного суббассейнов Амударьи, расположенных в Памире и южных частях Гиссар-Алайских гор в Таджикистане. Лебедева [65] предоставила дополняющую оценку стока ледников для четырех суббассейнов левобережья Амударьи, расположенных в Афганистане, т.е. «Ваханский коридор» в восточной части Гиндукуша и левых притоков р. Пяндж, происходящих из гор Бадахшана и западной части Гиндукуша. Оценка Щетинникова [67] распространяется на суббассейны юго-западной части бассейна Сырдарьи. Результаты всех трех оценок совместимы, поскольку они основаны на подходе с использованием массового баланса ледников с незначительными изменениями и отражают состояние ледников в период 1961-1990 годов. Эти оценки проводятся в условиях стационарных ледников и, следовательно, отражают только возобновляемую составляющую ледникового стока. Общий вклад стока ледников в поток реки Амударья составляет $15,9 \text{ км}^3$, из которых 46% приходится на левых притоках, расположенных в Афганистане. В бассейне Сырдарьи общая оценка стока ледников составляет $2,68 \text{ км}^3$, из которых 29% приходится на левые притоки, протекающих с Гиссар-Алайского хребта [64,67]. Судя по этим данным, в среднем удельный ледниковый сток составляет 1560 мм / год в бассейне Амударьи и 1030 мм / год в бассейне Сырдарьи.

1.2. Климатическое районирование бассейна реки Пяндж и особенность влияния горной орографии на метеорологические условия

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 река

Пяндж находится на Памире, мониторинг метеорологических условий, динамики их изменений в условиях глобального потепления является актуальной проблемой.

Для Горно-Бадахшанской Автономного Округа (ГБАО), охватывающего почти весь горный Памир и являющейся зоной формирования трансграничной река Пяндж характерны три климатических условия: теплый континентальный (среднеземноморский континентальный); холодный полуаридный и сухой холодный.

Существование трех географических территорий с совершенно разными климатическими условиями на ГБАО свидетельствует о климатообразующей роли Памира.

В работе [71] широко представлены результаты исследований по установлению климатообразующей роли Памира и существенные различия его климатических зон на примере формирования снежного покрова и атмосферных осадков на верховьях Трансграничной реки Пяндж. 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 [9]. 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 [72]. 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 °С с наибольшим значением на более высоких террасах, особенно на

Тибетском плато и в Гималаях [73]. Накопление снега обычно возрастает с увеличением высоты из-за комбинированного эффекта преобладающих низких температур и повышенной частоты осадков, вызванных орографическими эффектами [74]. Данные о распределении глубины снега, плотности и его водного эквивалента с высоким пространственным и временным разрешением необходимы для проверки и/или ввода данных в модели дрейфа снега [75] и модели снег-стока. Таким образом, существует большая потребность в данных по распределению снега, в основном для определения водного эквивалента снега. Значения пространственного распределения водного эквивалента важны для многих заинтересованных сторон. Например, их можно использовать в качестве вклада в новое поколение гидрологических моделей, прогнозирующих стоки при снеготаянии [24,76,77]. В бассейнах Амударьи и Сырдарьи ресурсы талой воды составляют соответственно 69 и 79 %, т. е. доля сезонного снеготаяния в водный сток намного превышает долю ледниковых.

Особенность распределения высоты снежного покрова и количество атмосферных осадков по высоте расположения местности в горных террасах показаны на рисунок 1.

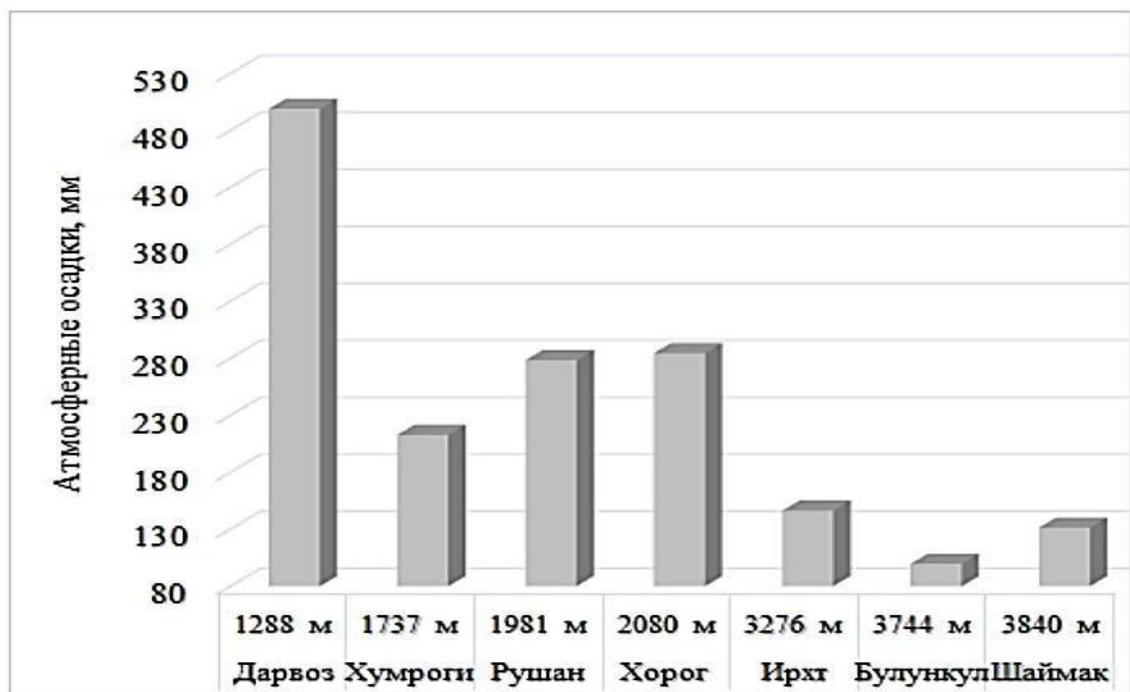


Рис. 1. - Распределение атмосферных осадков в зависимости от высоты расположения местности

Из рисунка 1 видно, что влияние высоты расположения на формирование снежного покрова, а также зависимость количества атмосферных осадков от высоты не описываются известной закономерностью. Например, значение атмосферных осадков по метеорологической станции Шаймак, расположенной на высоте более 3800 м над у. м., мало отличается от значений, характерных для местности расположения метеорологической станции Ирхт на высоте 3276 м над у. м. То же самое можно обнаружить и при сравнении значений высоты снежного покрова и атмосферных осадков по другим метеорологическим станциям. Процентное соотношение среднемноголетних значений высоты снежного покрова и атмосферных осадков в зависимости от высоты расположения местности варьируется в широких пределах (рисунка 2). Для метеорологической станции Рушан, расположенной на высоте 1981 м над у. м., процентное соотношение снежного покрова к атмосферным осадкам составляет около 27, для Шаймак – 20, а для Хумроги – не более 5 %. Как было указано в [71], пространственная неоднородность атмосферных осадков в горных местностях прежде всего обусловлена влиянием орографии местности на распространение влажных воздушных масс. На более умеренных высотах (Дарваз) среднегодовое увеличение температуры происходит с более ощутимой скоростью, чем в верховьях.

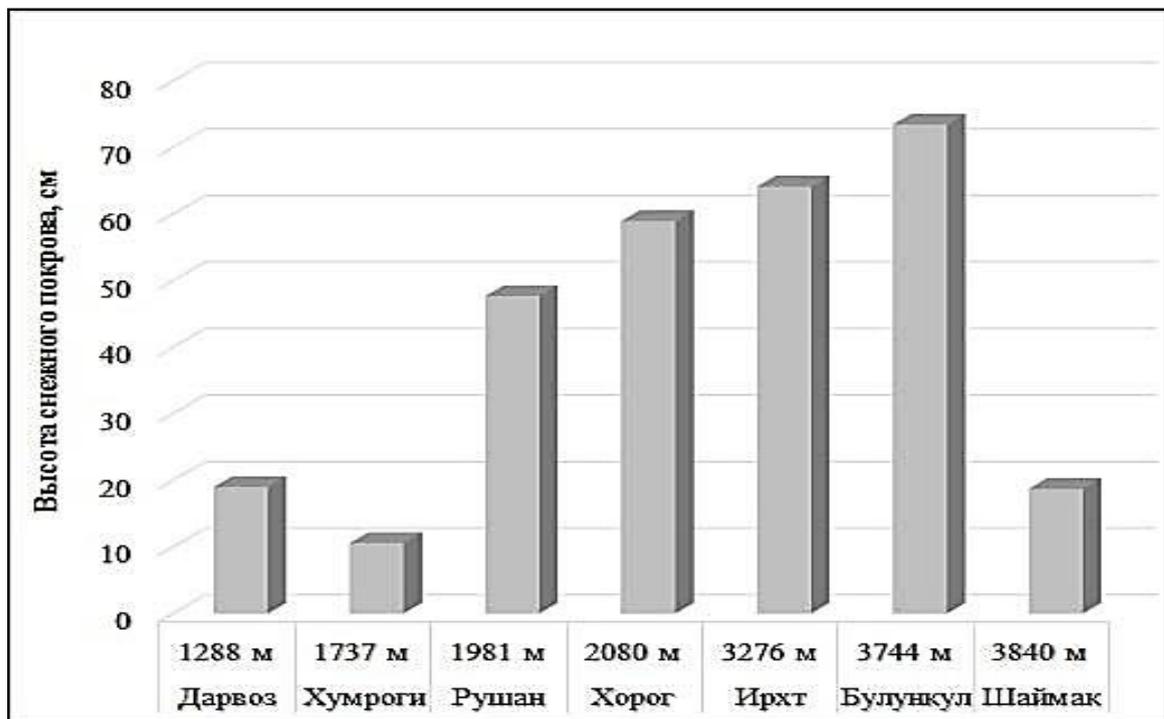


Рис. 2. - Среднемноголетние значения снежного покрова по данным метеостанций бассейна р. Пяндж

Исходя из этого, на террасах расположения метеорологической станции Дарваз атмосферные осадки чаще выпадают в жидкой фазе, и формирующийся слой снежного покрова при благоприятных температурных условиях характеризуется коротким временем существования. На границе южной и центральной зон Памира вертикальный градиент составляет около 40 мм на 100 м поднятия, что свидетельствует о более влажных предгорьях и существовании широких котловин, имеющих открытый выход на запад, навстречу влажным воздушным потокам. По мере продвижения воздушного течения вглубь горной области и переваливания через хребты влажный воздух конвертирует влагу и становится сухим. Среднегодовое количество атмосферных осадков в Восточном Памире незначительное и варьируется в пределах 40–140 мм со средним многолетним значением около 76 мм. Дефицит осадков в Восточном Памире обусловлен тем, что на Западном Памире, характеризующемся высокими горными хребтами (5000–6000 м над у. м.), происходит разгрузка влажного воздуха с выпадением обильных осадков, а переваливший через хребты Западного Памира воздух становится сухим [71]. В принципе, между периодами выпадения максимального количества снега в западной, центральной климатических зонах Памира, которым свойственны более обильные осадки, и восточной сухой климатической зоне должен наблюдаться промежуток времени. Это прежде всего связано с тем фактом, что сухая воздушная масса, перевалившаяся через горные хребты, должна насыщаться парами воды.

Из рисунка 3, где представлено среднемноголетнее месячное значение снежного покрова по метеорологическим станциям бассейна река Пяндж, видно, что на восточных метеорологических станциях Булункул и Шаймак формирование максимального значения снежного покрова соответствует марту. Появление максимального значения снежного покрова на метеорологической станции Ишкашим в декабре связано, по нашему мнению, с проникновением воздушных масс со стороны Ирана и Афганистана. При сравнении гистограмм на рисунке 3 становится явным, что западная и центральная климатические зоны (Хорог, Ирхт, Рушан и Булункул) характеризуются достаточным количеством атмосферных осадков, а температурный режим способствует формированию снежного покрова достаточной высоты. В бассейне река Гунт на высотах более 4300 м над у. м.

снежный покров (более 50 %) сохраняется с ноября по март. Учитывая это, а также обильные атмосферные осадки в бассейне реки, предполагают [78-80], что снеготаяние может внести существенный вклад в водный баланс и формирование стока рек бассейна.

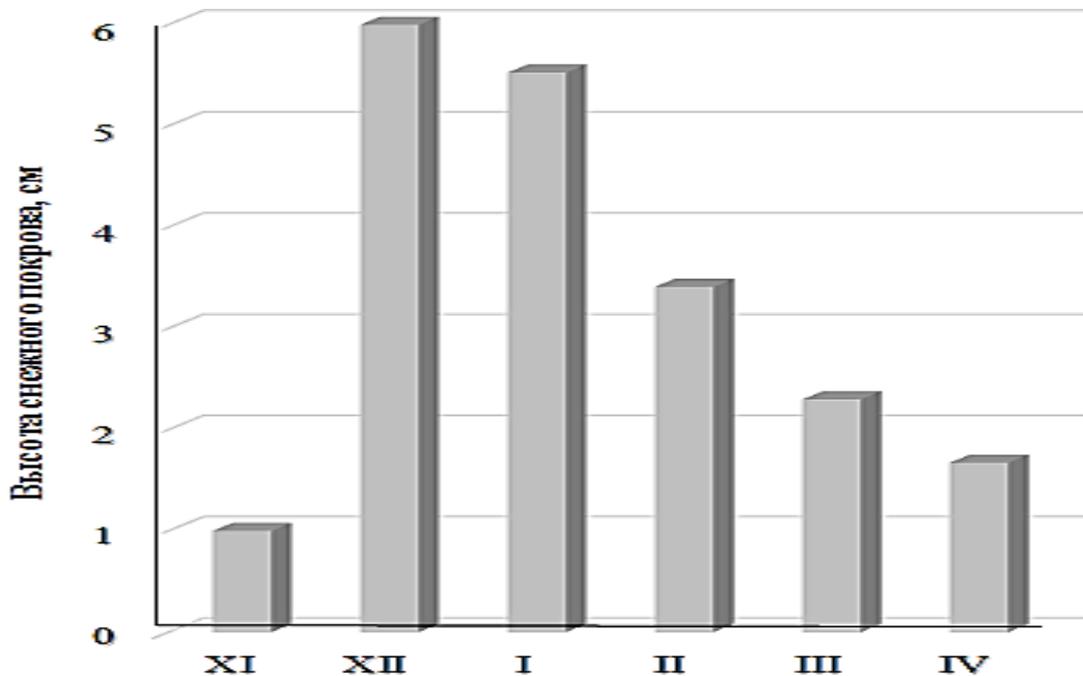


Рис. 3. - Среднемесячные значения высоты снежного покрова по данным метеостанции Ишкашим (2524 м над у. м.)

Таким образом обнаружена пространственная неоднородность распределения атмосферных осадков и глубины снежного покрова по климатическим зонам Памира в верховье река Пяндж, обусловленная орографией горной местности и особенностью продвижения воздушных масс. Более обильные атмосферные осадки свойственны западной климатической зоне по сравнению с восточной, характеризующейся дефицитом осадков. Предположено, что продолжительность сохранения снежного покрова главным образом определяется температурным режимом местности.

1.3. Управление рисками для устойчивого управления водными ресурсами

Повсюду в мире, и особенно в районах с ограниченными водными ресурсами, устойчивость управления водными ресурсами является одним из вопросов. Но при этом еще важнее использовать уже имеющиеся возможности и ресурсы,

инфраструктуры, а не строить новые конструкции или внедрять новые технологии. Возвращение к истокам систем управления водными ресурсами должно стать одной из целей достижения важной устойчивости.

Концепция устойчивого управления водными ресурсами впервые была упомянута 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 [81] [84]. После этого в настоящее время интерес к устойчивому управлению водными ресурсами возник в результате осознания того, что некоторые из прошлых или текущих видов деятельности могли нанести необратимый ущерб экосистеме. Этот ущерб может отрицательно сказаться не только на нашей собственной жизни, но и на жизни наших преемников. Для решения этих вопросов целесообразно проводить различие между ростом и развитием. По данным [82] [85], рост включает "делать пирог более большой", строить новый потенциал в новых местах, улучшать уровень жизни, изменяя землепользование, и др. Развитие предполагает расширение потенциала на местах, перераспределение существующих ресурсов, более эффективное использование скудных ресурсов, Управление качеством воды и тому подобное.

Таким образом, понимание устойчивого развития водных ресурсов включает определение существующих и будущих потребностей в водных ресурсах, рациональное водопользование, комплексное наблюдение и оценку, эффективный надзор и обеспечение необходимых условий для охраны соответствующей структуры. С учетом этого особое внимание уделяется обеспечению водой достаточного количества и качества в нужное время и в нужном месте, перераспределению воды в соответствии с определенными приоритетами между секторами, совместному использованию ресурсов поверхностных и грунтовых вод и экологическим факторам.

Последствия засухи следует рассматривать как динамичный процесс, главным образом в результате взаимодействия между водоснабжением и спросом на воду. Взаимосвязь между этими двумя аспектами, предложением воды, которое может выражаться как в физическом, так и в организационном плане, и спросом на воду, не является статичной и может значительно меняться со временем [83] [86]. Из сравнительного исследования о политике засуха в США и Австралии, проводимых

в [84] [87], выяснилось, что правительства часто реагируют на засуху в рамках антикризисного управления, а не заранее запланированными программами (т. е., управления рисками). Поспешно подготовленные процедуры оценки и реагирования могут оказаться неэффективными, плохо скоординированы [85].

Плотины и водохранилища играют важную роль в устойчивом управлении ограниченными водными ресурсами, они также стали предметом активных общественных дебатов. Утверждается, что экономическое развитие и рост населения, особенно в засушливых и полузасушливых регионах, делают очевидной необходимость в плотинах для гидроэнергетики и ирригации [86]. Основной целью управления водными ресурсами является определение наиболее эффективной стратегии эксплуатации, которая максимизирует безопасность водораспределения и минимизирует угрозу нехватки воды во времени и пространстве [87]. Седиментация снижает вместимость резервуаров и тем самым их способность сохранять воду для различных целей. В результате частота и величина их возрастает неудачей. Поэтому необходимо учитывать влияние потерь вместимости на водообеспеченность при управлении имеющимися водными ресурсами, особенно в условиях дефицита воды.

На любой плотине или водохранилище, где должно быть достигнуто устойчивое долгосрочное использование, необходимо будет управлять осадками, а также водой [88].

1.4. Этапы и элементы реализации будущего управления рисками в бассейне реки Пяндж

Перед лицом огромных экономических и экологических издержек, связанных с поддержанием и восстановлением систем распределения воды и ирригации, устойчивое управление водными ресурсами в бассейне реки Амударьи не является столь реалистичным в ближайшем будущем. Кроме того, практически невозможно разработать стратегии для полной компенсации последствий сокращения водообеспеченности в условиях нынешних и будущих засух. Вместо этого, первое обязательство должно стремиться в разработке стратегии управления рисками четкая Спецификация (I) риск ожидаемых (вероятность потерь x), (б) убытки и

ущерб никто не собирается принимать, и (III) мы имеем под рукой, чтобы минимизировать последствия.

В целом, оценка и разрешение экологических и водных проблем оценки рисков и методов управления рисками рассматривается понятие степени и масштабов опасностей и разработать практические и эффективные с технической точки зрения качественных и количественных целей и решений относительно безопасных уровнях воздействия в сочетании с методами минимизации или контроля потенциальных рисков [89].

Оценка риска в основном обеспечивает принципиальный способ организации того, что мы знаем о мире, особенно о его слабых местах и скрипучих точках [90]. Риск определяется как вероятность исхода (например, будет иметь место определенный вредный эффект), умноженная на серьезность его последствий, приводя к потенциальной количественной оценке риска несколькими способами. Это понятие также может быть распространено как на положительное, так и на неблагоприятное воздействие и характеризую неопределенности [91].

Оценка риска представляет собой методологический подход, который обеспечивает основу для сбора, организации и интерпретации данных, с тем чтобы обеспечить основу для принятия решений, касающихся охраны здоровья человека и качества окружающей среды. Подходы были широко практикуется в течение примерно трех десятилетий в контексте загрязненных участков, в том числе установление приемлемых критериев для применения для защиты и восстановления водных ресурсов, запасов продовольствия, качество воздуха и окружающей среды [92,93]. Такие учреждения, как Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ, 2002 год), агентство по охране окружающей среды США (2002 год) [94] и Европейская комиссия (2002 год) [95], в частности, сформулировали парадигмы организации элементов подхода, основанного на учете рисков.

Оценка риска не является самоцелью, а является частью интеграционного цикла, в рамках которого оценка риска используется для выработки управленческих решений, которые в случае их осуществления приводят к постепенному улучшению качества воды.

Оценка риска является процессом, дополняющим оценку воздействия, причем последняя используется для оценки воздействия человеческой деятельности.

Например, оценка воздействия на окружающую среду является прогнозной, сравнительной и касается всех возможных последствий для окружающей среды.

Наиболее важной отличительной чертой оценки риска от оценки воздействия является акцент в оценке риска на характеристику и количественную оценку неопределенности. Таким образом, особый интерес для оценки риска представляет возможность анализа и оценки анализируемой неопределенности.

Кроме того, управление — рисками—это процесс принятия решений, в рамках которого информация, полученная в результате качественной или количественной оценки рисков, применяется для создания программы, защищающей здоровье человека и окружающую среду в контексте имеющихся технических и экономических ресурсов. Теаф и Куперберг [89] утверждали, что подходы к управлению рисками лучше всего применять в сочетании с четким изложением потенциальных рисков и способов их устранения. В [96] приведен пример того, как управление рисками может быть неотъемлемой частью процесса принятия решений.

Они далее описали, как можно оценить эффективность оценки рисков при планировании и управлении водными ресурсами для оказания помощи планирующим органам и лицам, принимающим решения. Существует много рисков для водных ресурсов, но основные угрозы возникают из-за изменения климата и растущего сельского населения, что приводит к уменьшению доступности воды и росту спроса на орошаемые земли (увеличение производства продовольствия) в прибрежных государствах.

Состояние водохозяйственной инфраструктуры и существующих информационных систем является неадекватным и не позволяет эффективно использовать забираемые водные ресурсы, в результате чего значительная часть командного района не орошается или плохо орошается. орошается в большинстве лет. Таким образом, происходит избыточное расходование воды, значительная часть которой имеет очень высокие затраты на забор.

Региональная стратегия управления водными ресурсами была разработана путем определения в первую очередь темпов отступления ледников и последствий для будущих водных ресурсов, а также оценки вероятного влияния глобальных изменений на годовые осадки в регионе. Начальным этапом исследований является оценка водопотребления исследуемой территории. Использовались и

анализировались исторические данные с использованием моделей водных ресурсов. Они были откалиброваны на основе существующих данных и затем использованы для моделирования различных сценариев до 80 лет в будущем путем объединения данных, собранных из проекта.

С сегодняшнего дня 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.

Деградация ледников ускоряется, и к 2085 году ожидается заметное сокращение ледникового стока, который, хотя и не вносит большой вклад в то, как в 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. Результаты моделирования свидетельствуют о том, что в зависимости от используемой глобальной модели циркуляции и сценария выбросов CO₂ снижение площади орошаемых земель во время пятилетней засухи,

вероятно, будет находиться в ярости на 40% от существующего командного района; ожидается, что это будет еще выше в случае, если инфраструктура канала не будет улучшена.

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. Грунтовые воды обеспечивают межсезонное хранение и могут дать сглаживание годового наличия водных ресурсов.

Кроме того, следует избегать залежей на орошаемых полях. Эти земли привлекают боковые утечки из орошаемых районов и, таким образом, создают нежелательные потери эвапотранспирации от неглубоких грунтовых вод, что снижает эффективность проектов. Для повышения продуктивности орошаемых земель необходимо внедрение усовершенствованных агрономических методов, таких как лазерная сортировка.

Ограничения на осуществление стратегий, подобных описанным, такие же, как и те, которые в настоящее время ограничивают эффективность орошаемого сектора, а именно отсутствие инвестиций и давление на необходимость модернизации орошаемого земледелия. Отсрочка инвестиций во все отрасли водного хозяйства и орошаемого земледелия только ускорит снижение площадей, которые могут быть орошены, и тем самым повысит его интенсивность. Впервые проект группы ООН сложных оценок на будущих наличия воды межгосударственная система подготовки и управления водохранилищами в целях

дальнейшего давления на дефицит водных ресурсов в бассейне Аральского моря. Результаты-это инновационные стратегии управления рисками, которые явно развивают современное состояние за пределами предыдущих фрагментированных подходов. Во-вторых, участие партнеров т аджик и ключевых институтов, контролирующих первичные плотины в верхнем течении региона, пробило новую почву в отношении Межгосударственного диалога и разработки более реалистичных моделей водораспределения после распада Советского Союза.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Характеристика информационного массива

В работе использованы данные, полученные в периоды экспедиционных и полевых работ в рамках Международного проекта “Risk management & Risk assessment of water resources of the Amu Darya river basin in the conditions of climate change and construction of large reservoirs”, финансируемого ЮСАИД по изучению водных, гидроэнергетических ресурсов и экологического состояния бассейна реки Пяндж. За период экспедиционных работ по мониторингу химического состава и степени загрязненности вод реки Пяндж и ее притоков, а также метеорологического и гидрологического состояния бассейна реки Пяндж с 2002г по 2020 г накоплен большой объем данных как полевых наблюдений, так и результатов лабораторных исследований. Информационный массив, полученный при проведении экологического мониторинга в бассейне реки Пяндж, включает:

- гидрохимические наблюдения, выполненные при отборе проб;
- метеорологические и гидрологические наблюдения;
- результаты химико-аналитических и других лабораторных исследований проб природной среды.

С 2002 г по 2020 г в бассейне реки Пяндж в процессе геоэкологического мониторинга для определения содержания загрязняющих веществ было отобрано (в более чем 20 створах):

– 1038 речной воды;

Информационный массив химико-аналитических исследований, полученный по результатам исследований в бассейне реки Пяндж за период с 2002 г. по 2020 г., включает 37930 записей значений концентраций загрязняющих веществ и физико-химических свойств, метеорологических и гидрологических условий объектов природной среды, в том числе:

1950 записей - ($t^{\circ}\text{C}$);

3760 записей - (Р мм);

3760 записей - (Н%);

4240 записей- ($Q \text{ м/с}^3$);

1950 записей -pH;
2020 записей концентраций - (Ca²⁺);
2020 записей концентраций - (Mg²⁺);
2020 записей концентраций - (Na⁺);
2020 записей концентраций - (K⁺);
320 записей концентраций цинка (Zn²⁺);
320 записей концентраций - (Cu²⁺);
320 записей концентраций - (Cr)-(VI);
2020 записей концентраций SO₄²⁻;
2020 записей концентраций F⁻;
2020 записей концентраций NO₃⁻;
2020 записей концентраций Cl⁻;
2020 записей концентраций PO₄³⁻;
2020 записей концентраций SiO₂;
320 записей концентраций As;
320 записей концентраций Co;
320 записей концентраций Ru;
320 записей концентраций Sc;
320 записей концентраций Sm;
320 записей концентраций U;
320 записей концентраций Rb;
320 записей концентраций Al;
320 записей концентраций Fe³⁺;
320 записей концентраций Mn;
320 записей концентраций Cd;
320 записей концентраций Eu;
320 записей концентраций Hg;
320 записей концентраций Cs.

2.2. Методика обоснования территорий мониторинга в бассейне реки Пяндж

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/сек. Используется в основном для орошения.

Река Пяндж – одна из основных рек бассейна Аральского моря. Ее водные 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.

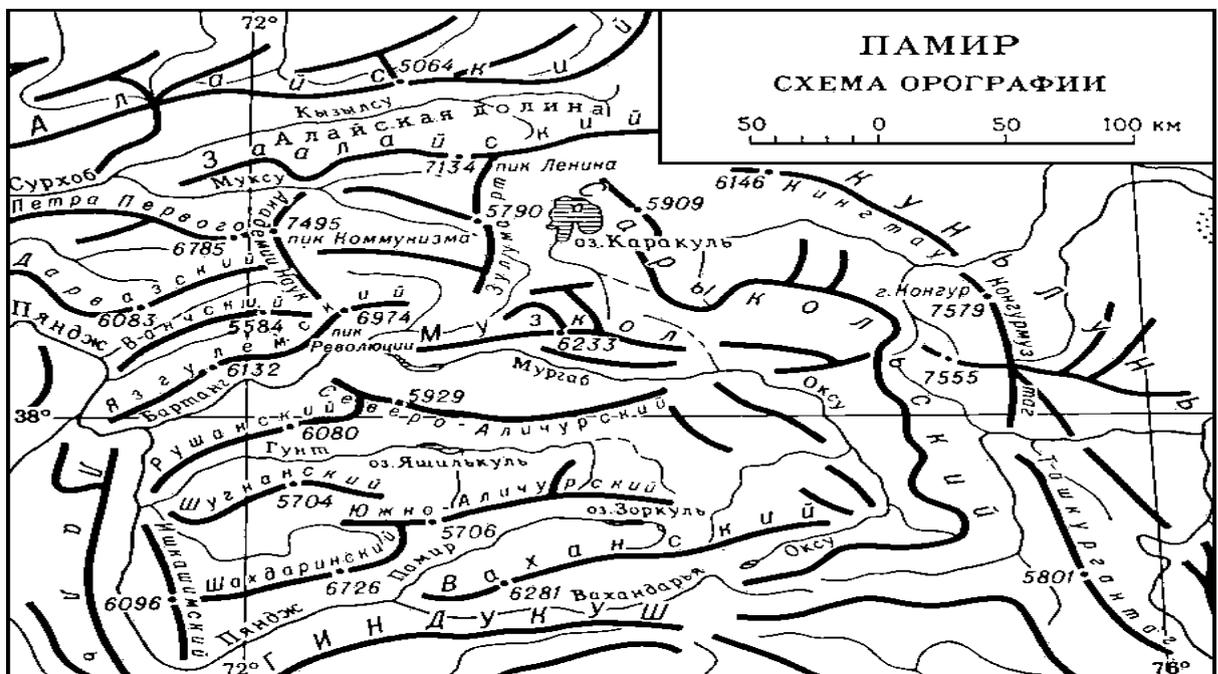


Рис. 4. – Схема орографии Памира (источник: <https://dic.academic.ru/pictures/bse/gif/0203227772.gif>)

Река Пяндж – трансграничная. Ее водные ресурсы формируются в Таджикистане и Афганистане, а используются в основном в Узбекистане и Туркменистане. Также большое значение имеет ее сток для Аральского моря.

Проект освоения гидроресурсов Пянджа был составлен в СССР, когда в 1970 году Среднеазиатское отделение Гидропроекта им. С.Я. Жука выработало "Схему комплексного использования реки Пяндж и реки Амударьи на пограничном участке между СССР и Афганистаном". Эта схема была утверждена в СССР, но не получила

реализации из-за сложных отношений между СССР и Афганистаном. План предусматривал использование для выработки электроэнергии практически всего течения Пянджа. Предполагалось построить 13 гидроузлов суммарной мощностью 17720 МВт и суммарной выработки 81,9 млрд. кВт/час электроэнергии.

Река Пяндж имеет огромный гидроэнергетический потенциал (Табл.1.2). При этом из всех возможных в настоящее время построена всего одна малая ГЭС – Намангутская.

Таблица 2.

Приоритетные проекты ГЭС на р. Пяндж

№	Наименование	Параметры			
		Мощность, мВт	Выработка, ТВт·ч./год	Напор, м.	Полезный объем в- ща, км ³
1	Намангутская*	2,5	0,018	36	0
2	Баршарская	300	1,6	100	1,25
3	Андеробская	650	3,3	185	0,1
4	Пишская	320	1,7	90	0,03
5	Хорогская	250	1,3	70	0,01
6	Рушанская	3000	14,8	395	4,1
7	Язгулемская	850	4,2	95	0,02
8	Гранитные ворота	2100	10,5	215	0,03
9	Ширговатская	1900	9,7	185	0,04
10	Хоставская	1200	6,1	115	0,04
11	Даштиджумская	4000	15,6	300	10,2
12	Джумарская	2000	8,2	155	1,3
13	Московская	800	3,4	55	0,04
14	Кокчинская	350	1,5	20	0,2
15	Нижнее-Пянджская	600	3,0		
Всего		18322,5	84,918		17,36

* действующая

Река Пяндж – самая длинная и многоводная река Таджикистана, также является пограничной рекой, служащей естественной и государственной границей с Афганистаном. 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 /сек., средний годовой объем стока - 31.9 км³. Пик стока приходится на июнь- июль-август, с максимальным расходом в июле.

Удельная водоносность рек бассейна реки Пяндж различается в зависимости от условий увлажнения и рельефа. Так, на востоке Памира, где преобладает высокогорное пустынное плато, поверхностный сток менее 5 л/сек/км², в то время как на западе Памира водоносность бассейнов рек Ванч и Язгулем более 20 л/сек/км². В питании рек бассейна преобладают ледники и снежники, поэтому водность рек, а также пики наводнений совпадают с ходом температуры воздуха.

Объем ледников бассейна реки Пяндж оценивается в 170-200 км³. Измерения стока реки Пяндж проводились недлительное время, а существующие данные по уровню воды не позволяют с большой уверенностью сделать интерполяцию. До 1990 г., когда на реки Пяндж проводились надежные замеры расхода, водность была пониженной. Для анализа динамики стока в бассейне реки Пяндж были взяты главные притоки на территории Таджикистана. 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 рек 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.

2.3 Химико-аналитические исследования отобранных образцов и проб

При выполнении химико-аналитических исследований отобранных образцов и проб воды руководствовались методическими указаниями и руководящими документами, представленными в [97-99].

Определение температуры воды.

Температуру природных вод определяют термометром с делениями на $0,1^{\circ}\text{C}$, для точных работ – с делениями на $0,05^{\circ}\text{C}$.

Определение рН.

Для определения рН вод использовался лабораторный рН-метр(потенциометр) со стеклянным электродом и каломельным электродом сравнения.

Определение фтора.

Основной раствор. Растворяют $0,221 \text{ г}$ NaF ч.д.а, высушенного при 105°C , в дистиллированной воде и доводят объем до 1 л ; в 1 мл раствора содержится $0,100 \text{ мг F}^{-}$.

Рабочий раствор. Разбавляют 50 мл основного раствора дистиллированной водой, доводя объем до 1 л . Во всех случаях следует пользоваться свежеприготовленным раствором. В 1 мл рабочего раствора содержится $0,005 \text{ мг F}^{-}$.

Калибровочная кривая. В несколько колб наливают $0; 1,0; 3,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 25,0; 50,0 \text{ мл}$ рабочего раствора и доводят объем жидкости в каждой колбе до 100 мл дистиллированной водой. Приготовленные растворы содержат $0; 0,5; 0,15, . . . ; 2,5 \text{ мг}$ фторид-ионов в 1 л . Через 1 ч после внесения реактивов измеряют оптические плотности и строят график зависимости оптической плотности от концентрации растворов.

Калибровочный график надо строить заново после каждого приготовления новых растворов ализарина и соли циркония.

Ход определения. Отмеряют в цилиндры Несслера $0; 1,0; 2,0; 3,0; . . . ; 30 \text{ мл}$ рабочего раствора и доводят объемы до 100 мл дистиллированной водой. Растворы будут содержать $0; 0,05; 0,010; 0,15; . . . ; 1,5 \text{ мг/л}$ фторидов.

В один цилиндр наливают 100 мл прозрачной пробы или дистиллята, или небольшое количество пробы, доведенной до объема 100 мл дистиллированной

водой. После выравнивания температуры вносят в пробу и в стандарты по 5 мл кислого цирконий-ализаринового реактива и тщательно перемешивают. Через 1 ч сравнивают полученную окраску со стандартом. Для каждого цикла определений необходимо готовить свежие стандарты. Для анализа проб с ориентировочно известной концентрацией фтора следует готовить ряд стандартов, близких по концентрациям к предполагаемой концентрации фтора в пробе.

Расчет. Содержание фторид-ионов (x) в мг/л вычисляют по формуле:

$$x = \frac{100c}{V}$$

где c — концентрация фторидов, найденная по калибровочному графику или по шкале стандартов, мг/л; V — объем взятой для анализа пробы, мл; 100 — объем, до которого разбавлена проба, мл

Определение SO_4^{2-} .

Определению SO_4^{2-} мешает высокое содержание силикатов и железа, взвешенные и коллоидные вещества. Одновременно с сульфатами определяются и сульфиты. Взвешенные и коллоидные вещества устраняют фильтрованием или центрифугированием, а в некоторых случаях — прибавлением активированного угля.

Высокое содержание кремневой кислоты и железа устраняют выпариванием взятого объема пробы досуха после подкисления 5 мл разбавленным (1:1) раствором HCl. Сухой остаток нагревают около 1 ч при 105°C, смачивают 5 мл разбавленного (1:1) раствора HCl, нагревают и разбавляют примерно до 50 мл дистиллированной водой. Горячий раствор фильтруют, промывают разбавленной (1:50) соляной кислотой. К фильтрату прибавляют 1 мл разбавленной (1:1) азотной кислоты и слабо кипятят. Затем прибавляют разбавленный (1:1) раствор аммиака до явно щелочной реакции и смесь нагревают на водяной бане около 30 мин. Выделившиеся гидроокиси отфильтровывают и промывают горячей дистиллированной водой. Объем фильтрата доводят до 250 мл.

В присутствии сульфитов пробу предварительно окисляют, добавляя необходимое количество 0,1 н. раствора йода. Из результатов определения сульфатов вычитают найденное отдельно содержание сульфитов.

Аппаратура: Водяная баня, Муфельная или тигельная печь (800° С).

Реактивы: Соляная кислота чда, разбавленная (1:1), хлорид бария, 10%-ный раствор для осаждения. Растворяют 10 г $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ ч. д. а. в дистиллированной воде и доводят объем до 100 мл, нитрат серебра, 1,7%-ный раствор. Растворяют 8,5 г $AgNO_3$ чда в 500 мл дистиллированной воды и подкисляют 0,5 мл концентрированной HNO_3 ч. д. а.

Ход определения. В стакане емкостью 400—600 мл к 250 мл пробы с содержанием 5—50 мг SO_4^{2-} или к меньшему объему с таким же содержанием сульфат-ионов, но доведенному до 250 мл дистиллированной водой, прибавляют 2 мл разбавленной соляной кислоты. Смесь нагревают до кипения, при постоянном перемешивании прибавляют 3 мл горячего раствора хлорида бария, перемешивают около 1 мин, нагревают 1 ч на водяной бане и оставляют на 8—12 ч при комнатной температуре. Фильтруют через плотный фильтр (синяя лента) и промывают декантацией. Выделившийся сульфат бария переводят количественно на фильтр. Прилипшие к стенкам стакана частицы сульфата бария удаляют кусочком влажной беззольной фильтровальной бумаги и ополаскивают стакан дистиллированной водой. Осадок на фильтре промывают горячей дистиллированной содой до отрицательной реакции на хлор ид-ионы в фильтрате (реакция с нитратом серебра).

Содержание сульфат-ионов вычисляют в мг/л (y) по формуле:

$$y = m \cdot 0,4116 \cdot 1000/V = m \cdot 411,6/V$$

где m — масса $BaSO_4$, мг; V - объем пробы, взятой для анализа, мл; 0,4116 — коэффициент пересчета с $BaSO_4$ на SO_4^{2-} .

Определение SiO_2 .

Основной раствор. Сплавляют 3,0 г Na_2CO_3 с 0,200 г SiO_2 чда в платиновом тигле. Горячий плав растворяют в дистиллированной воде и разбавляют до 500 мл. Содержание SiO_2 в этом растворе определяют весовым методом. В зависимости от полученного результата раствор разбавляют так, чтобы 1 мл его содержал 0,2 мг SiO_2 .

Рабочий раствор. Разбавляют 250 мл основного раствора дистиллированной водой до 1 л. Следует всегда применять свежеприготовленный раствор; 1 мл раствора содержит 0,05 мг SiO_2 .

Растворы, приготовленные для определения силикатов, хранят в парафинированных или полиэтиленовых склянках.

Калибровочная кривая. В несколько колб из химически устойчивого стекла наливают 0; 1,0; 2,0; . . . ; 20 мл рабочего раствора и доливают дистиллированной водой до 50 *мл*. Приготовленные таким образом растворы содержат 0; 1,0; 2,0; . . . ; 20 мг SiO₂ в 1 *л*. Растворы обрабатывают описанным выше способом. Измеряют оптическую плотность, вводят поправку на холостое определение и составляют график зависимости оптической плотности от концентрации SiO₂. При подготовке стандартных растворов в цилиндрах Несслера ход работы такой же. Для построения шкалы стандартов в цилиндры Несслера вводят 0; 0,25; 0,50; . . . ; 5,0 *мл* раствора хромата, добавляют в каждый раствор 5 *мл* раствора буры и доводят дистиллированной водой до 55 *мл*. Окраска стандартов соответствует содержанию SiO₂ от 1,0 до 20 *мг/л*.

Ход определения. В колбу из химически устойчивого стекла наливают 50 *мл* прозрачной пробы, профильтрованной через плотный фильтр (голубая лента), или отбирают меньший объем пробы и разбавляют ее дистиллированной водой до 50 *мл*. Прибавляют 2 *мл* раствора молибдата и перемешивают. Затем приливают 1 *мл* соляной кислоты и смесь снова перемешивают. Через 5 *мин* прибавляют 1,5 *мл* раствора щавелевой кислоты и измеряют оптическую плотность или сравнивают окраску со стандартной шкалой в цилиндрах Несслера или, наконец, определяют SiO₂ колориметрическим титрованием. Одновременно проводят холостое определение с дистиллированной водой, вводят поправку и по калибровочной кривой находят содержание SiO₂.

Для определения концентрации SiO₂ колориметрическим титрованием берут другую колбу такой же формы и емкости. В нее наливают 5 *мл* раствора буры и 50 *мл* дистиллированной воды и прибавляют из бюретки раствор хромата до тех пор, пока цвет раствора в этой колбе не совпадет с окраской пробы (в колбу с пробой доливают столько дистиллированной воды, сколько добавили раствора хромата в колбу для сравнения). Объем израсходованного раствора хромата в миллилитрах умножают на 4 и получают значение *c* для расчета по приведенной ниже формуле.

Содержание растворенных ортосиликатов (*x*) в *мг/л* вычисляют по формуле:

$$x=c \cdot 50/V$$

где c — концентрация SiO_2 , найденная по калибровочной кривой, сравнением со стандартами или колориметрическим титрованием, мг/л ; V — объем анализированной пробы, мл ; 50 — объем, до которого разбавлена проба, мл .

Определение натрия и калия.

В основу определения положена способность атомов натрия и калия возбуждаться в пламени и при переходе в нормальное состояние излучать свет определенных длин волн. В испускаемом свете выделяют характерную для определяемого металла спектральную линию ($\lambda = 589 \text{ нм}$ для натрия и 768 нм для калия). Ее интенсивность, пропорциональная содержанию определяемого металла, регистрируется как аналитический сигнал.

Определению мешает наличие в воде ионов кальция при концентрации более 50 мг/л . Это мешающее влияние устраняют либо разбавлением пробы дистиллированной водой (при достаточно высоком содержании натрия и калия), либо введением в анализируемые пробы специального буферного раствора (хлорида цезия и нитрата алюминия).

Приготовление буферного раствора. $2,5 \text{ г } 3\text{CsCl}$ и $125 \text{ г } \text{Al}(\text{NO})_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ растворяют в 500 см^3 дистиллированной воды. Хранят в полиэтиленовой посуде.

Приготовление градуировочных растворов: Градуировочные растворы, аттестованные по процедуре приготовления, готовят из стандартных образцов или хлоридов натрия и калия. Массовая концентрация натрия или калия в градуировочном растворе должна составлять $1,000 \text{ г/л}$.

При использовании стандартных образцов производят разбавление исходных растворов в соответствии с инструкцией по их применению. Приготовление градуировочных растворов из твердых солей выполняют следующим образом:

$1,2710 \text{ г}$ хлорида натрия или $0,9535 \text{ г}$ хлорида калия, предварительно высушенных при $105 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 2 ч, количественно переносят в мерную колбу вместимостью 500 куб. см , растворяют в дистиллированной воде и объем раствора доводят дистиллированной водой до метки. Хранят в плотно закрытом полиэтиленовом сосуде не более 1 года.

Для всех градуировочных растворов погрешности, обусловленные процедурой приготовления, не превышают $0,5\%$ относительно приписанного значения массовой концентрации натрия или калия.

Установление градуировочных зависимостей. В мерные колбы вместимостью 100 куб. см последовательно вносят 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 куб. см градуировочного раствора натрия (калия) с массовой концентрацией 1,000 мг/л. Объемы растворов доводят до меток на колбах дистиллированной водой и тщательно перемешивают. Массовая концентрация натрия (калия) в полученных растворах составит соответственно 0,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0 мг/л. Растворы используют в день приготовления.

25–30 см³ каждого из полученных растворов переносят в стаканы вместимостью 50 см³, последовательно распыляют их в пламени горелки фотометра в соответствии с инструкцией по его эксплуатации и записывают показания прибора. Повторяют измерение и значения аналитического сигнала для каждой концентрации усредняют, если расхождение между ними не превышает 3% для натрия и 5% для калия. В противном случае следует вновь повторить измерение.

Градуировочные зависимости строят в координатах: массовая концентрация натрия (калия), мг/л - средняя величина аналитического сигнала графически или устанавливают градуировочную зависимость в соответствии с инструкцией по эксплуатации используемого прибора. Градуировочную зависимость устанавливают перед выполнением каждой серии измерений.

В мерные колбы вместимостью 25 см³ вносят по 2,5 см³ буферного раствора и доводят объемы растворов в колбах до метки водой анализируемых проб (при содержании кальция менее 50 мг/дм³ допускается вместо буферного раствора использовать 2,5 см³ дистиллированной воды). Переносят пробы в стаканы вместимостью 50 см³, распыляют их в пламени горелки фотометра в соответствии с инструкцией по его эксплуатации и измеряют величину аналитического сигнала определяемого металла при соответствующей длине волны (589 нм для натрия и 768 нм для калия). Повторяют измерение, и значения аналитического сигнала усредняют, если расхождение между ними не превышает 3% при определении натрия и 5% при определении калия по отношению к средней величине сигнала. В противном случае измерение повторяют.

Если величина аналитического сигнала пробы выше таковой для последней точки градуировочной зависимости, повторяют определение с меньшей аликвотой анализируемой воды. Для этого в мерную колбу вместимостью 25 см³ вносят 2,5 см³

буферного раствора, аликвоту анализируемой воды (1 - 10 см³) и доводят до метки дистиллированной водой.

Массовую концентрацию натрия (калия) в анализируемой пробе воды рассчитывают по формуле: $C_x = 1,11 \cdot C_r$

где: C_x - массовая концентрация натрия (калия) в анализируемой пробе, мг/л;

C_r - массовая концентрация натрия (калия), найденная по градуировочной зависимости, мг/л; 1,11 - коэффициент, учитывающий разбавление пробы буферным раствором.

Если для анализа брали меньшую аликвоту пробы воды, массовую концентрацию натрия (калия) в анализируемой пробе рассчитывают по формуле

$$C_x = C_r \cdot 25/V$$

где: C_x - массовая концентрация натрия(калия)в анализируемой пробе, мг/л; C_r - концентрация натрия (калия), найденная по градуировочной зависимости, мг/л; V - объем аликвоты анализируемой пробы воды, см³.

Определение Ca²⁺.

В колбу для титрования отбирают пипеткой 100 мл пробы, содержащей не больше 15 мг кальция, или меньшее количество пробы, доведенной до объема 100 мл дистиллированной водой. При анализе кислых проб их нейтрализуют едким натром. При анализе проб, щелочность которых превышает 6 мг-экв/л, прибавляют эквивалентное количество 0,1 н. соляной кислоты, кипятят 1 мин и охлаждают. Потом прибавляют 2 мл приблизительно 1 н. раствора едкого натра и от 0,1 до 0,2 г смеси индикатора с солью или смеси индикатора с солью и нафтоловым зеленым Б, после чего медленно титруют титрованным раствором комплексона III до появления интенсивной фиолетовой окраски (когда применяют смесь мурексида с нафтоловым зеленым Б, то до чисто-синей окраски).

Содержание кальций-ионов в мг/л (x) вычисляют по формуле:

$$x = a \cdot k \cdot 0,05 \cdot 40,08 \cdot 1000/V = a \cdot k \cdot 2004/V$$

где a — объем израсходованного 0,05М титрованного раствора комплексона III, мл;

k — поправочный коэффициент для приведения концентрации раствора комплексона III к точно 0,05 М; V — количество пробы, взятой для определения, мл; 40,08 — эквивалент Ca²⁺-иона в комплексонометрии.

Определение Mg^{2+} .

Для определения содержания магния в питьевых и поверхностных водах достаточно рассчитать его по результатам определения жесткости и кальция.

Концентрацию магния вычисляют по разности между израсходованными объемами титрованного раствора комплексона III на определение жесткости и на определение кальция.

Содержание магнией-ионов в мг/л (x) вычисляют по формуле:

$$x = 12,16 (a \cdot k \cdot 0,05 \cdot 2 \cdot 1000 / V_1 - b \cdot k \cdot 0,05 \cdot 2 \cdot 1000 / V_2) = 1216(a \cdot k / V_1 - b \cdot k / V_2),$$

где a — объем 0,05 М раствора комплексона III, израсходованного при определении жесткости, мл; b — объем 0,05 М раствора комплексона III при определении кальция, мл; k — поправка для приведения концентрации комплексона к точно 0,05 М; V_1 — объем пробы, взятой для определения жесткости, мл; V_2 — объем пробы, взятой для определения кальция, мл; 0,05 — молярность раствора комплексона III; 12,16 — эквивалент Mg^{2+} -иона при ацидиметрическом титровании.

Определение алюминия (Al).

Основной раствор. Растворяют 1,7582 г $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ в дистиллированной воде и разбавляют до 1 л; 1 мл раствора содержит 0,100 мг Al.

Рабочий раствор. Разбавляют 10 мл основного раствора дистиллированной водой до 1 л. Применяют всегда свежеприготовленный раствор; 1 мл раствора содержит 0,001 мг Al.

Калибровочная кривая. В ряд колб отмеривают 2,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0 мл рабочего стандартного раствора и дополняют каждый раствор до 50 мл дистиллированной водой. Полученные растворы соответствуют содержанию алюминия 0; 0,040; 0,10; . . . ; 1,0 мг/л.

Стандартные растворы обрабатывают, как описано в ходе определения, и измеряют оптическую плотность. Вводя поправку на холостое определение, строят график в координатах оптическая плотность — концентрация алюминия.

Ход определения. В колбу емкостью 250 мл помещают 50 мл пробы (если надо, предварительно разбавленной или упаренной так, чтобы содержание алюминия в этом объеме оказалось в пределах 0,001—0,05 мг). Добавляют каплю раствора д-нитрофенола и раствор аммиака до появления желтой окраски индикатора. Вводят по каплям соляную кислоту до исчезновения окраски и последовательно приливают

1 мл раствора лимонной кислоты и 2 мл раствора тиогликолевой кислоты, затем смесь тщательно взбалтывают. Добавляют 10 мл раствора алюминона в буферной смеси и погружают колбу на 15 мин в кипящую водяную баню. Охладив смесь примерно до 20°C, переносят ее в мерную колбу емкостью 100 мл или в цилиндр Несслера, доливают водой до метки и перемешивают.

Содержание алюминия (x) в мг/л вычисляют по формуле:

$$x = c \cdot 50/V$$

где c – концентрация алюминия, найденная по калибровочной кривой, мг/л; V – объем пробы, взятой для определения, мл; 50 – объем до которого разбавляют пробу, мл.

Определение железа (Fe).

Основной раствор. Растворяют в дистиллированной воде 0,8634 г $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ чда, высушенного в эксикаторе при нормальной температуре, прибавляют 2 мл концентрированной HCl и доводят объем до 1 л; 1 мл раствора содержит 0,100 мг железа.

Рабочий раствор. Разбавляют 50,0 мл основного стандартного раствора до 1 л дистиллированной водой, каждый раз готовят свежий рабочий раствор; 1 мл раствора содержит 0,005 мг железа.

Калибровочная кривая. В ряд колб для кипячения помещают 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0 мл рабочего раствора и доводят объемы дистиллированной водой до 50 мл. В приготовленной так серии растворов, содержащих 0; 0,05; 0,10; . . .; 4,0 мг/л железа, определяют железо указанным ниже способом. Вычитают оптическую плотность холостой пробы и строят график в координатах оптическая плотность — концентрация железа.

Ход определения. В широкогорлую колбу для кипячения емкостью 200 мл помещают 50 мл хорошо перемешанной пробы, содержащей не более 4,0 мг железа в 1 л, или же меньший объем пробы, разбавленной дистиллированной водой до 50 мл, добавляют 2,5 мл разбавленной серной кислоты, 2,5 мл раствора перманганата и кипятят смесь 3—5 мин до тех пор, пока не испарится по крайней мере 5 мл жидкости. Горячий раствор обесцвечивают щавелевой кислотой и осторожно прибавляют к нему раствор перманганата калия до повторного возникновения розового окрашивания. Если окисленный раствор мутен, то его после охлаждения

фильтруют и объем фильтрата-доводят до 50 мл. Прибавляют 2,5 мл разбавленной соляной кислоты и перемешивают. Прибавляют 5,0 мл раствора роданида и после перемешивания сейчас же измеряют оптическую плотность; вводят поправку на оптическую плотность холостой пробы, приготовленной таким же способом, но с дистиллированной водой и по калибровочной кривой находят содержание железа.

Содержание железа (x) в мг/л вычисляют по формуле:

$$x = c \cdot 50 / V$$

где, c — концентрация железа, найденная по калибровочной кривой, мг/л; V — объем пробы, взятой для определения, мл; 50 — объем, до которого разбавлена проба, мл.

Определение марганца (Mn).

Основной раствор. Растворяют 0,2748 г $MnSO_4$, прокаленного при $500^\circ C$, примерно в 10 мл разбавленной (1: 4) горячей серной кислоты и доводят объем дистиллированной водой до 1 л; 1 мл раствора содержит 0,100 мг Mn.

Рабочий раствор. Разбавляют 100,0 мл основного раствора до 1 л дистиллированной водой; каждый раз готовят свежий рабочий раствор; 1 мл раствора содержит 0,010 мг Mn.

Калибровочная кривая. В ряд стаканов емкостью около 150 мл помещают 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0 мл рабочего стандартного раствора сульфата марганца, что после доведения объемов дистиллированной водой до 100 мл соответствует концентрациям 0,05; 0,10; 0,25; ...4,00 мг марганца в 1 л.

При пользовании кюветами с толщиной слоя 2 см серию концентраций можно расширить до 10,0 мг марганца в 1 л включительно. В этих растворах определяют марганец так, как описано выше. Вводят поправку на холостое определение и строят график в координатах оптическая плотность t - концентрация марганца.

При пользовании цилиндрами Несслера удобен ряд 0,05; 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,00 мг марганца в 1 л.

Ход определения. К 100 мл пробы, содержащей 0,005—1,0 мг марганца, или к 100 мл выпаренной или разбавленной пробы прибавляют 2 мл азотной кислоты и осаждают хлориды, вводя по каплям раствор нитрата серебра до тех пор, пока не прекратится выделение осадка. Затем прибавляют еще 1—2 мл раствора нитрата серебра и после полного осаждения хлоридов смесь фильтруют. При низкой

концентрации марганца и высокой концентрации хлоридов лучше устранять хлориды выпариванием пробы с азотной кислотой (см. «Мешающие влияния»). Так избегают возможной адсорбции марганца осадком хлорида серебра. К фильтрату добавляют 0,5 г персульфата, нагревают смесь и равномерно кипятят около 10 мин. Охладив пробу, доводят ее объем дистиллированной водой до 100 мл. Определяют величину оптической плотности в кюветах с толщиной слоя 2—5 см (в зависимости от интенсивности окраски) или же сравнивают полученную окраску со стандартами в цилиндрах Несслера и по калибровочной кривой находят концентрацию марганца.

Содержание марганца(II) в мг/л (x) вычисляют по формуле:

$$x = c \cdot 100/V$$

где c —концентрация марганца, найденная по калибровочной кривой или сравнением со стандартами, мг/л; V —объем пробы, взятой для анализа, мл; 100—объем, до которого разбавлена проба, мл.

Определение меди (Cu).

Основной раствор. Растворяют 0,200 г медной фольги или медной проволоки ч.д.а в 10 мл разбавленной (1:1) азотной кислоты. После растворения приливают 1 мл концентрированной серной кислоты ч.д.а и выпаривают до появления паров серной кислоты. Объем раствора дополняют при 20°C до 1 л; 1 мл раствора содержит 0,200 мг меди.

Рабочий раствор I. Разбавляют 250 мл основного раствора до объема 1 л. Применяют всегда свежеприготовленный раствор; 1 мл раствора содержит 0,050 мг меди.

Рабочий раствор II. Разбавляют 20,0 мл рабочего раствора I до 1 л. Применяют всегда свежеприготовленный раствор; 1 мл раствора содержит 0,001 мг меди.

Для приготовления всех реактивов, для разбавления пробы и для мытья использованной посуды применяют бидистиллят, полученный в приборе из стекла.

Калибровочная кривая. В делительные воронки отмеривают 2,0; 3,0; 10,0; 20,0; 40,0; 60,0; 100,0 мл стандартного рабочего раствора II и доводят объемы бидистиллятом до 100 мл, получая так серию стандартных растворов с содержанием 0;

0,02; 0,05; 0,10; . . . 1,00 мг меди в 1 л. Стандартные растворы обрабатывают

описанным выше способом. Из величин измеренных оптических плотностей вычитают величину оптической плотности холостого определения и строят график в координатах оптическая плотность — концентрация меди.

Ход определения. В делительную воронку емкостью 250—500 *мл* помещают 100—250 *мл* пробы либо первоначальной, либо предварительно разбавленной или сконцентрированной выпариванием так, чтобы в ней содержалось 0,005-0,1 *мг* меди. Очень кислые или сильнощелочные пробы нейтрализуют соответственно разбавленным раствором едкого натра или соляной кислоты. На каждые 100 *мл* пробы добавляют 5 *мл* раствора цитрата аммония, 10 *мл* раствора комплексона III, 10 *мл* раствора аммиака и 10 *мл* хлороформа. Эту смесь перемешивают около 1 мин и встряхивают. Слою хлороформа дают собраться на дне воронки, после чего его удаляют. Если он окрашен, то экстракцию продолжают новыми порциями хлороформа по 10 *мл* до тех пор, пока полученный экстракт не станет бесцветным. Затем к водному раствору добавляют 10 *мл* хлороформа (из цилиндра, в который заранее было отмерено 24 *мл* хлороформа) и 10 *мл* раствора диэтилдитиокарбамината натрия. Примерно двухминутным встряхиванием проводят экстракцию, дают отделиться хлороформной фазе и сливают ее, фильтруя через маленький бумажный фильтр (белая лента) в мерную колбу емкостью 25 *мл*.

Наливают в делительную воронку 2 *мл* хлороформа и тотчас сливают в колбу, ополаскивая таким образом отверстие крана и трубку воронки. После этого экстрагируют новой порцией в 5 *мл* хлороформа, встряхивая в течение 2 *мин* и сливают хлороформ после отделения слоев в ту же мерную колбу через тот же фильтр. Как и в предшествовавшем экстрагировании, отверстие крана и трубки воронки ополаскивают 1 *мл* хлороформа. Экстрагирование и прополаскивание повторяют с 5 и с 1 *мл* хлороформа. Собранные в мерной колбе экстракты доливают хлороформом до метки и перемешивают.

Измерение оптической плотности проводят быстро, так как хлороформ испаряется. Из измеренной величины вычитают оптическую плотность холостого определения с дистиллированной водой и по калибровочной кривой находят содержание меди.

Содержание меди (x) в $мг/л$ вычисляют по формуле:

$$x = c \cdot 100/V$$

где c - концентрация меди, найденная по калибровочной кривой, $мг/л$; V — объем пробы, взятой для анализа, $мл$; 100 — объем, до которого разбавлена проба, $мл$.

Определение цинка (Zn).

Растворяют 0,15 г $(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$ (ч. д. а) и 24 г $CH_3COONa \cdot 3H_2O$ (ч.д.а) в 200 мл дистиллированной воды и добавляют 10 мл 2 н. раствора NH_4OH и 70 мл 1 н. раствора HCl ;

Растворяют 120 г $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ в 200 мл дистиллированной воды. Оба раствора соединяют и разбавляют водой до 1 л.

Четыреххлористый углерод (чда) или очищенный перегонкой.

Дитизон, раствор для экстрагирования.

Основной раствор. Растворяют 50 мг дитизона в 100 мл четыреххлористого углерода в делительной воронке, добавляют 200 мл дистиллированной воды и 5—10 мл концентрированного раствора аммиака чда. Смесь тщательно перемешивают в течение 2 мин. После разделения слоев четырех хлор истый углерод сливают. В делительную воронку прибавляют 20 мл четыреххлористого углерода, смесь немного взбалтывают, дают постоять и снова сливают слой органического растворителя. Трубку воронки высушивают фильтровальной бумагой и в воронку добавляют 200 мл четыреххлористого углерода и разбавленную соляную кислоту до явно кислой реакции. Смесь встряхивают до тех пор, пока дитизон не перейдет в слой четыреххлористого углерода. Слой растворителя сливают в другую воронку и три раза промывают его порциями по 50 мл дистиллированной воды. После этого раствор дитизона переливают в коричневую склянку и осторожно наливают сверху 0,5%-ный раствор соляной кислоты, содержащий 0,5% сернокислового гидразина $NH_2NH_2 \cdot H_2SO_4$.

Раствор хранят на холоде в темном помещении. Он устойчив в течение нескольких месяцев.

Рабочий раствор. К 1 объемной части основного раствора добавляют 9 объемных частей четыреххлористого углерода. Раствор хранят в темной склянке на холоде; он устойчив примерно одну неделю.

Промывной раствор (фосфат натрия и сульфид натрия). Растворяют 6 г $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ч.д.а в 100 мл дистиллированной воды; рН раствора доводится до 11 добавлением 5 н. раствора NaOH . После этого добавляют 10 мл 0,25 н. раствора сульфида натрия, полученного пропусканием сероводорода в, 0,25 н. раствор едкого натра (10 г NaOH в 1 л дистиллированной воды); рН этого раствора должен достичь 8. Раствор сульфида применяют всегда свежеприготовленным.

Сульфат цинка, стандартный раствор. Основной раствор. Растворяют 1,000 г цинка чда в 10 мл концентрированной азотной кислоты ч. д. а., добавляют 5 мл серной кислоты и выпаривают на водяной бане до появления белых паров H_2SO_4 .

Затем разбавляют дистиллированной водой до 1 л; 1 мл раствора содержит 1,000 мг цинка.

Рабочий раствор I. Смешивают 25 мл основного раствора с 5 мл концентрированной серной кислоты ч. д. а. и дистиллированной водой доливают до 1 л. Применяют всегда свежеприготовленный раствор; 1 мл раствора содержит 0,025 мг Zn .

Рабочий раствор II. К 20,0 мл рабочего раствора I прибавляют 5 мл серной кислоты и доливают до 1 л дистиллированной водой. Применяют всегда свежеприготовленный раствор; 1 мл раствора содержит 0,0005 мг цинка.

Калибровочная кривая. В делительные воронки отмеряют 10,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0; 60,0 мл рабочего стандартного раствора II, что соответствует после дополнения до 100 мл концентрациям 0,050; 0,10 до 0,30 мг цинка в 1 л. Стандартные растворы обрабатывают описанным ниже способом, измеряют значение оптической плотности, вводят поправку на холостое определение и строят график в координатах оптическая плотность — концентрация цинка.

Ход определения. В делительную воронку помещают 100—200 мл пробы, если надо, предварительно разбавляя ее или упаривая, чтобы содержание цинка в этом объеме оказалось в пределах 0,005—0,03 мг, и прибавляют 1 мл концентрированной соляной кислоты ч. д. а., не содержащей цинка. Прибавляют раствор ацетата натрия до рН 5 (проверяют индикаторной бумажкой) и 20 мл маскирующего раствора. После перемешивания экстрагируют цинк 50,0 мл рабочего раствора дитизона. Встряхивают до тех пор, пока окраска раствора не перестанет изменяться. Если экстракт окрашен в интенсивно-фиолетовый или даже

в красный цвет, экстракцию повторяют с меньшим объемом пробы. После полного разделения слоев сливают экстракт в другую делительную воронку, добавляют 10 мл промывного раствора, 15 мл дистиллированной воды и встряхивают до полного удаления дитизона из слоя четыреххлористого углерода.

Содержание цинка определяют по формуле:

$$x = c \cdot 100/V$$

где c - концентрация цинка, найденная по калибровочной кривой, мг/л; V — объем пробы, взятой для анализа, мл; 100 — объем, до которого разбавлена проба, мл.

Определение хрома Cr (VI).

Основной раствор. Растворяют 2.8285 г $K_2Cr_2O_7$ ч. д. а., высушенного при $105^\circ C$, в дистиллированной воде и дополняют объем при $20^\circ C$ до 1 л. 1 мл раствора содержит 1 мг Cr.

Рабочий раствор I. Разбавляют 25,0 мл основного раствора дистиллированной водой, доводя объем до 500 мл; 1 мл раствора содержит 0,050 мг Cr.

Рабочий раствор II. Разбавляют 20,0 мл рабочего раствора I дистиллированной водой до 500 мл; применяют свежеприготовленным; 1 мл раствора содержит 0,002 мг Cr.

Для приготовления реактивов и разбавления пробы используют бидистиллят, полученный в стеклянном приборе.

Калибровочная кривая. В ряд мерных колб емкостью 100 мл отмеривают 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0 мл рабочего стандартного раствора II, после доведения объемов до 100 мл получают серию стандартов с концентрациями хрома 0,02; 0,04; . . . ; 1,0 мг в 1 л. Затем проводят определение по варианту А. Из полученных значений оптической плотности вычитают величину оптической плотности холостого определения и по полученным величинам строят график в координатах оптическая плотность — концентрация хрома.

При визуальном определении в цилиндры Нesslerа помещают 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; . . . ; 20,0 мл рабочего стандартного раствора, получая после разбавления водой до объема 100 мл серию стандартов с концентрациями 0,04; 0,08; 0,12; . . . ; 0,4 мг хрома в 1 л.

Ход определения. В мерную колбу емкостью 100 мл или в цилиндр Нesslerа

помещают такой объем прозрачной пробы, чтобы в нем содержалось от 0,005 до 0,1 мг хрома. Пробу нейтрализуют 1 н. раствором едкого натра или 1 н. раствором серной кислоты. Необходимое количество щелочи или кислоты устанавливают титрованием отдельной порции пробы. Затем приливают 1 мл серной кислоты (1 : 1), 0,3 мл фосфорной кислоты, доводят объем дистиллированной водой до 100 мл и перемешивают. Добавляют 2 мл раствора дифенилкарбазида и снова перемешивают, через 5—10 мин измеряют оптическую плотность или сравнивают пробу со стандартными растворами, обработанными таким же способом; вычитают из полученной величины оптическую плотность холостого определения и по калибровочной кривой находят содержание хрома.

Содержание хрома (VI) и общее содержание хрома (x) вычисляют по формуле:

$$x = c \cdot 100/V$$

где c — концентрация хрома, найденная по калибровочному графику или сравнением с серией стандартных растворов, мг/л; V — объем пробы, взятой для анализа, мл; 100 — объем, до которого разбавлена проба, мл.

Определение хлорид-иона (Cl⁻).

Хлор выделяет йод из раствора иодида. Выделенный йод титруют раствором тиосульфата натрия по крахмалу. В кислой среде реакции протекают количественно. Титруя 0,01 н. раствором тиосульфата натрия, можно определить 0,05 мг/л и более активного хлора в пробе объемом 500 мл.

Мешающие влияния. Определению хлора в питьевых или поверхностных водах с небольшим содержанием органических веществ не препятствуют нитриты, марганец и железо, если титруют с добавлением разбавленного раствора уксусной кислоты. В присутствии большого количества органических веществ метод не дает правильных результатов.

Реактивы: Уксусная кислота чда, ледяная, иодид калия, ч. д. а., тиосульфат натрия, 0,1 н. раствор. Растворяют 25 г $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ч. д. а. в свежeproкипяченной и охлажденной дистиллированной воде, добавляют 0,2 г Na_2CO_3 чда и доводят объем до 1 л. Титр или поправку определяют по основному раствору бихромата той же нормальности.

Разбавляют 100 мл 0,1 н. раствора тиосульфата до 1 л свежeproкипяченной и

охлажденной дистиллированной водой и добавляют 0,2 г Na_2CO_3 чда. Титр или поправку определяют так же, как 0,1 н. раствора.

Крахмал, 0,5%-ный раствор.

Ход определения. При предполагаемом содержании «активного хлора» менее 1 мг/л отмеривают 1000 мл пробы, при содержании его от 1 до 10 мг/л — 500 мл и т. д. (расход тиосульфата натрия на титрование не должен превышать 20 мл).

Прибавляют к пробе 5 мл уксусной кислоты и около 1 г твердого иодида калия. Титрование проводят на белом фоне 0,01 н. раствором тиосульфата натрия до получения светло-желтой окраски. Затем добавляют около 1 мл раствора крахмала и продолжают титрование до исчезновения синего окрашивания. Нельзя титровать при прямом солнечном свете. Таким же способом находят расход реактива на холостое определение с дистиллированной водой.

Расчёт. Содержание «активного хлора» (х) в мг/л вычисляют по формуле:

$$x = (a-b) \cdot k \cdot 0,01 \cdot 35,45 \cdot 1000/V = (a-b) \cdot k \cdot 354,5/V$$

где, *a* — объем 0,01 н. раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование пробы, мл; *b* — объем 0,01 н. раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование в холостом определении, мл; *k* - поправочный коэффициент для приведения концентрации раствора тиосульфата натрия к точно 0,01 н.; *V* - объём анализируемой пробы, мл; 35,45 - атомный вес хлора; 0,01 - нормальность раствора тиосульфата.

Определение фосфат-иона (PO_4^{3-}).

Ход определения. К 50 мл пробы, профильтрованной в день отбора (на месте отбора или в лаборатории), через плотный фильтр (синяя лента) или к меньшему объему пробы, но разбавленному до 50 мл дистиллированной водой, приливают сначала 2 мл раствора молибдата, через короткое время 0,5 мл раствора аскорбиновой кислоты. Смесь перемешивают. Одновременно проводят «холостое» определение с 50 мл дистиллированной воды. Если анализируемая проба содержит полифосфаты и органические соединения фосфора, измеряют оптическую плотность в промежутке времени от 5 до 15 мин после добавления раствора аскорбиновой кислоты. Если легко гидролизующихся полифосфатов нет, этот промежуток времени может быть увеличен до 60 мин. Если же нет ни полифосфатов, ни органических фосфатов,

измерение оптической плотности можно проводить в течение времени от 5 мин до 48 ч после добавления аскорбиновой кислоты. Из найденной величины оптической плотности вычитают оптическую плотность «холостого» определения. Если проба была несколько мутной или окрашенной, надо также вычесть оптическую плотность раствора, получаемого после добавления молибдата, но перед введением аскорбиновой кислоты. Содержание фосфатов находят по калибровочной кривой.

Расчет. Содержание растворенных неорганических ортофосфатов (x) мг/л вычисляют по формуле:

$$x=c \cdot 50/V$$

где c — концентрация фосфат-ионов, найденная по калибровочной кривой, мг/л; V — объем пробы, взятой для определения, мл; 50 — объем, до которого разбавляют раствор, мл.

Определение нитрат-иона (NO_3^-).

Метод основан на реакции нитратов с салициловокислым натрием в присутствии серной кислоты с образованием соли нитросалициловой кислоты, окрашенной в желтый цвет.

Чувствительность метода 0,1 мг/л нитратного азота.

Приготовление основного стандартного раствора азотнокислого калия.

0,7218 г азотнокислого калия KNO_3 , х. ч., высушенного при $105 \pm 2^\circ\text{C}$, растворяют в дистиллированной воде, добавляют 1 мл хлороформа и доводят объем до 1 л.

1 мл раствора содержит 0,1 мг нитратного азота.

Приготовление рабочего стандартного раствора азотнокислого калия.

10 мл основного раствора разбавляют в мерной колбе дистиллированной водой до 100 мл.

1 мл этого раствора содержит 0,01 мг нитратного азота.

Применяют свежеприготовленный раствор.

Приготовление раствора виннокислого калия-натрия.

30 г калия-натрия виннокислого растворяют в 70 мл дистиллированной воды.

Приготовление 0,5%-ного раствора салициловокислого натрия.

0,5 г салициловокислого натрия растворяют в 100 мл дистиллированной воды.

Применяют свежеприготовленный раствор.

Приготовление 10 н. раствора едкого натра.

400 г едкого натра растворяют в дистиллированной воде и после охлаждения доводят объем до 1 л.

Определению мешают цветность воды, влияние которой устраняется так же, как и в методе с фенолдисульфокислотой; хлориды в концентрации, превышающей 200 мг/л, удаляют добавлением раствора сернокислого серебра к 100 мл исследуемой воды в количестве, эквивалентном содержанию хлор-иона. Осадок хлорида серебра отфильтровывают или отделяют центрифугированием; нитриты в концентрации 1—2 мг/л и железо в концентрации более 0,5 мг/л. Влияние железа может быть устранено добавлением 8—10 капель раствора калия-натрия виннокислого перед выпариванием воды в фарфоровой чашке.

10 мл исследуемой воды помещают в фарфоровую чашку. Прибавляют 1 мл раствора салициловокислого натрия и выпаривают на водяной бане досуха. После охлаждения сухой остаток увлажняют 1 мл концентрированной серной кислоты, тщательно растирают его стеклянной палочкой и оставляют на 10 мин. Затем добавляют 5—10 мл дистиллированной воды и количественно переносят в мерную колбу вместимостью 50 мл. Прибавляют 7 мл 10 н. раствора едкого натра, доводят объем дистиллированной водой до метки и перемешивают. В течение 10 мин после прибавления едкого натра окраска не изменяется. Сравнение интенсивности окраски исследуемой пробы производят фотометрическим методом, измеряя оптическую плотность раствора с фиолетовым светофильтром в кюветах с толщиной рабочего слоя 1—5 см. Из найденных величин оптической плотности вычитают оптическую плотность нулевой пробы и по калибровочному графику находят содержание нитратов.

Для приготовления стандартных растворов в колориметрические пробирки с отметкой на 10 мл отбирают 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0 и 10 мл рабочего стандартного раствора азотнокислого калия (1 мл — 0,01 мг N) и доводят дистиллированной водой до отметки. Содержание нитратного азота в растворах соответственно будет равно 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0; 10,0 мг/л. Затем растворы переносят в фарфоровые чашки, прибавляют по 1 мл раствора салициловокислого натрия и выпаривают на водяной бане досуха. Сухой остаток

обрабатывают так же, как описано при анализе пробы исследуемой воды. Оптическую плотность окрашенных растворов измеряют при помощи электрофотокolorиметра, используя фиолетовый светофильтр и кюветы с толщиной рабочего слоя 1—5 см. Из полученных величин вычитают оптическую плотность нулевой пробы и результаты наносят на график.

Содержание нитратов. (X) в мг/л вычисляют по формуле в пересчете на нитратный азот

$$X = C$$

где C — содержание нитратов, найденное по графику, мг/л. Сходимость результатов анализа (A) в процентах вычисляют по формуле

$$A = 2(P_1 - P_2) / (P_1 + P_2) \cdot 100$$

где P₁ — больший результат из двух параллельных определений;

P₂ — меньший результат из двух параллельных определений.

2.4. Отбор проб снежного покрова

Выбор снежного покрова в качестве естественного индикатора атмосферных загрязнений актуален тем, что снег при формировании эффективно сорбирует примеси из атмосферы и депонирует сухие пылевые выбросы техногенных источников [88]. Согласно [89] концентрация загрязняющих веществ в снеге на 2-3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе. Это позволяет проводить измерения содержания веществ достаточно простыми методами с высокой степенью надежности. Для того, чтобы иметь информацию о химическом составе формирующегося из ледников водного стока в зоне формирования, проводился комплекс физико-химических анализов сезонных снегов на леднике Гармо и вод формирующихся из ледника. Полная информация места расположения и характеристики ледника приведены в разделе 4.4 диссертационной работы. Отбор проб снега и анализ талой воды проводился на основании руководящего документа РД 52.04.186 -8947(Руководство по контролю загрязнения атмосферы, часть 2, п.5.1.2.) [90] и инструкции для отбора проб снежного покрова, льда и талой воды, разработанной в Университете Колорадо в Боулдере по международному

проекту —Contribution to High Asian Runoff from Ice and Snow (www.nsidc.org/Chairs).

2.5. Изотопное исследование отобранных образцов

Изотопно-кислородный и дейтериевый состав, дейтериевый эксцесс считаются одними из информативных индикаторов в гидрологических и гляциологических исследованиях в установлении закономерностей процессов льдообразования, снегонакопления и протекания взаимных агрегатных превращений. При отборе проб руководствовались инструкцией, разработанной в университете Колорадо в Боулдере. Анализы образцов вод и льда выполнялись на Wavelength-Scanned Cavity Ringdown Spectroscopy (WS-CRDS) и изотопный состав водорода и кислорода выражались в относительных величинах $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$: $\delta = [(R_{\text{об}} / R_{\text{ст}}) - 1] \cdot 1000\text{‰}$, где $R_{\text{об}}$ и $R_{\text{ст}}$ отношения $^2\text{H}/^1\text{H}$ и $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в измеряемом образце и в стандарте. В качестве стандарта принята средняя океаническая вода (SMOW, Vienna, IAEA). Точность измерения составляла $\pm 0.05\text{‰}$.

ГЛАВА 3. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ЗАПАДНОГО ПАМИРА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

3.1. Метеорологические условия климатических зон водосбора реки Пяндж за период 1940-2020 гг

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, динамики их изменений в условиях глобального потепления является актуальной проблемой.

Для мониторинга гидрометеорологических условий соответствующих зон условно определены базисные станции. Климатические особенности западного, центрального и восточного Памира фиксируются на станциях Хорог (2075 м н.у.м.), Ирхт (3290 м н.у.м.) и Мургаб (3576 м н.у.м.).

Особенность горной орографии Памира способствует тому, что периоды максимальных количеств атмосферных осадков приходятся в разные месяцы для вышеперечисленных зон бассейнов реки Пянджа и Вахша, которые согласно [100] связаны с проникновением северной ветви западного потока и переходом температуры на положительные значения.

Если исходить с точки зрения гидрологии рек, их гидрографии и водообеспеченности, изучение метеорологических особенностей горных регионов имеет большое значение для прогноза, определения сценарий динамики изменения водных ресурсов и, в конечном счете, в планировании перспективы развития отраслей экономики.

В свою очередь, для Горно-Бадахшанской автономной области, охватывающей почти весь горный Памир и являющейся зоной формирования

трансграничной р. Пяндж, характерны три климатические зоны. Очевидно, что метеорологические условия бассейнов речных артерий являются ключевыми факторами в формировании водного стока и индикатором всяких изменений гидрологических характеристик под влиянием трансформации климата. С этой точки зрения последовательный мониторинг метеорологических условий бассейнов рек представляет важное практическое и научное значение.

Для мониторинга метеорологических условий соответствующих зон были использованы данные метеорологических станций функционирующие во всех климатических зонах бассейна реки Пяндж:

Ирхт (3290 м НУМ, 38°6' 72°36');

Ишкашим (2600 м НУМ, 36°43' 71°36');

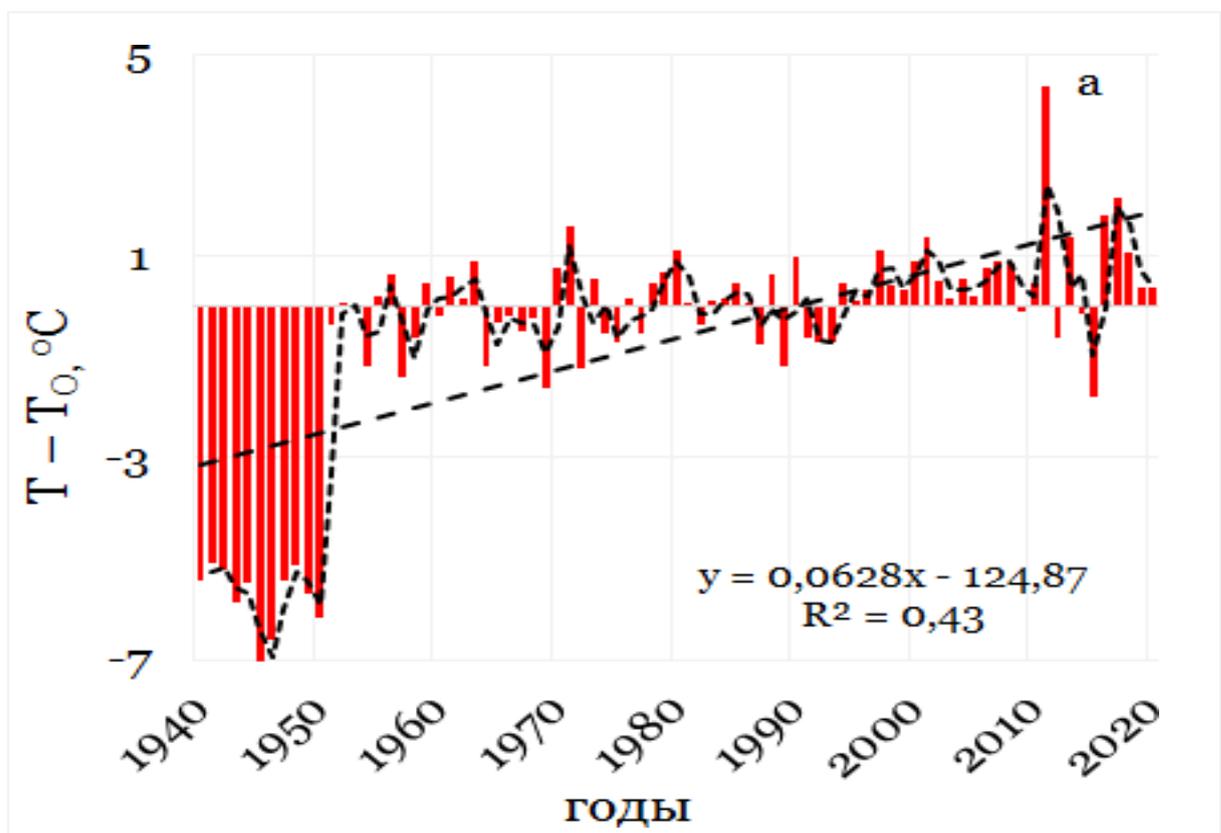
Дарваз (1279 м НУМ, 38°26' 70°47');

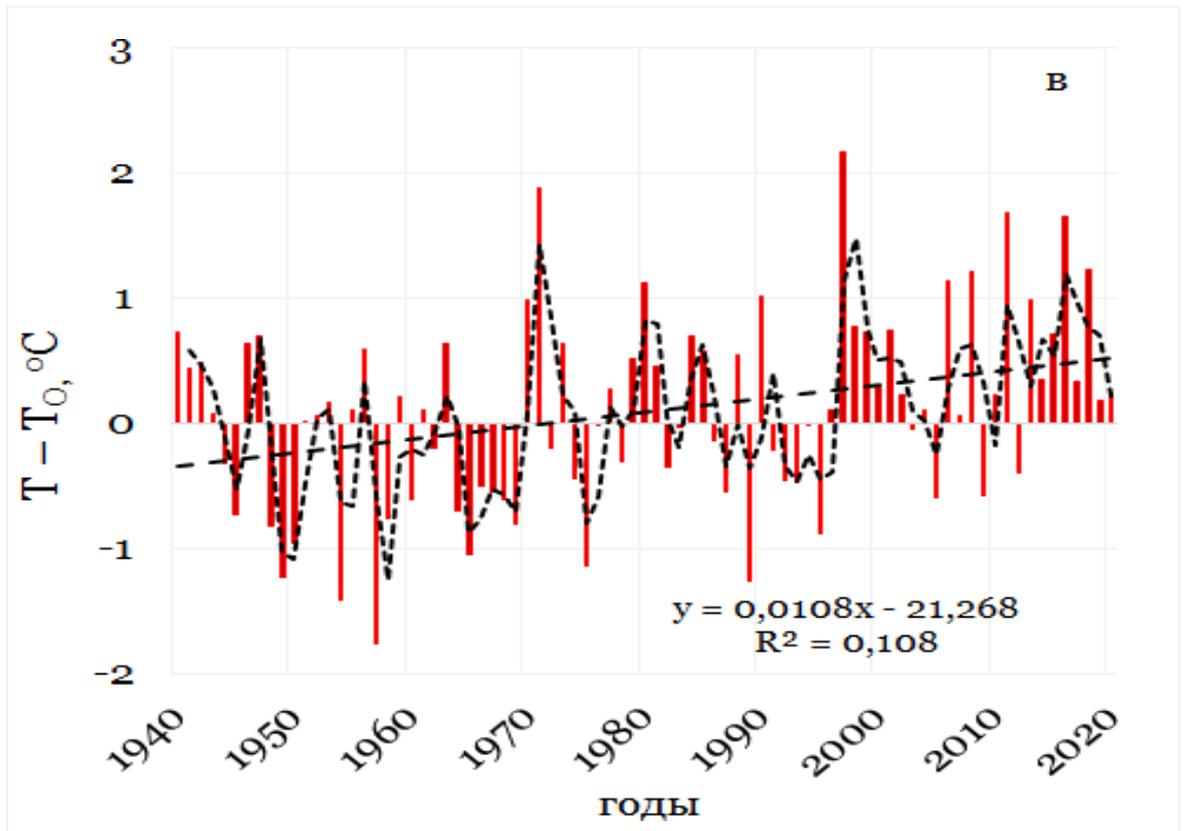
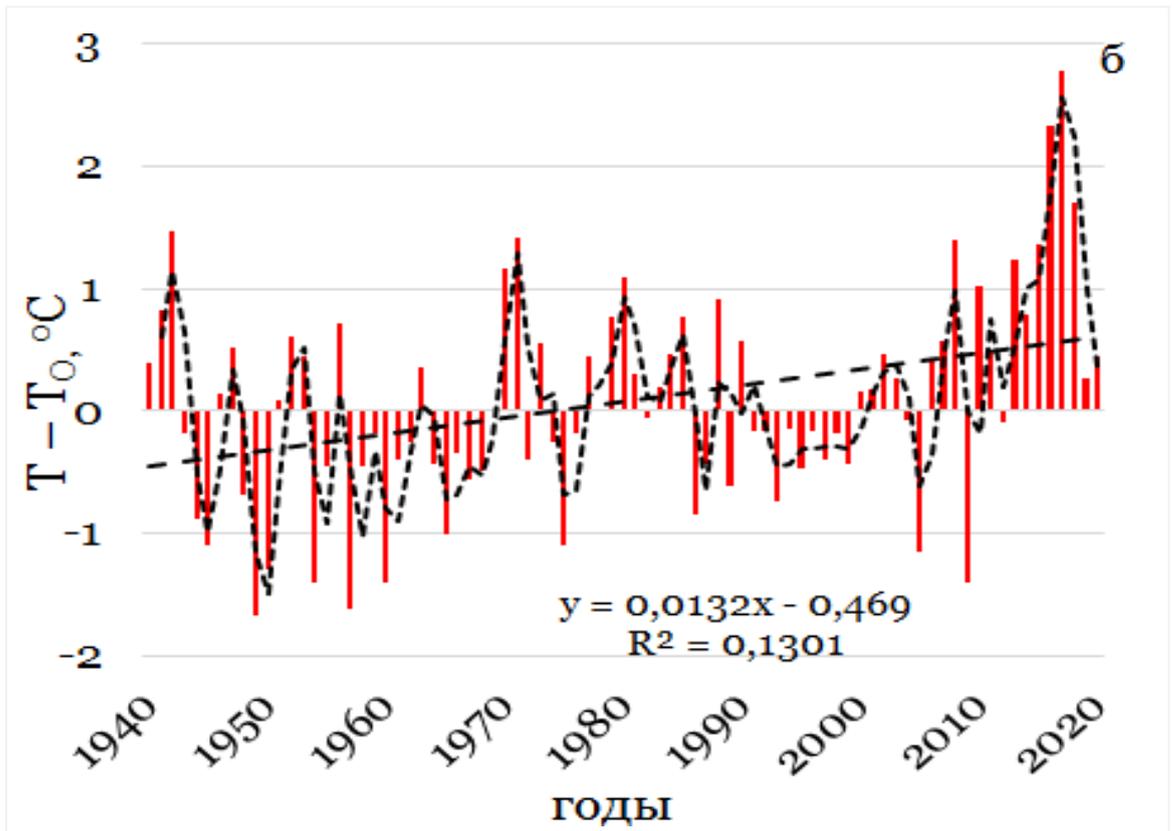
Джавшангоз (3410 м НУМ, 37°21' 72°27');

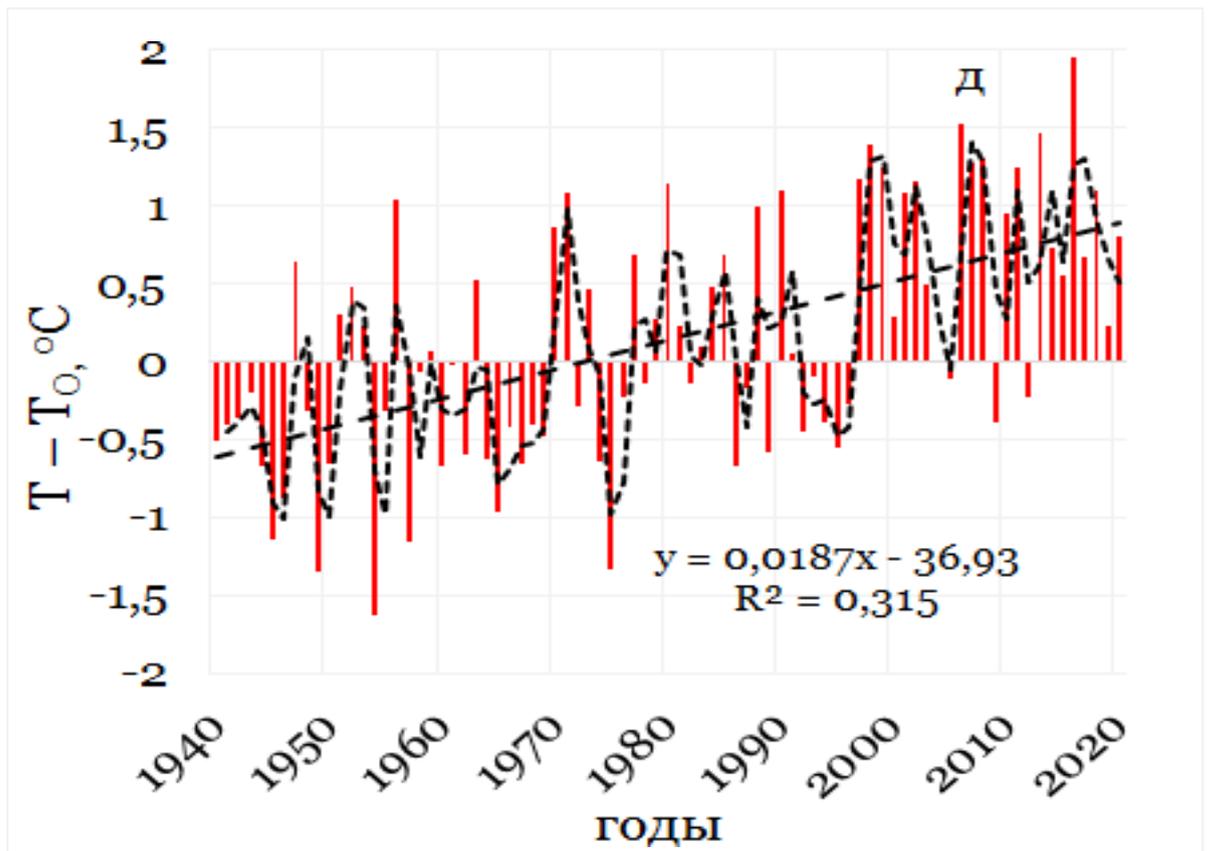
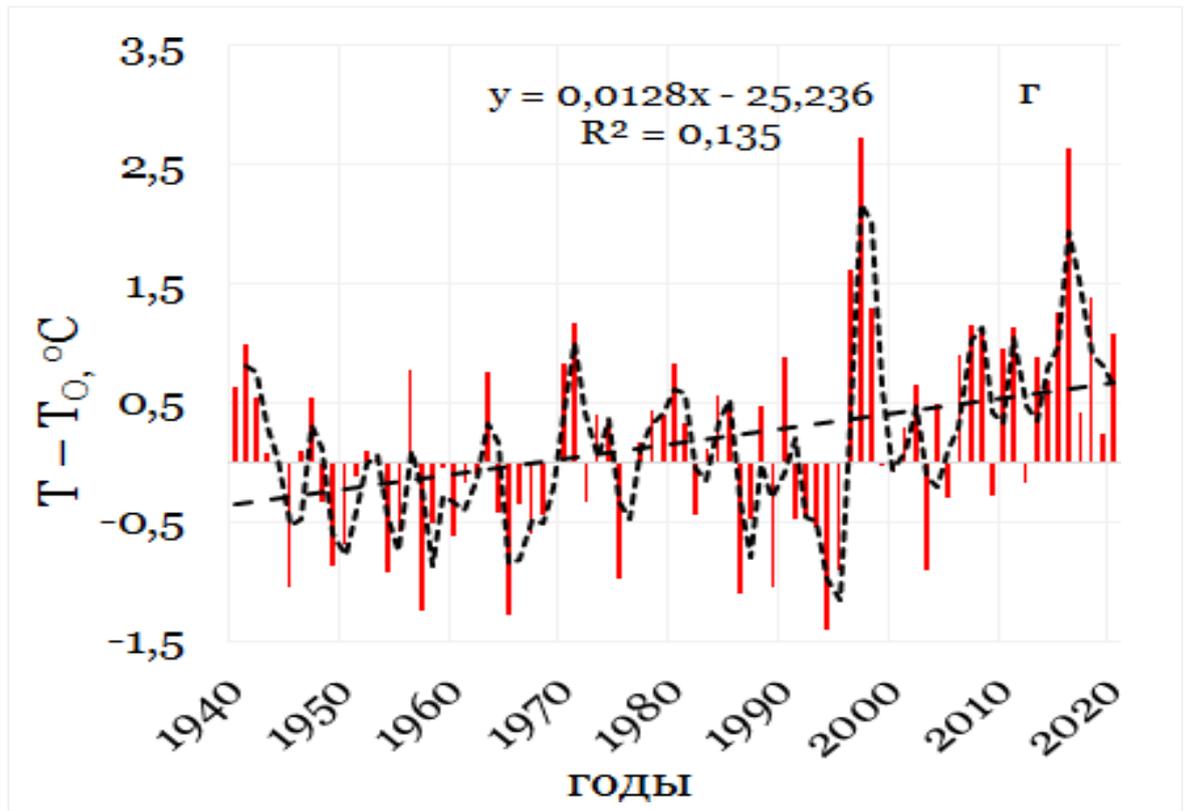
Хорог (2077 м НУМ, 37° 30' 71°30');

Мургаб (3576 м НУМ, 38°12' 74°00').

На рисунке 5. (а, б, в, г, д, е), представлены динамика изменения температуры по данным вышеперечисленных метеостанций за период 1940-2020 гг.







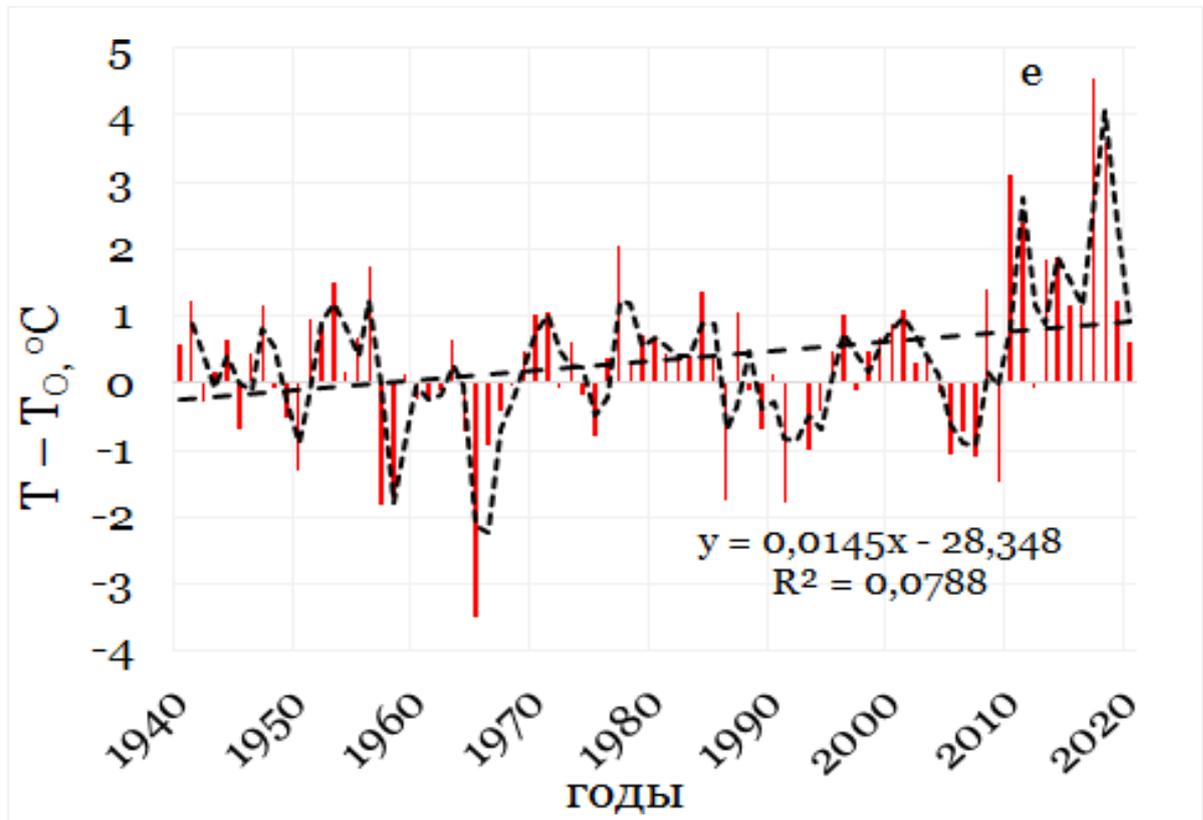


Рис. 5. Динамика изменения температуры в бассейне реки Пяндж за период 1940-2020 гг по данным метеостанций Дарваз (а), Джавшангоз (б) Хорог (в), Ирхт (г), Ишкашим (д) и Мургаб (е)

Представленные на рисунке 5 кривые изменения температур свидетельствуют, что во всех климатических зонах Памира происходит потепление климата и данный процесс протекает в более ускоренном виде на высокогорье в зоне водосбора реки Пяндж. Таким образом согласно проведенным расчетам возрастание температуры в бассейне реки Пяндж к 2050 году ожидается на 0,31-0,54 °С. В частности, в: Дарвазе - 0,9-1,0 °С; Хороге – 0,33 °С; Ишкашине – 0,54 °С; Ирхте – 0,39 °С; Джавшангозе – 0,36 °С; Мургабе – 0,45 °С (рисунок 6).

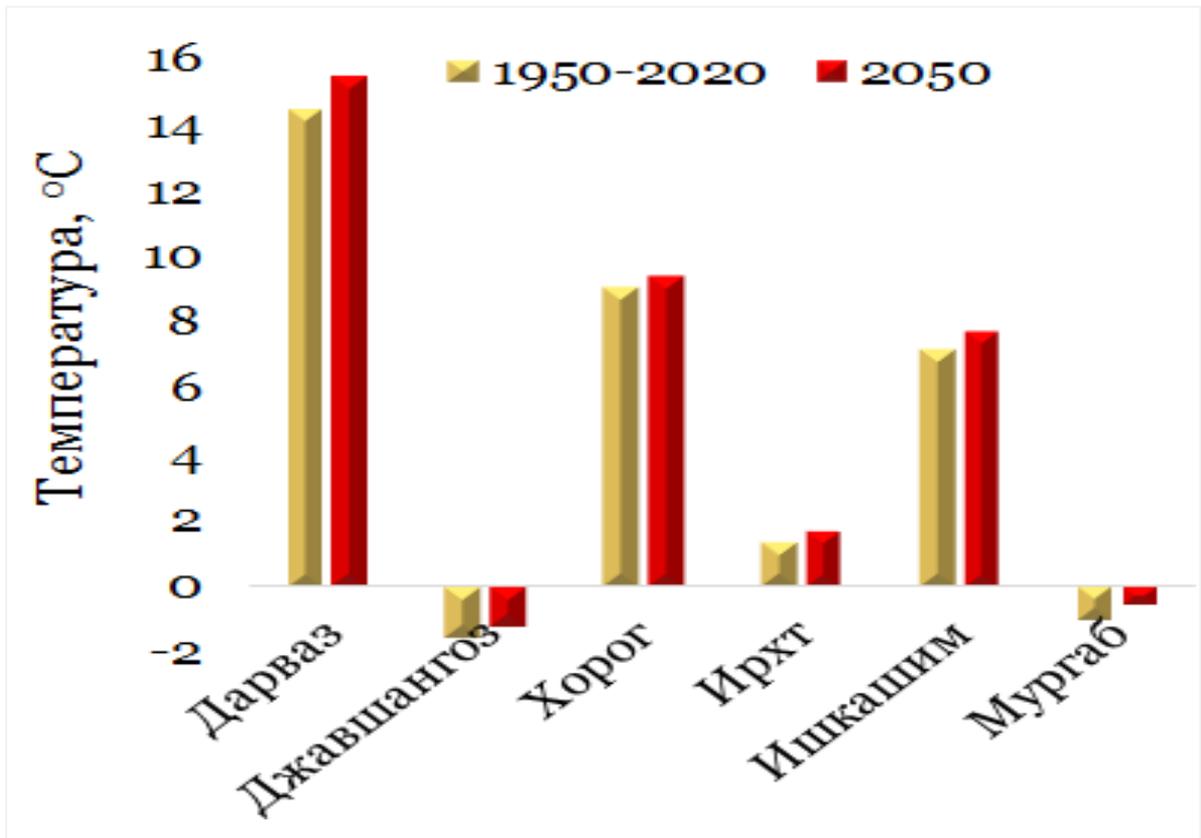
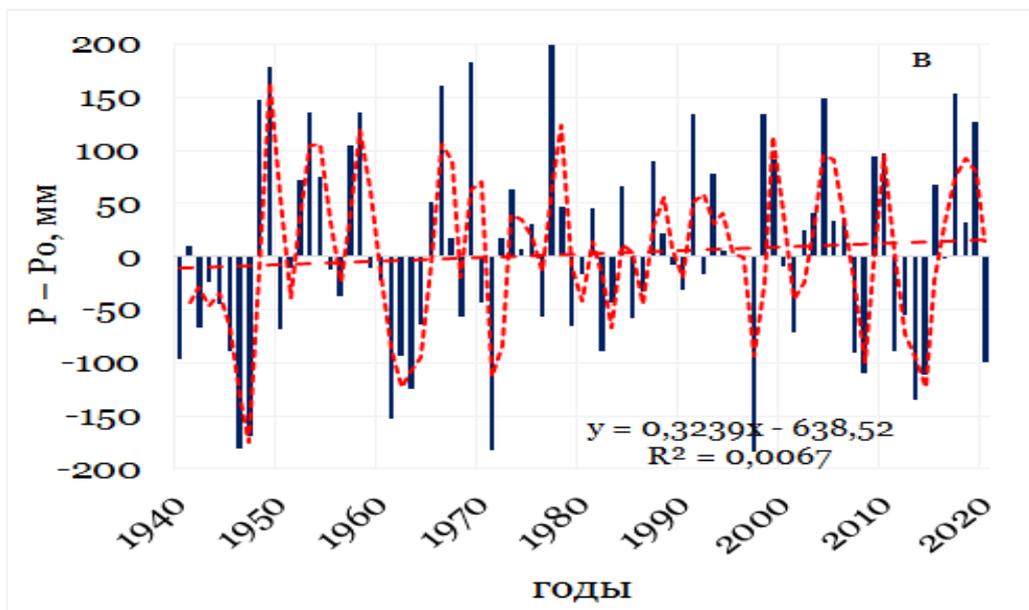
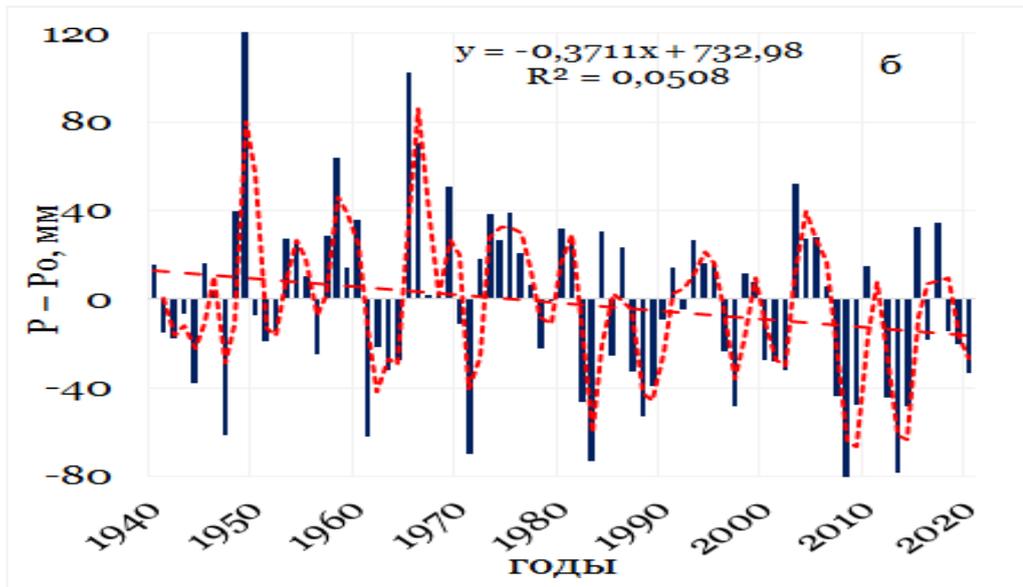
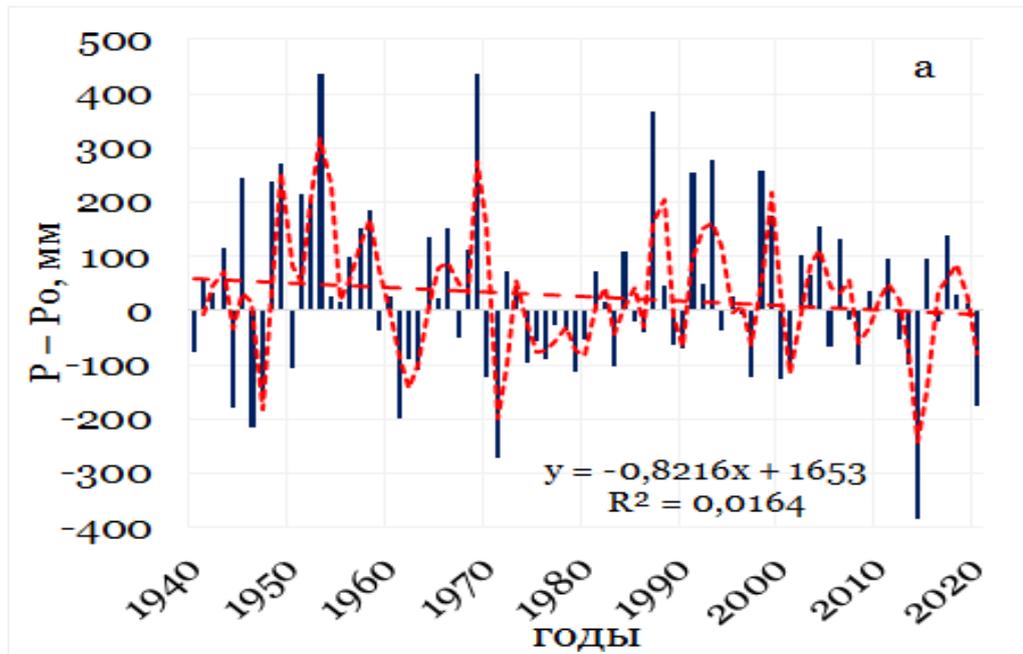


Рис 6. - Среднегодовое значение температуры бассейна реки Пяндж за период 1940-2020 гг и к 2050 г по данным метеорологических станций бассейна

3.2. Динамика изменения атмосферных осадков в климатических зонах бассейна реки Пяндж за период 1940-2020 гг

Естественно, что атмосферные осадки являются важным климатическим параметром, как и фактором влагообеспеченности бассейна р. Пяндж и водности рек.

Динамика изменения атмосферных осадков по данным метеостанций Дарваз, Хорог, Ишкашим, Ирхт, Джавшангоз и Мургаб бассейна реки Пяндж показывает ее неоднозначное поведение в разных климатических зонах благодаря наличию фактора влияния орографии горной местности на распространении воздушных масс (рисунке 7, а, б, в, г, д, е).



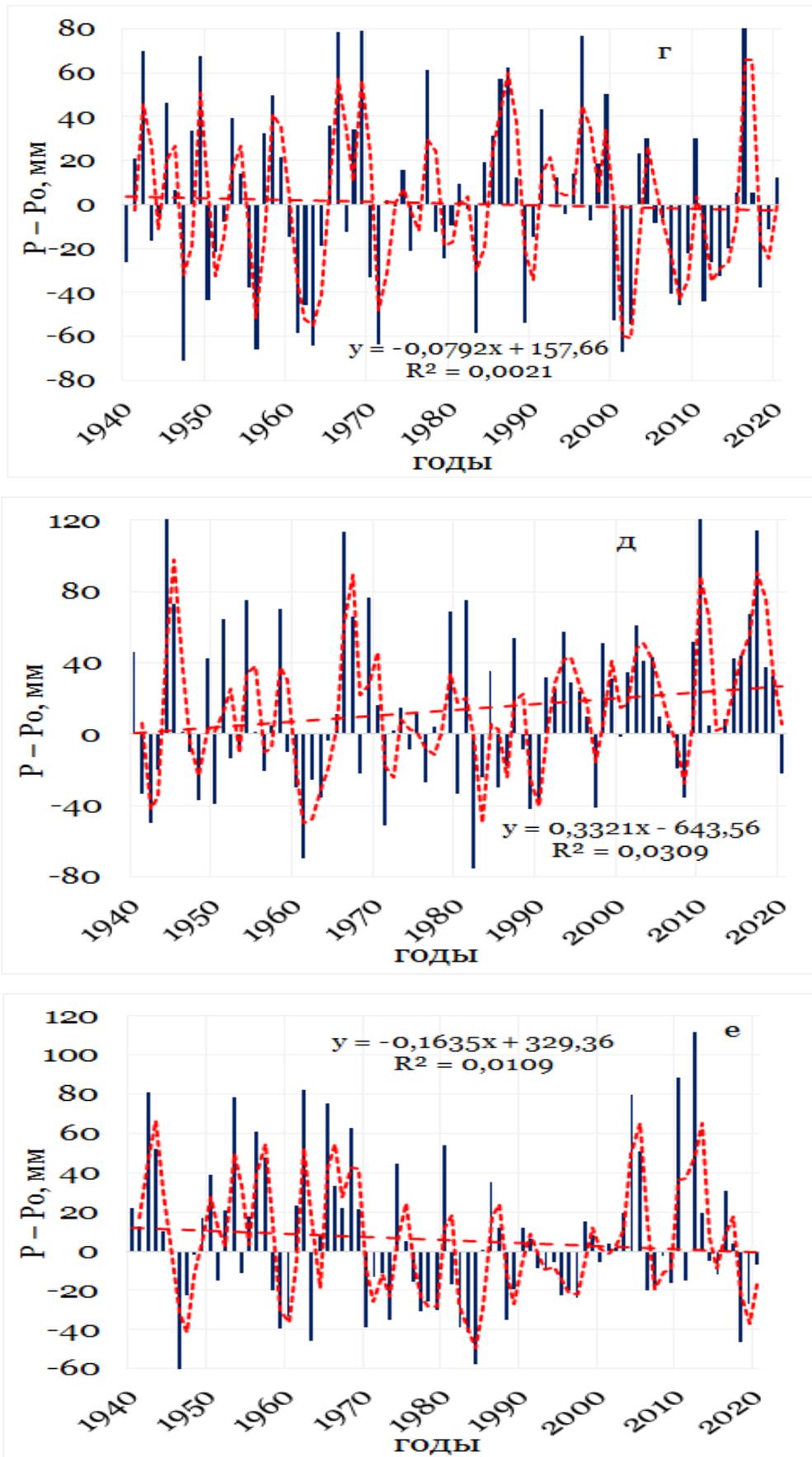


Рис 7. - Изменение атмосферных осадков в бассейне реки Пяндж за период 1940-2020 гг по данным метеостанций Дарваз (а), Джавшангоз (б) Хорог (в), Ирхт (г), Ишкашим (д) и Мургаб (е)

К 2050 году по данным метеостанций Дарваз, Ирхт и Джавшангоз происходит уменьшение количество атмосферных осадков на 3.8%, 2% и 7.7% соответственно, а по данным метеостанций Хорог, Ишкашим и Мургаб наблюдается увеличение осадков на 5.5%, 9% и 1% соответственно. В среднем к 2050 году по бассейну реки Пяндж прогнозируется увеличение атмосферных осадков на 0.9% по отношению к периоду 1950-2020 гг (рисунок 8).

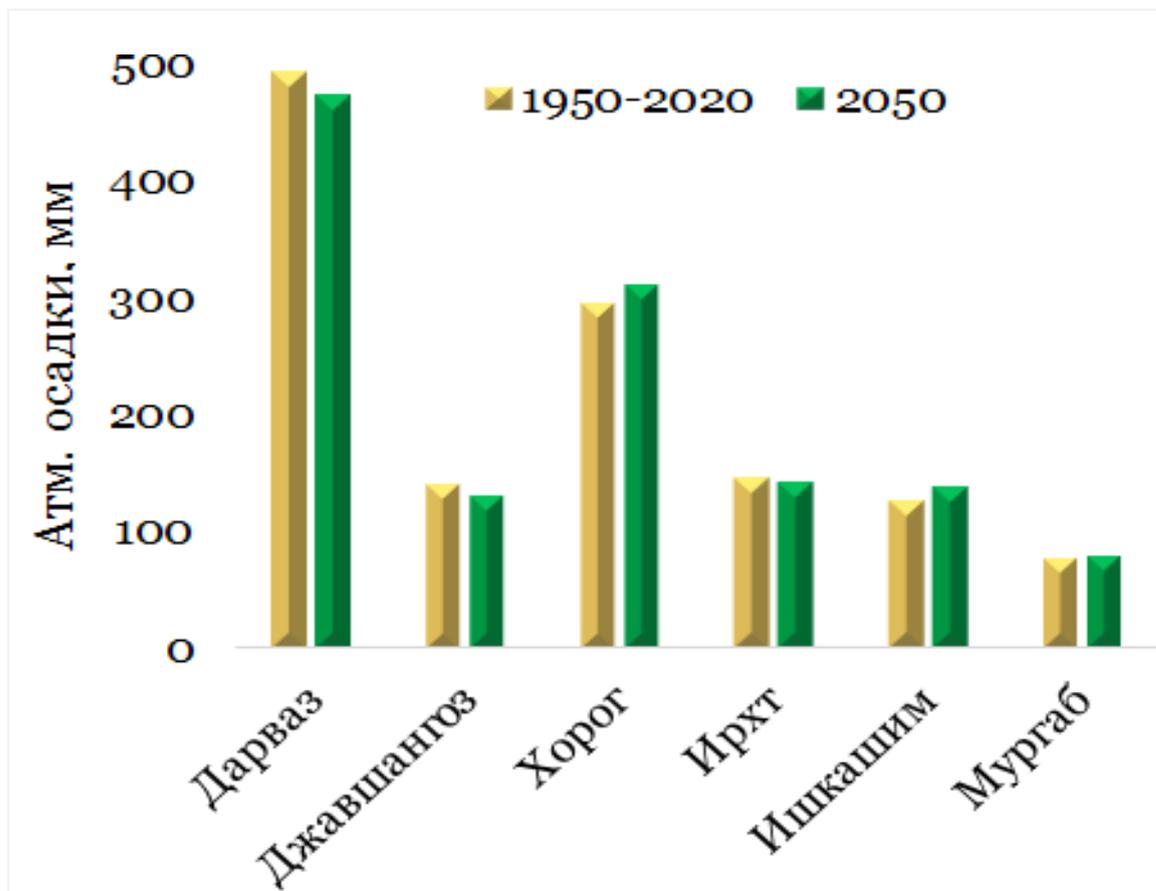


Рис. 8. - Среднемноголетнее значение атмосферных осадков бассейна реки Пяндж за период 1950-2020 гг и к 2050 г по данным метеорологических станций бассейна

В таблице 3. представлены среднемноголетние значения количества атмосферных осадков в Южном, Центральном, Западном и Восточном Памире за период 1934-1994 гг, и базисного периода 1960-1990 гг соответствующих зон по данным метеорологических станций.

Таблица 3.

Среднемноголетние значения атмосферных осадков по метеостанциям Памира за периоды 1940-2020 гг и 1960-1990 гг

Метеостанции/ Атмосферные осадки, мм	Д	Дж	Х	И	Иш	М
Высота, м.н.у.м	1279	3410	2077	3290	2600	3576
P(1960-1990гг)	469,10	144,57	280,81	147,24	114,13	73,06
P(1940-2020гг)	495,71	142,78	290,88	147,98	127,98	78,66
ΔP	26,61	-1,79	10,07	0,74	23,85	5,6

Д-Дарваз; Дж-Джавшангоз; Х-Хорог; И-Ирхт; Иш-Ишкашим; М-Мургаб

По данным метеостанции Дарваз, расположенной на границе южной и центральных зон Памира (таблице 3), вертикальный градиент составляет около 40 мм на 100 м поднятия, что свидетельствует о более влажных предгорьях и существовании широких котловин, имеющих открытый выход на запад, на встречу влажным воздушным потокам. По мере продвижения воздушного течения в глубь горной области и переваливания через хребты, влажный воздух конвертирует влагу и становится сухим. Это можно наблюдать по данным метеостанций Хорог, Джавшангоз и Мургаб, для которых вертикальные градиенты атмосферных осадков составляют, соответственно, 13,8 мм, 4,1 мм и 2,13 мм.

3.3. Пространственное распределение атмосферных осадков по климатическим зонам бассейна реки Пяндж

Разнообразие климатических условий Центральной Азии, закономерности изменения метеорологических процессов в зависимости от географических и геоэкологических особенностей региона приводят к необходимости климатического районирования. Территория Республики Таджикистан характеризуется четырьмя

климатическими зонами, три из которых принадлежат Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО), охватывающей почти весь горный Памир (рисунок 9).



Рис. 9. - Климатические зоны Республики Таджикистан и Горно-Бадахшанской автономной области: 1 – теплый континентальный климат; 2 – холодный полусухой климат; 3 – сухой холодный климат; 4 – теплый средиземноморский климат [101].

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), Ишкошим (2600 м), Мургаб (3576 м) и Шаймак (3840 м) за период 1950-2020 гг (рисунок 10) с применением статистических методов обработки (корреляции Пирсона и Спирмена) для определения тренда изменения исследуемых метеорологических параметров.

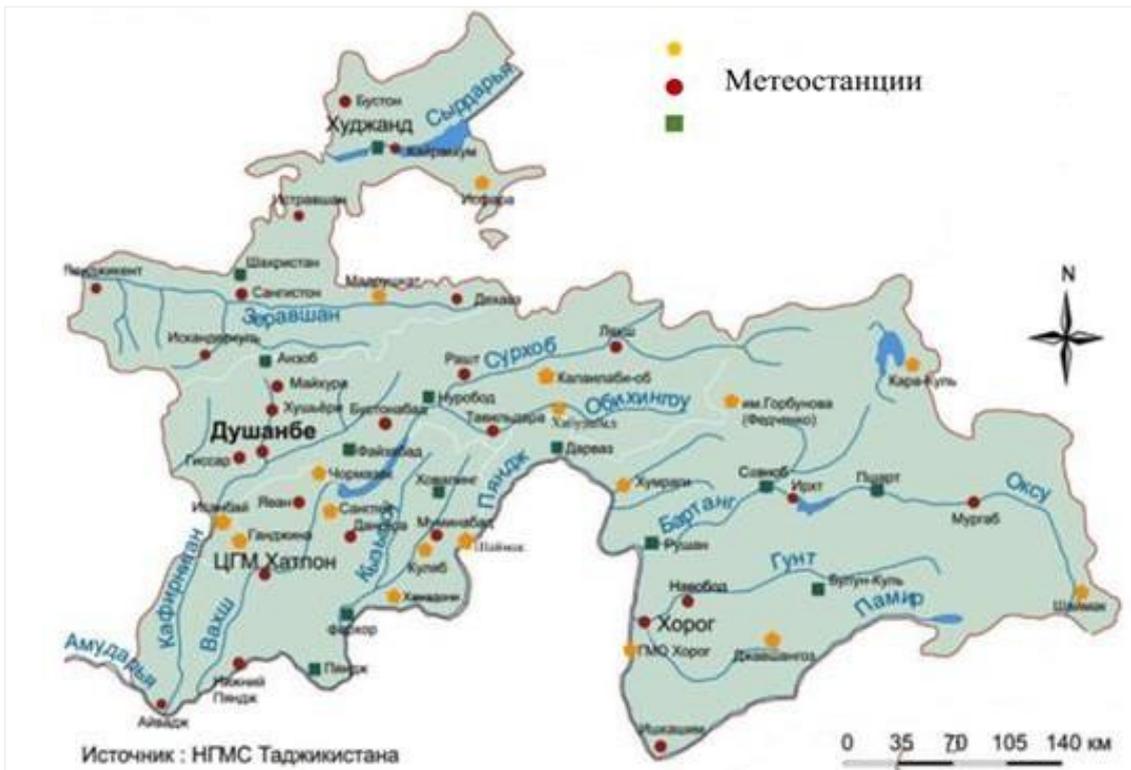
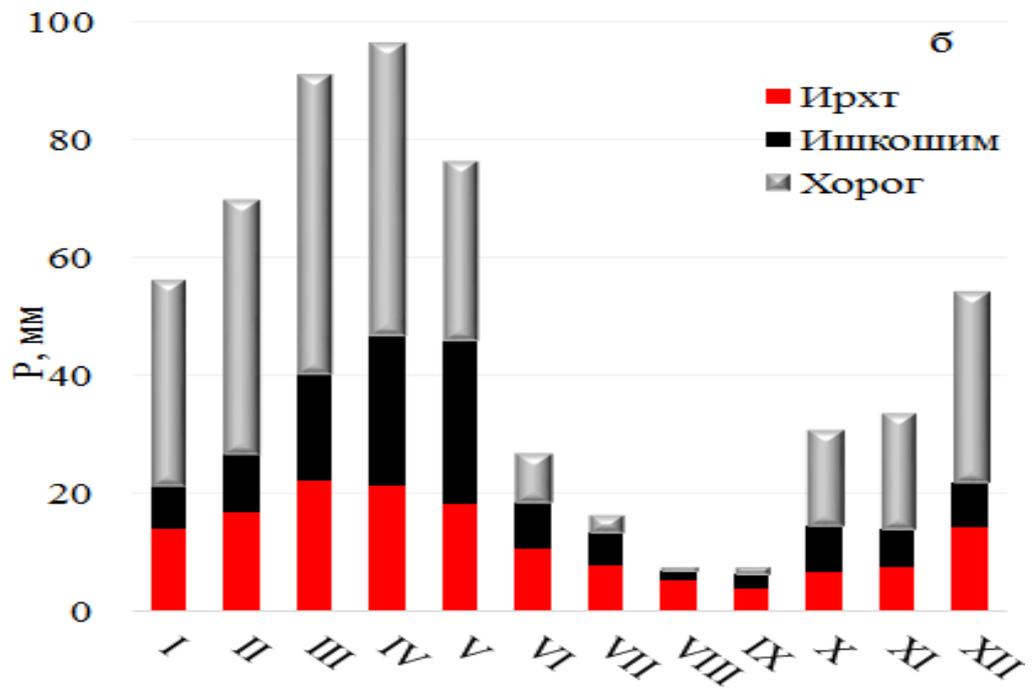
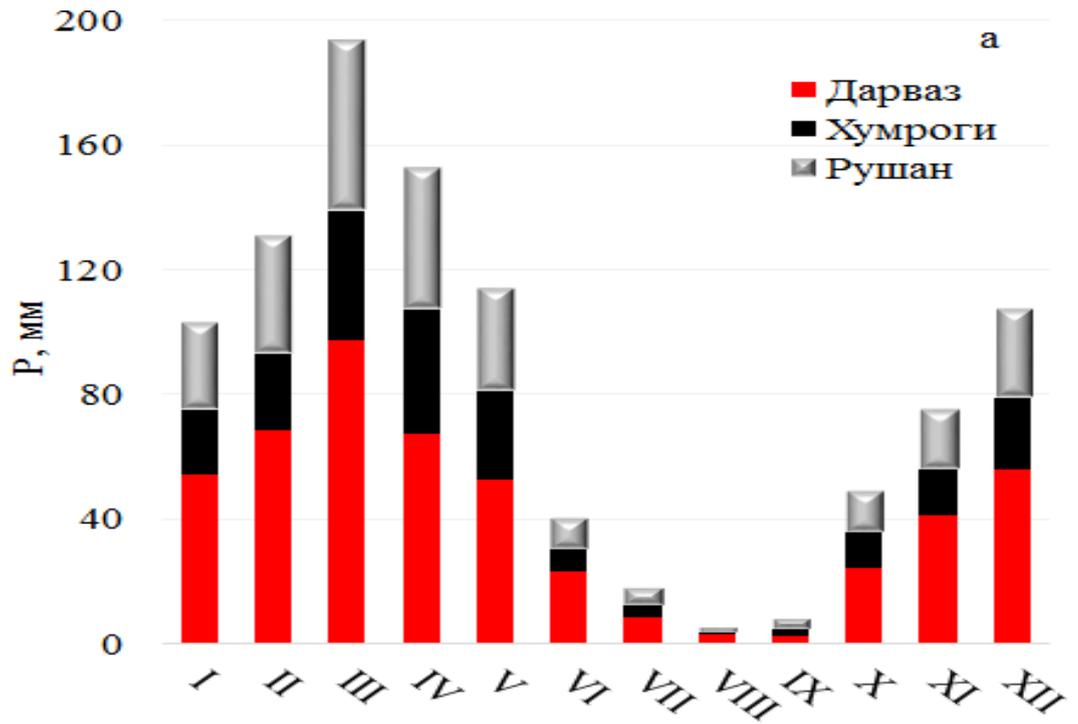


Рис. 10. Метеорологическая наблюдательная сеть Республики Таджикистан

Влажность воздуха океанического происхождения может переноситься на большие расстояния и может способствовать выпадению осадков в отдаленных местах. В условиях продолжающегося изменения климата взаимосвязь между источниками и поглотителями водяного пара постоянно меняется и играет важную роль в оценке водного бюджета [102].

Следует отметить, что поступление и распространение воздушных масс по террасам высокогорья имеет отличительные черты, обусловленные фактором влияния орографии горной местности. Высокие вершины гор в большинстве случаев становятся преградой в обеспечении удаленных территорий атмосферными осадками из-за трудности преодоления их влажной воздушной массой, благодаря которой каждая межгорная долина и впадина характеризуется своими локальными климатическими условиями. В качестве примера можно привести среднемесячных значений 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 (рисунки 11, а, б, в).



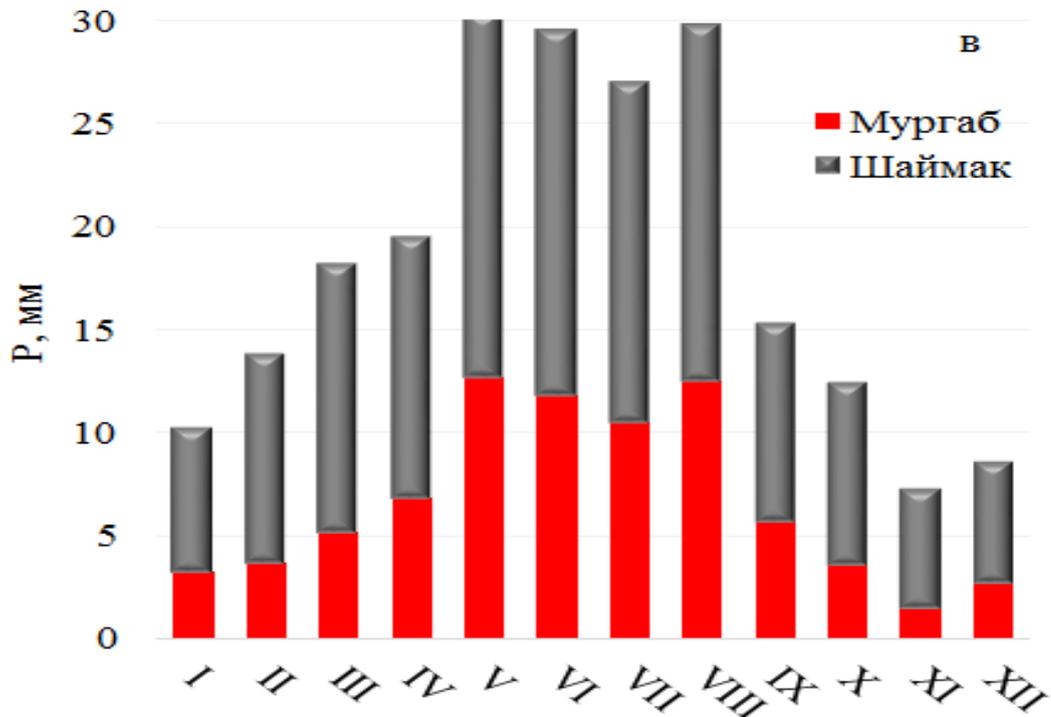


Рис. 11 - Многолетние среднемесячные атмосферные осадки в западной (а), центральной (б) и восточных частях (в) Памира

Из рисунка 11(а) следует, что, если на западном и центральном Памире обильное количество осадков приходится на весенний период с максимумами в март и апреле месяцах соответственно, то восточной части Памира максимум атмосферных осадков приходится на май-август месяцам.

Наблюдаемая картина на рисунка 11 (а, б) указывает на вклад западных воздушных масс с влагой Средиземноморья в обеспечении 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).

3.4. Количественное соотношение жидкой и конденсированных фаз в атмосферных осадках на верховье реки Пяндж

Очевидно, что водные артерии на высокогорном Памире целиком являются источниками водообеспечения трансграничной реки Амударья в регионе

Центральной Азии, включая двух ее главных притоков рек Вахш и Пяндж. В свою очередь, водные ресурсы рек являются источниками водоснабжения населения региона, орошения земель сельского хозяйства на которого приходится более 40% ВВП региона и производства электрической энергии на крупных гидроэлектростанциях как Нурекский ГЭС (3000 МВт) и ныне строящейся Рогунской ГЭС (3600 МВт).

В этом аспекте важно оценка доли снежного покрова в общем количестве осадков в бассейнах рек с целью определения динамики процессов формирования снежно-ледовых ресурсов и прогнозирования будущей сценарии водообеспечения рек.

На рисунке 12 приведены количественные значения глубины снежного покрова по отношению к атмосферным осадкам на метеорологических станциях Памира. Эти значения показывают, что на более низких высотах западного Памира (Дарваз, Хумроги) атмосферные осадки выпадают в основном в жидкой форме и небольшой по глубине снежный покров сохраняется недолго и с нарастанием высоты местности начинают преобладать осадки в твердой фазе (рисунок 12).

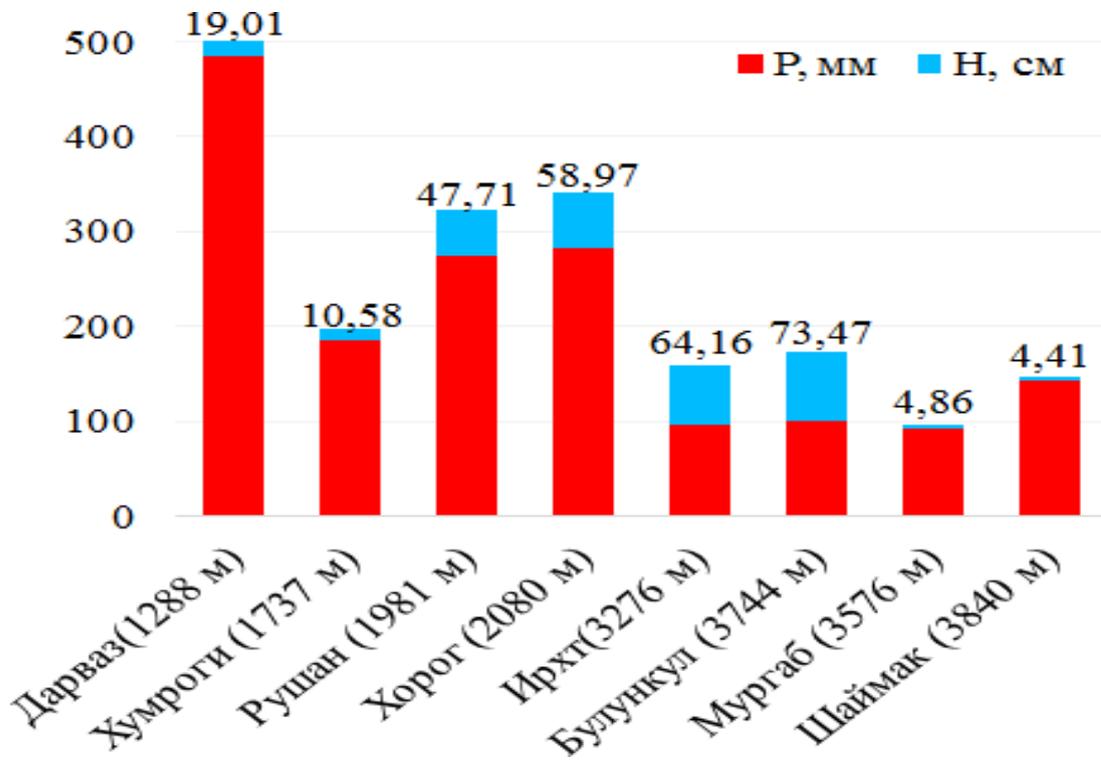


Рис. 12. - Доля среднегодовой глубины снежного покрова (h, см) от среднегодового количества осадков в западных, центральных и восточных районах Памира

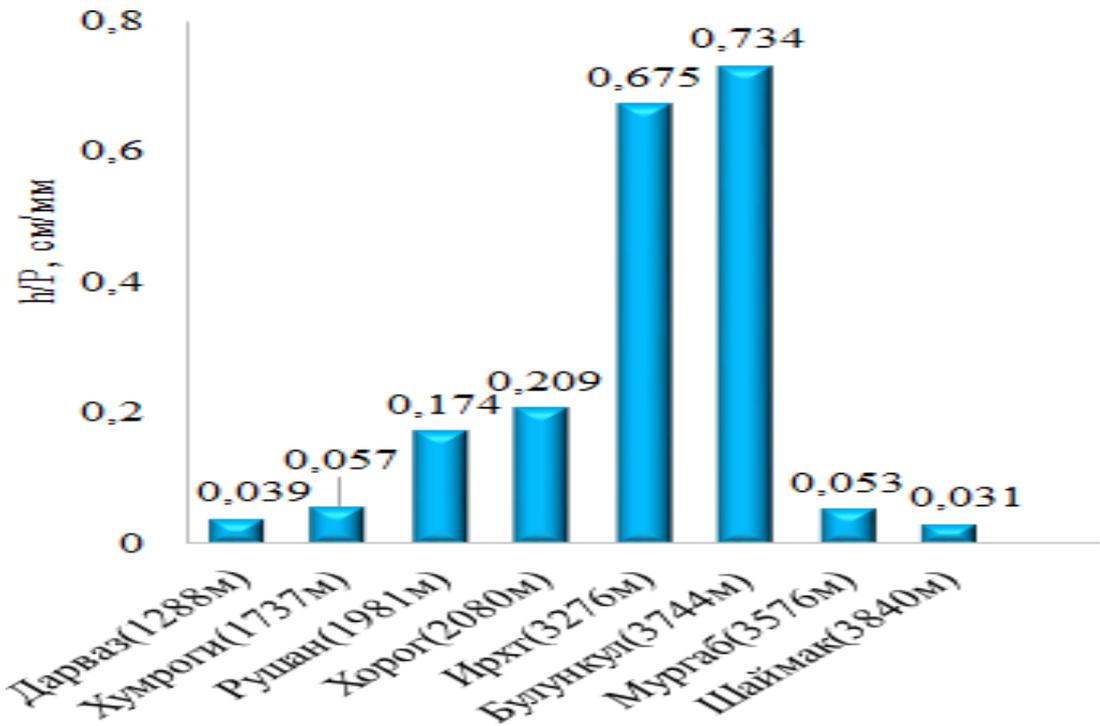


Рис. 13 - Изменение отношения среднегодовых значений глубины снежного покрова (h , см) к среднегодовым осадкам (P , мм) от высоты местности на западном, центральном и восточном Памире

Из рисунка 13 видно, что, хотя метеостанции Мургаб и Шаймак располагаются на достаточной высоте над уровнем моря, однако характеризуются не существенной глубиной снежного покрова. Метеостанции Мургаб и Шаймак находятся на Восточном Памире, где среднегодовое количество атмосферных осадков ничтожно мало (меньше 100 мм/год). Как было отмечено выше это обусловлено, тем, что высокие хребты горных систем центрального Памира становятся преградой в проникновении влажных западных воздушных масс из Средиземноморья в восточную часть.

На более низких высотах снежный покров в горах в целом сократился по продолжительности (в среднем на 5 дней за десятилетие, с вероятностью от 0 до 10 дней за десятилетие [102].

Изменения снежного покрова на меньших высотах в основном обусловлены увеличением количества осадков, выпадающих в виде жидкости (дождя), и увеличением таяния на всех высотах из-за изменений атмосферных воздействий, особенно повышения температуры воздуха [103,104].

В последнее время актуальной стала проблема влияния различных примесей и загрязняющих веществ атмосферного происхождения на процесс таяния снежного покрова [105], что связано с светопоглощающими частицами, которые включают в себя осажденные аэрозоли, такие как сажа, органический углерод и минеральная пыль [106]. Из-за их сезонно изменяющегося потока и воздействия осажденных на снежном покрове аэрозолей, а также эпизодического характера в случае осаждения пыли [107,108], светопоглощающие частицы способствуют межгодовым колебаниям скорости сезонного таяния снега [109]. Увеличение осаждения черного углерода из антропогенных источников и источников сжигания биомассы способствовало снижению снежного покрова в Высокогорной Азии [110,111] и Южной Америке [112].

Таким образом, установлена определенная последовательность проявления сезонов с максимальным количеством осадков в западной (весной), центральной (поздней весной) и восточной (летом) части Памира, что свидетельствует о преобладании западных воздушных масс и ослабление его влияния по мере передвижения в восточные части Памира, благодаря влиянию горной орографии. Обнаружено, что отношение глубины снежного покрова к общему количеству на больших высотах является преобладающим. На более низких высотах западного Памира (Дарваз, Хумроги) атмосферные осадки выпадают в основном в жидкой форме, а при выпадении осадков в виде снега формируемый снежный покров характеризуется небольшой глубиной с коротким периодом существования.

3.5. Изотопные (^2H , ^{18}O) методы для определения источников поступления влажных воздушных масс и атмосферных осадков в бассейнах рек

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 формирования атмосферных осадков. Например, согласно [113] западный поток из Северной Атлантики и Северного Ледовитого океанов связан с водяным паром, обедненным ^{18}O , в то время как муссонный перенос на восток из тропического Индийского

океана, Южно-Китайского моря и Восточной Азии связан с водяным паром, обогащенным ^{18}O .

Следует отметить, что осадки вблизи Средиземного моря и других морей, граничащих с сушей (Аральское море, Каспийское море, Черное море), характеризуются более высоким d-эксцессом (20‰) [114]. Очевидно, что эта влага может привести к более высокому d-эксцессу в местных осадках и, следовательно, в речной воде.

На рисунке 14 представлены результаты исследования изотопного состава рек западного и центрального Памира между 70° до 71.1° восточной долготы на высотах 1075-1525 м н.у.м. Из рис.3.10 видно, что изотопный состав рек ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) изменяются в пределах $-11,5\text{‰}$ — $-15,05\text{‰}$ и $-73,68\text{‰}$ — $-102,67\text{‰}$ с взаимной зависимостью $\delta^2\text{H} = 8,5593\delta^{18}\text{O} + 25,719$ ($R^2 = 0,9856$). Из рек расположенные на высотах 1075-1525 м н.у.м. трудно ожидать обильного испарения, однако континентальность климата и сухость атмосферы в летний сезон приводят к некоторым локальным испарениям из рек, о чем свидетельствует близко к ГМВЛ расположенные точки рассеяния изотопных значений.

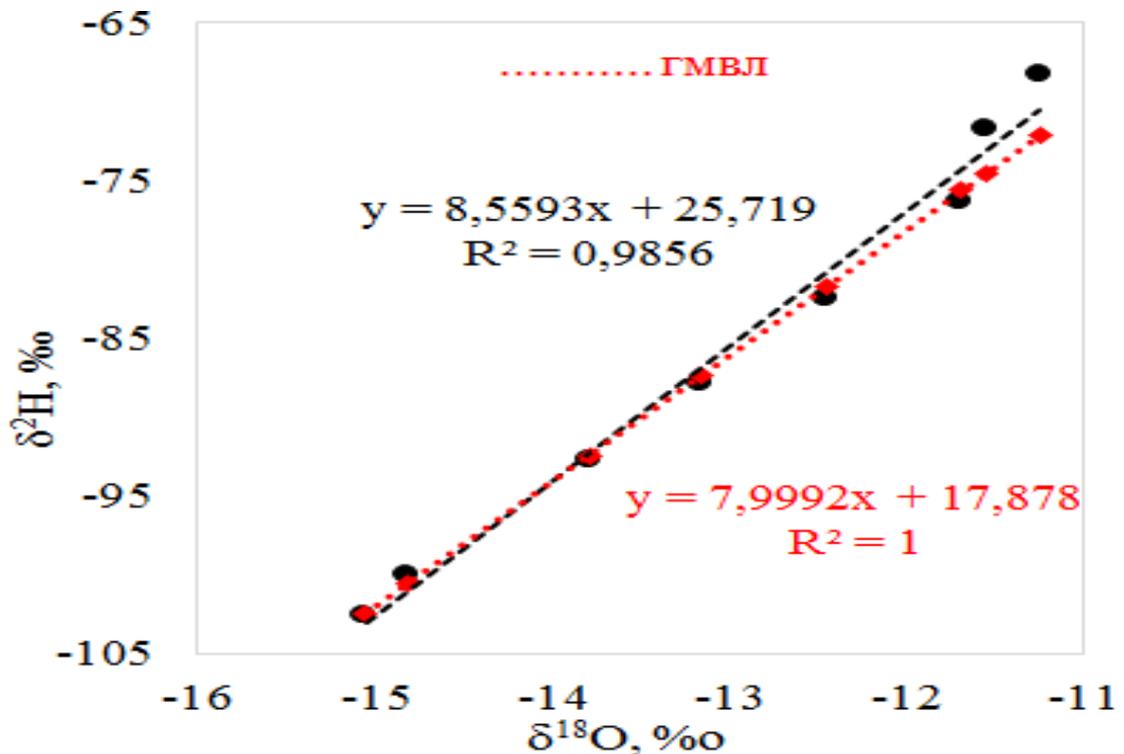


Рис. 14. - Линейная зависимость между $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в речных водах западного и центрального Памира по сравнению с Глобальной метеоритной водной линии (ГМВЛ)

Другим важным параметром изотопного состава вод, связанного с изотопным фракционированием при испарении воды и несущего информацию о климате в регионе. источника влаги, является d-эксцесс, который имеет среднее значение около 10 в глобальных осадках. Как было показано выше, на западном и центральном Памире летом выпадает мало осадков и основным источником водоснабжения рек становится талая вода ледников. Для рек западного и центрального Памира нами были обнаружены высокие значения d-эксцесса и линейная положительная связь с высотой (рисунок 15).

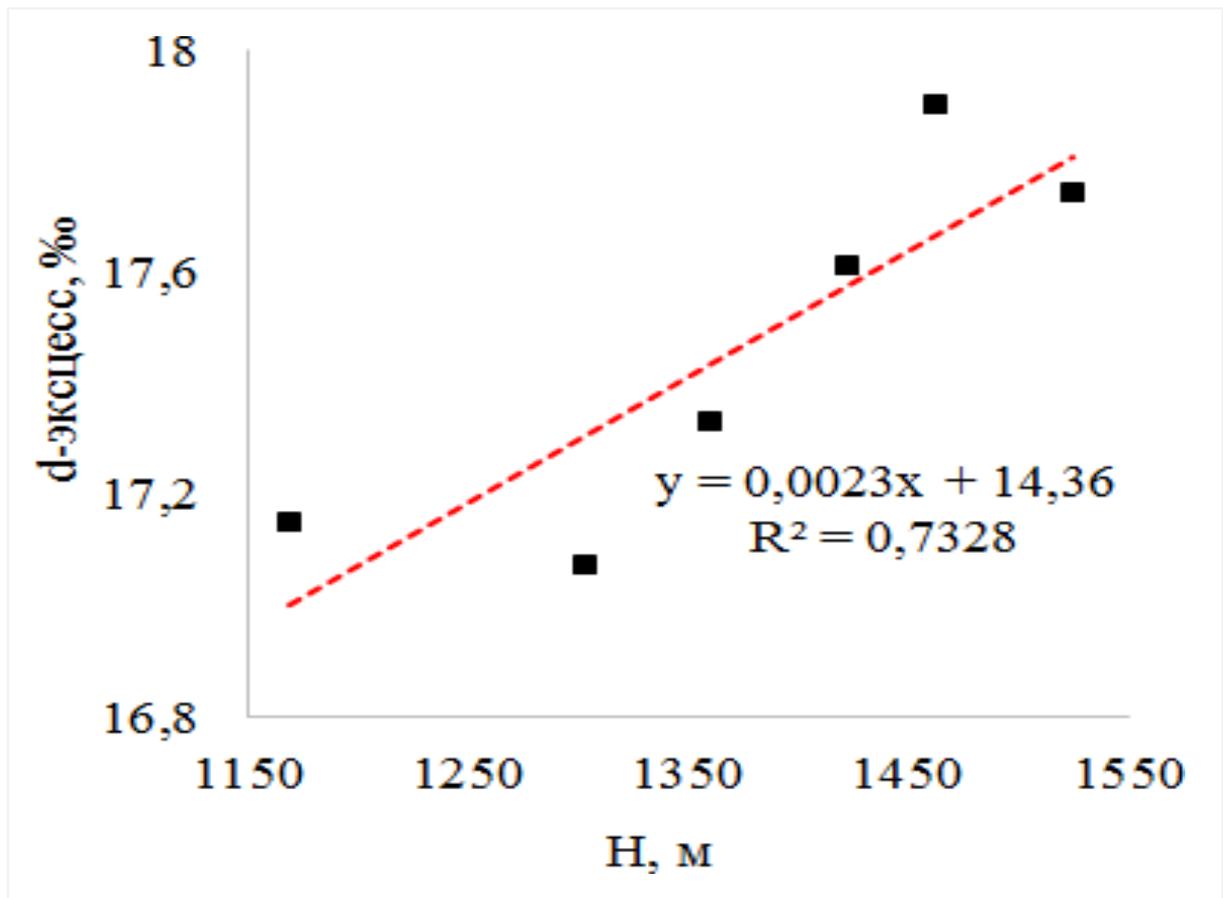


Рис. 15. - Связь между d-эксцесса рек западного и центрального Памира от высоты

Уменьшение $\delta^{18}\text{O}$ с увеличением высоты характеризует пространственное изменение осадков между 70° и $71,3^\circ$ восточной долготы. Высота отбора проб варьируется в диапазоне от 1075 м до 1525 м н.у.м (таблице 4), при этом соответствующие значения $\delta^{18}\text{O}$ в речной воде варьируются от $-11,6\text{‰}$ при 70°E до $-15,1\text{‰}$ при $71,3^\circ\text{E}$. Связь между $\delta^{18}\text{O}$ и d_{exc} речной воды с высотой является значительной, с общей корреляцией $\delta^{18}\text{O} = -0,0084h - 1,974$ ($R^2 = 0,94$) и $\delta^2\text{H} = -$

$0,0691h + 4,153$ ($R^2 = 0,957$). Из рисунка 16 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.

Таблица 4.

Название рек, координаты и высоты их расположения над уровнем моря

№	Река	Координаты		Высота, м н.у.м
		N	E	
1	Язгулем	38.15277	71.33961	1525
2	Панджоб	38.30404	71.32921	1470
3	Вишихарв	38.36883	71.17133	1425
4	Курговород	38.40704	71.13806	1360
5	Вишхарв	38.47681	71.01158	1305
6	Обихумбод	38.46652	70.77991	1170
7	Чорчаман	38.41115	70.66496	1105
8	Шкев	38.34784	70.60146	1075

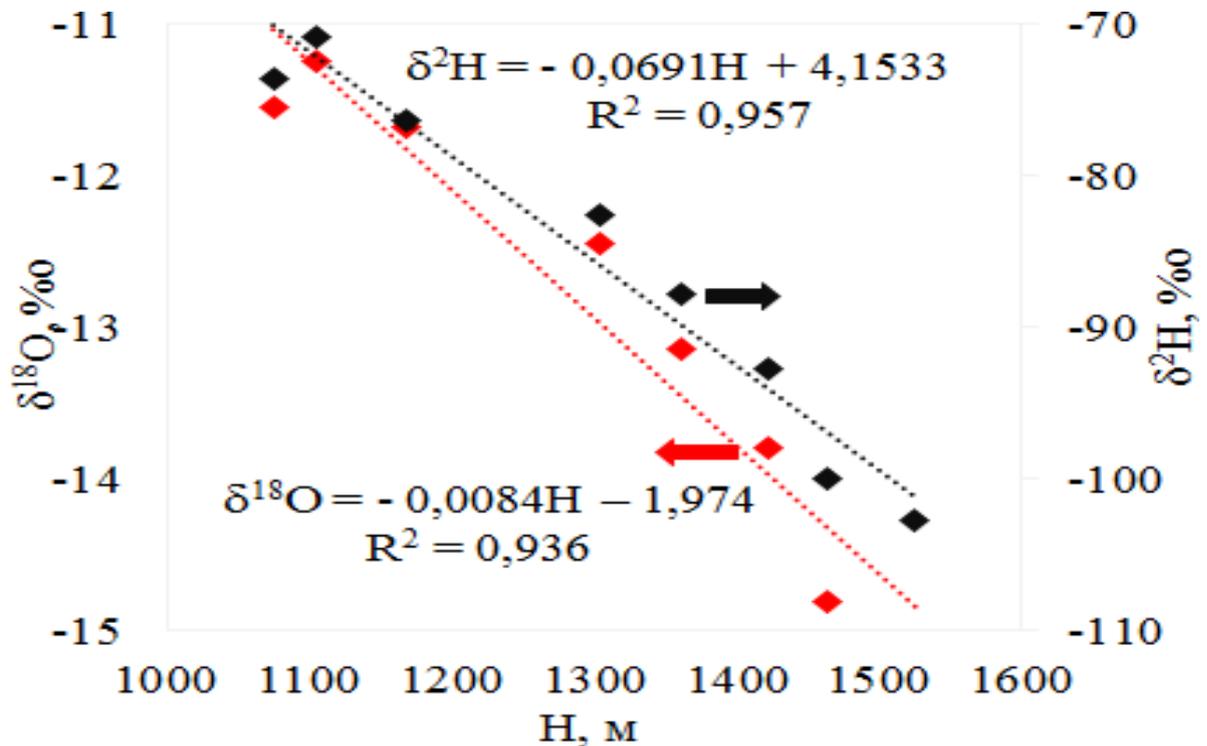


Рис. 16. - Зависимость содержания изотопов ^{18}O , ^2H в речных водах западного и центрального Памира от высоты отбора проб воды

Главные факторы, влияющие на величину d_{exc} являются неперенное существование во всех агрегатных состояниях воды изотопов ^2H , ^{18}O в молекулярном виде, т.е. в виде молекулы H_2O . При этом молекулы, содержащие атом ^{18}O , тяжелее тех, которые содержат атом дейтерия, и они в первую очередь выпадают при конденсации, способствуя росту избытка дейтерия в последующих порциях осадков. Содержание более тяжелых молекул H_2^{18}O превышает содержание более легких молекул HDO в различных агрегатных состояниях воды в 10–20 раз. Это ведет к более выраженному обеднению тяжелыми молекулами H_2^{18}O пара в облаках при затяжных осадках и соответственно к все более заметному присутствию в последующих порциях осадков легких молекул HDO [115,116].

Изотопы O, H ни в каких агрегатных состояниях воды (жидкая вода, пар, снег, лед) не содержатся в виде отдельных атомов. Все они связаны между собой в виде молекул H_2O . При этом молекулярная масса молекулы, содержащей 1 атом дейтерия HDO , равна 19 а.е. м (атомным единицам массы), а молекулярная масса молекулы, содержащей тяжелый H_2^{18}O , равна 20 а. е. м. На самом деле при конденсации пара на изменение температуры в первую очередь будут реагировать (и соответственно конденсироваться) молекулы, содержащие атом ^{18}O , а не те, которые содержат атом дейтерия. При последовательной конденсации из влажной воздушной массы происходящей при снижении температуры, в первую очередь будут выпадать молекулы, содержащие тяжелый кислород, и соответственно облако будет неуклонно обогащаться молекулами пара, содержащими дейтерий. Поэтому в последних порциях конденсата из влажной воздушной массы относительное содержание дейтерия будет значительно выше, чем в начальном конденсате, т.е. дейтериевый эксцесс будет в каждой последующей порции осадков увеличиваться по сравнению с исходным изотопным составом. А если вспомнить, что в паре молекул, содержащих тяжелый O, в 8–10 раз больше, чем молекул, содержащих дейтерий, то этот эффект становится еще более контрастным [116].

Точки рассеяния значений изотопов для изученных рек Памира располагаются вплотную к ГМВЛ, что связано с тем, что летом в западной и центральной части Памира выпадает мало осадков, а талая вода ледников обеспечивает основное

водоснабжение рек, которое характеризуется незначительной степенью фракционирования.

Для рек западного и центрального Памира нами была обнаружена обратная тенденция между пространственным d_{exc} с высотой. Высокие его значения дают основание утверждать, что основным источником атмосферных осадков на западном и центральном Памире является влага из Средиземноморья, переносимая западными воздушными массами.

3.6. Состояние водных ресурсов притоков реки Пяндж-рек Гунт и Ванч в условиях изменения климата

В формировании водного стока трансграничной реки Пяндж существенный вклад вносят реки Гунт и Ванч с развитой территорией оледенения на Памире, где наблюдается смена влажных средиземноморских осадков на сухой центрально-азиатский. Вполне естественно, что формирование основных характеристик основного стока реки является результатом отпечатка параметров ее притоков с доисторическими метеорологическими условиями и состоянием источников их питания (лед, снег-лед, дождь и др.). Мониторинг гидрологических характеристик притоков реки и метеорологических условий их бассейнов и, таким образом, создание базы достоверных данных о метеорологических условиях речного бассейна, гидрологических параметрах являются залогом для реального планирования перспективы развития отраслей экономики.

Река Гунт с истоком реки Аличур крупный приток трансграничной реки Пянджа с длиной 246 км и площадью бассейна 14840 км².

Река Ванч является одной из притоков трансграничной реки Пяндж длиной 103 км и площадью бассейна 2070 км². В формировании метеорологических условий бассейна реки всецело доминируют воздушные массы Средиземноморских и Каспийских циклонов. Отличительной особенностью реки заключается в том, что в образовании ее водного стока заметное место занимают подземные воды, продиктованные геологическим строением и распространением в бассейне водопроницаемых пород. Истоком реки считается талые воды из ледника Географического общества (более 60%) на верховье реки с площадью бассейна 206 км². Ныне на верховьях притоков реки Пяндж происходит интенсивное таяние ледников. По данным спутниковых изображений только за период 1960-2000 гг площадь оледенения бассейна реки Пяндж сократилось на более 30%, а в бассейне

реки Ванч на более 20%. В условиях изменения климата такая тенденция будет продолжаться и это отражается естественно на водности соответствующих рек.

На рисунке17 приведена изменение климатических параметров в бассейне реки Гунт. Из рисунка17 видно, что за период 1940-2020 гг температура в бассейне реки характеризуется почти постоянным трендом при незначительном увеличении динамики атмосферных осадков. При этом как представлено на рисунке18 расход воды реки Гунт характеризуется убывающим трендом.

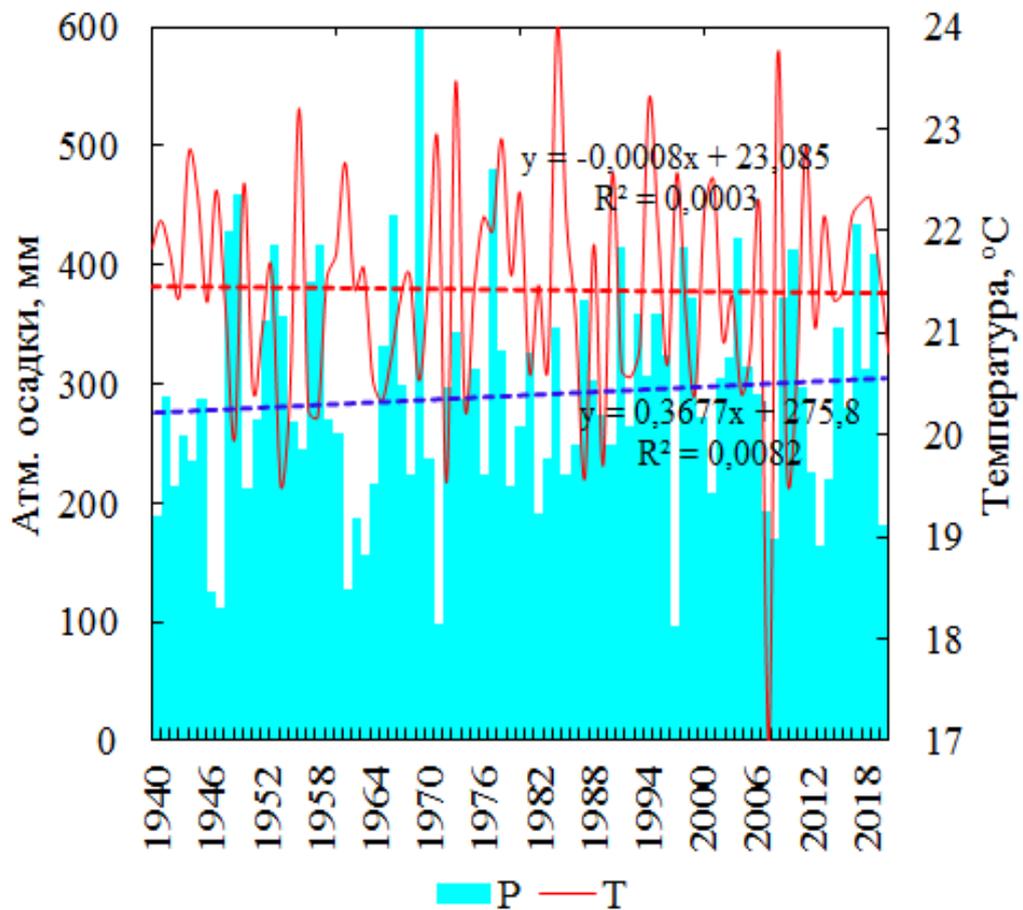


Рис.17. Динамика температуры и атмосферных осадков в бассейне реки Гунт за период 1940-2020 гг

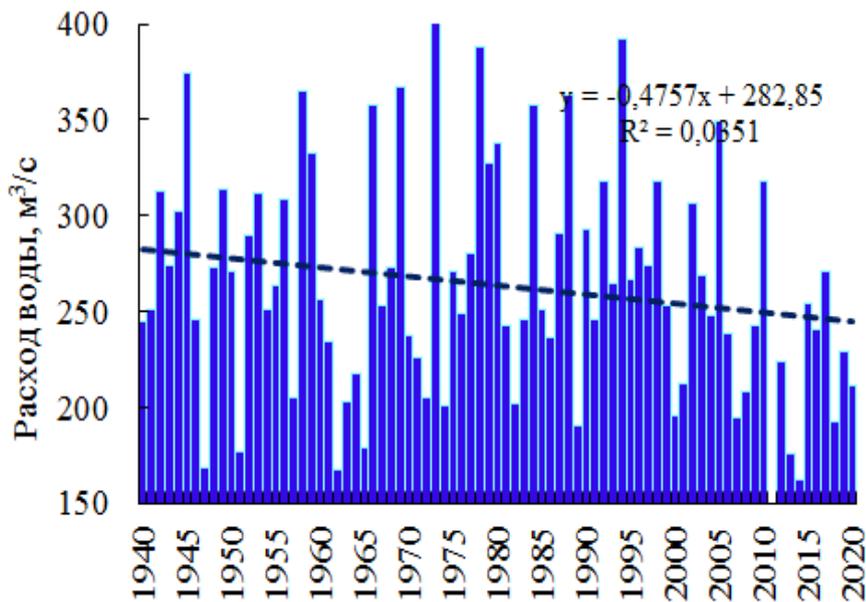


Рис.18. Изменение расхода воды реки Гунт за период 1940-2020 гг

Для выяснения зависимости стока реки Гунт от метеорологических характеристик бассейна, изучались корреляционные зависимости, результаты которых представлены на рисунке 19.

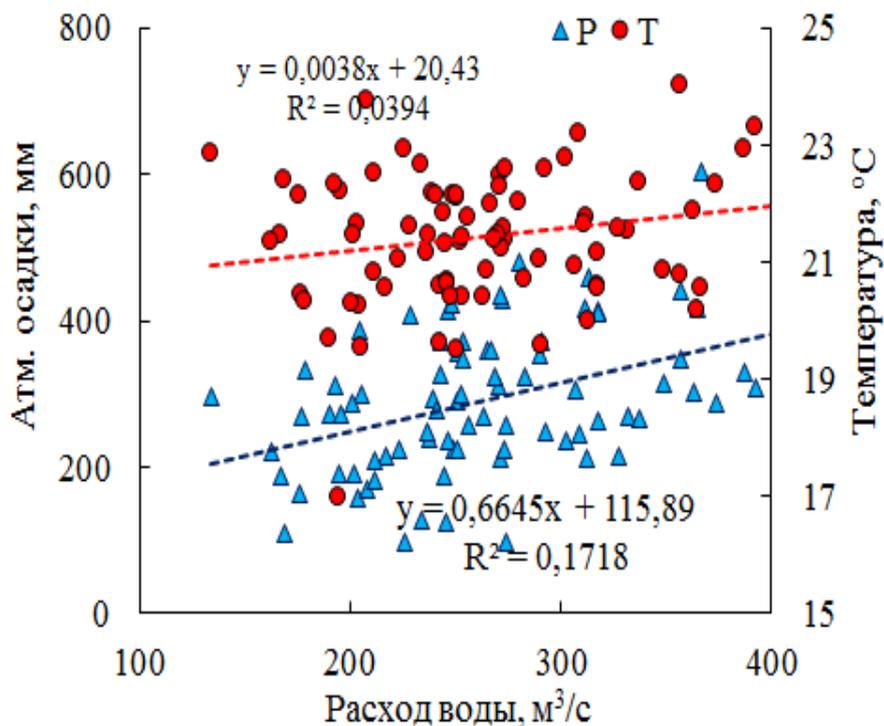


Рис.19. Корреляционная зависимость расхода воды реки Гунт от температуры и атмосферных осадков бассейна

Как следует из рисунка 19 взаимная зависимость расхода воды реки Гунт и метеорологических параметров хотя слабая, однако характеризуется положительным трендом. Согласно [4] общий вклад таяния ледников в годовой сток р. Гунт (Южный Памир) составляет 30 %, в то время как в [Identifying changing snow ... , 2014]

утверждается, что вклад количественного отступления ледников – $10\pm 4\%$ годового стока реки. В [83] отмечается тенденция к значительному возрастанию стока р. Гунт с конца 1950-х гг., что не соответствует действительности, поскольку, как видно из рис. 3, сток и после 1950 г. сохраняет убывающий тренд. Сделано предположение, что площадь оледенения бассейна реки подвержена сильной деградации и питание реки осуществляется за счет снежного покрова и ледникового стока раздробленных ледников, т. е. при отсутствии прямой связи реки с ледником [104].

Как показали наши обобщения, уменьшение среднегодового расхода воды реки Гунт по отношению к многолетним значениям началось в районе 80-х годов прошлого века (рисунок 20).

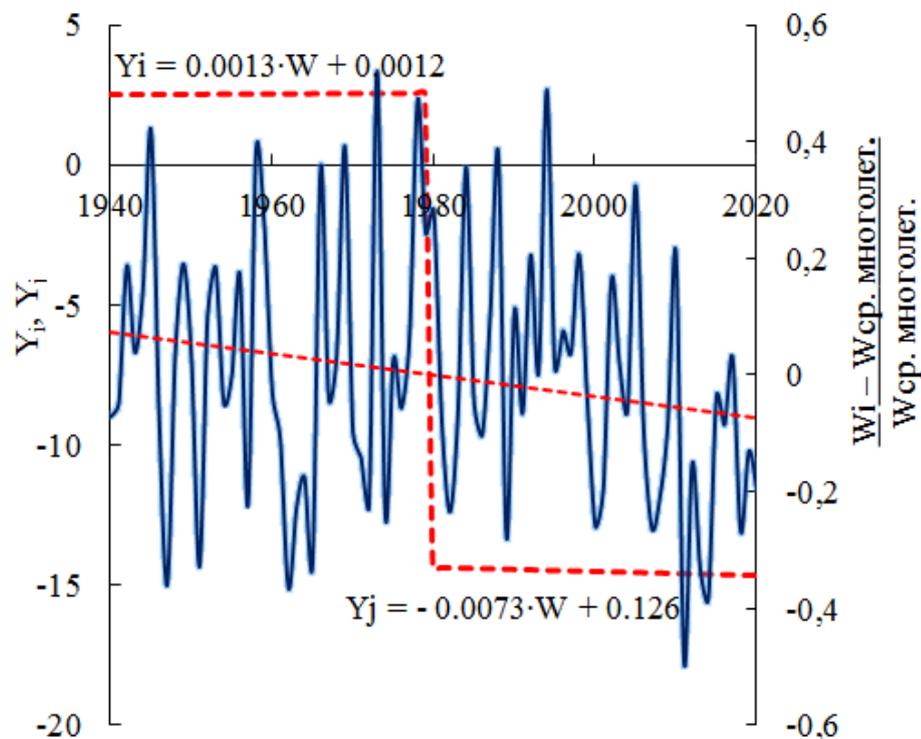


Рис.20. Соотношение среднегодовых к многолетнему значению расхода воды реки Гунт

Горная орография водосборной территории реки Пяндж и ее притоков приводит к тому, что бассейн отдельно взятой реки характеризуется индивидуальными метеорологическими условиями и обусловленное этим разное состояние оледенения, биоразнообразия и геоэкологических экосистемами. Следовательно, это показывает, что проведением геоэкологического мониторинга состояния экосистемы одного бассейна нельзя проводить обобщение по остальным суббассейнов района. Примером тому можно привести динамику стока двух горных рек Гунта и Ванча одного и того же бассейна реки Пяндж.

Как видно из рисунка 21 динамика расхода воды этих двух рек имеет совершенно противоположный характер. Наблюдаемое увеличивающийся тренд

расхода воды реки Ванч можно объяснить в рамках предположения, согласно которому источник питания реки (ледник) в результате потепления подвержен деградацию и представляет не плотную, а разрыхленную структуру. Для таких структур достаточно небольшое воздействие, чтобы осуществить агрегатное превращение. На основании полученных результатов можно утверждать, что ледниковое составляющее верховья реки Ванч подвержено существенному сокращению.

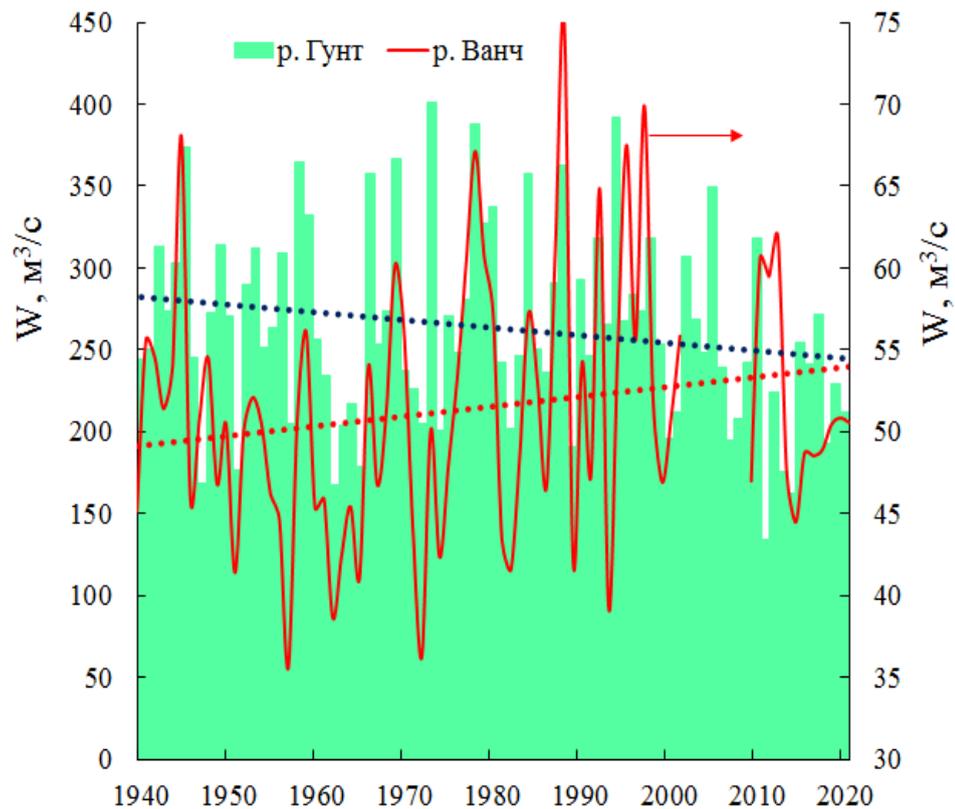


Рис.21. Динамика расходов воды рек Гунт и Ванч за период 1940-2020 гг

На рисунке 22 и рисунке 23 представлены результаты мониторинга температуры и атмосферных осадков в бассейнах рек Гунт и Ванч.

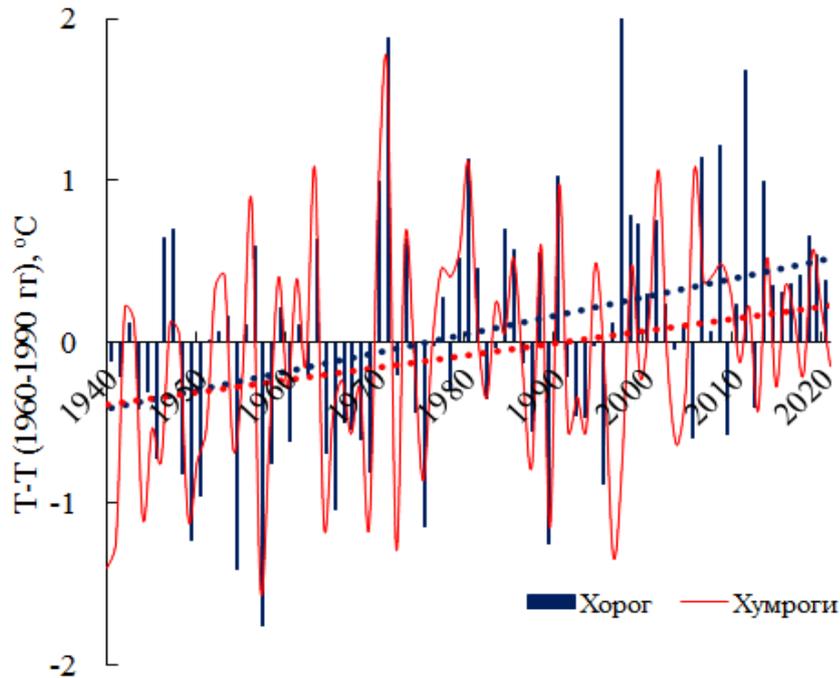


Рис.22. Динамика температуры в бассейнах рек Гунт и Ванч относительно базисного периода (1960-1990 гг) за период 1940-2020 гг

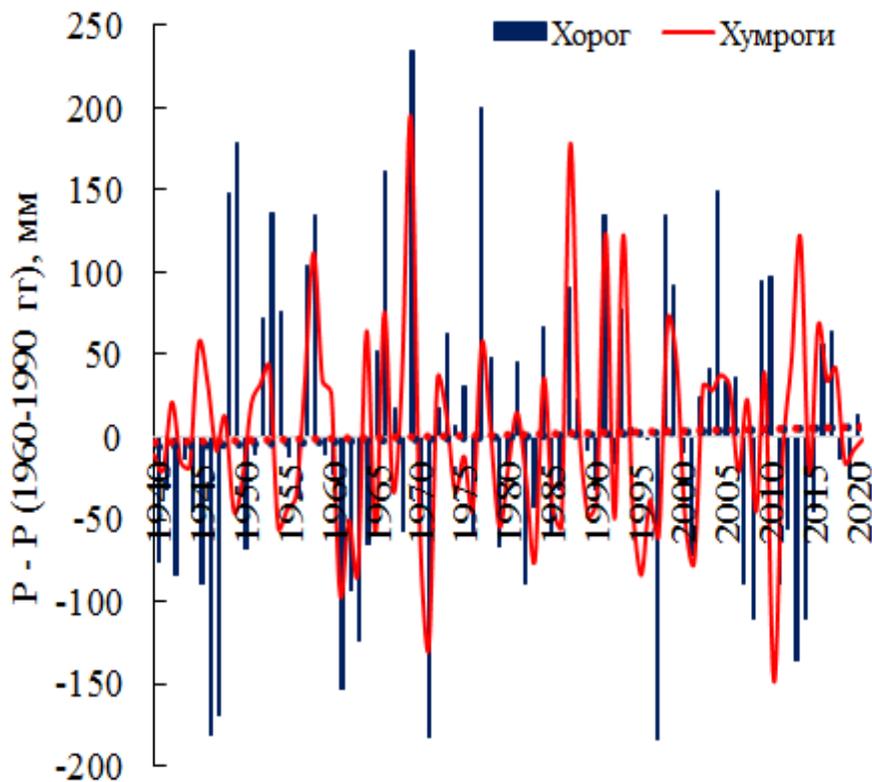


Рис.23. Динамика атмосферных осадков в бассейнах рек Гунт и Ванч относительно базисного периода (1960-1990 гг) за период 1940-2020 гг

Как следует из рисунка 22 и рисунка 23 динамика как температуры, так и атмосферных осадков в бассейнах Гунт и Ванч характеризуется идентичными тенденциями. Следовательно, можно предположить, что температура и осадки в характере совершенно разных динамик стока рек малозначимы.

ГЛАВА 4. ФОРМИРОВАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ ВДОЛЬ РУСЛА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ПЯНДЖ (ТАДЖИКИСТАН)

4.1. Выветривание горных пород и формирование химического состава реки Пяндж

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. Основное отличие атмосферных от остальных видов природных вод является 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 присущие составу водоносных пород того или иного района.

Изменением температуры атмосферного воздуха и связанное 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. Здесь мы коснемся влияния на химию природных вод температуры воздуха как метеорологического фактора, воздействующего прежде всего на поверхностные водоемы [117]. Под воздействием процессов Метаморфизм химического состава воды при промерзании приводит тому, что между льдом и промерзающим раствором происходит перераспределение солей и избирательное поступление химических компонентов в лед. В лед соли поступают избирательно. При кристаллизации льда выделяются труднорастворимые соединения, а в растворах сохраняются наиболее легкорастворимые при низких температурах соединения, к которым принадлежат хлориды кальция, магния и натрия.

На территориях с аридным и полуаридным климатом где отношение суммарного испарения к сумме атмосферных осадков оказывается наибольшим метеорологический параметр, способствующий к существенной вариации химического состава водных объектов, является испарение.

Основным фактором химического выветривания является атмосферная вода, действие которой усиливается растворенной в ней углекислотой. Значительную роль в процессах химического выветривания играет также кислород воздуха.

Среди различных видов химического выветривания углекислотное с его главным агентом углекислотой характерен для обогащения вод химическими элементами. Хотя концентрация CO_2 является фактором определяющий скорость выветривания, однако только более активная часть углекислоты обладает способностью взаимодействовать с породой.

Выветривание горных пород в наземных экосистемах поглощает запасы углекислого газа из атмосферы, тем самым снижая интенсивность атмосферного парникового эффекта. Следовательно, выветривание горных пород является важным компонентом, который следует учитывать при геологическом поглощении углерода [118-120]. Поглотители углерода, образующиеся в результате карбонатного выветривания и силикатного выветривания, являются двумя основными механизмами, лежащими в основе поглощения углерода при выветривании горных пород. Предыдущие исследования выветривания горных пород были в основном сосредоточены на этих процессах в крупных речных бассейнах [121,122]. В этих системах гидрохимический и изотопный составы вод в основном контролируются геологией и литологией бассейнов [123]. Геохимический анализ рек может дать представление о химическом выветривании в бассейне, о климате, а также о среднем химическом составе и изотопном составе в верхней части земной коры, в дополнение к другой важной информации о химических элементах, участвующих в аллогенном круговороте в системе континентальная река-океан. Прогресс выветривания горных пород и уровни потребления CO_2 были проанализированы в нескольких крупных реках, включая, в частности, Конго [124], Ориноко [125] и Луару [126]. В ходе этих исследований был проанализирован химический состав, ионный сток, химическая денудация и климатическое воздействие на воды, среди прочих факторов.

Действительно, некоторые исследования показали, что глобальное выветривание горных пород в бассейнах рек является одним из основных компонентов глобального выветривания горных пород, на долю которого приходится 87% углекислого газа, потребляемого в этих процессах [127].

Ионный сток (сток растворенных веществ) является одной из составляющих геостока (потока вещества и энергии) горных областей, а также интегральной характеристикой гидрологических, геохимических и геоэкологических процессов в речных бассейнах. Особую актуальность исследования ионного стока приобретают при изучении тех геосистем, которые находятся в неустойчивых состояниях, например, горно-ледниковых бассейнов в условиях климатических изменений [128].

Согласно [128] распределения гидрохимических показателей по длине реки, так и вероятное увеличение гидрохимического выноса из горно-ледниковых районов при сохранении наблюдаемых тенденций климатических изменений определяется тем, что при уменьшении транспортирующей способности потока происходит осаждение части взвешенных частиц и, возможно, соосаждение коллоидных комплексов и сорбция на поверхности оседающих на дно наносов растворённых соединений.

Гидрохимический состав водного объекта зависит от геологической формации, через которую он протекает, или его петрографического состава, растительности водосбора и атмосферного поступления [129]. Тип и количество осадков, рельеф бассейна оказывают существенное влияние на формировании гидрохимии рек. В процессе выветривания происходят реакции между водой и породой, которые приводят к изменению химического состава воды, например, в отношении основных ионов и микроэлементов [130].

Элементы, отделенные от горных пород и почвы в процессе выветривания и эрозии, переносятся рекой как в растворенной, так и в 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 [131].

В настоящем разделе представлены результаты изучения происхождения химического состава реки Шохдара одной из притоков трансграничной реки Пяндж в регионе Центральной Азии. Река Шахдара - крупнейший приток реки Гунт длиной 117 км с водосборной площадью бассейна 4228 км² или 30% площади бассейна реки Гунт. Характерной чертой бассейна является большая площадь оледенения и развитая речная сеть. Шахдара принимает около сорока притоков протяженностью более десяти километров. Река Бодомдара - самая крупная из них. В годовом стоке Шахдары снеговая вода составляет 39%, ледниковая вода - 20% и подземные воды - 41%. За период с мая по сентябрь проходит 75% годового стока [132].

Для отбора проб воды из реки Шохдара и главной реки Пяндж руководствовались методическими рекомендациями, изложенными в [133]. Элементный анализ проводился 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 было принято коэффициент корреляции Пирсона.

Из рисунка 24. где представлен элементный состав реки Шохдара следует, что химический состав речной воды характеризуется незначительными концентрациями, но богатым набором химических элементов.

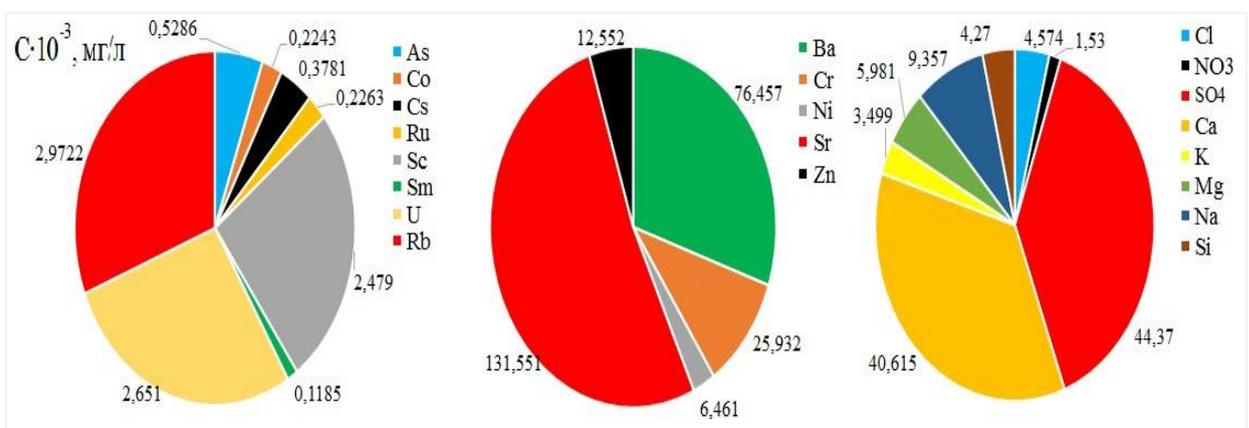


Рис. 24. - Химический состав воды реки Шохдара

Химия катионов, как следует из результатов анализов показывает, что катионы кальция являются основными с более 68% от общей концентрации основных катионов. Далее следует Na^+ (~16%), Mg^{2+} (10%) и K^+ (6%).

В формировании химического состава рек существенное вклад вносят атмосферные аэрозоли, выветривание горных пород и антропогенное воздействие. Приблизительная оценка атмосферного вклада в реку может быть получена путем сравнения химического состава реки и свежего снега и дождей из мест, расположенных вблизи мест отбора проб, но чаще применяется метод основанный на сравнения значений соотношений Na/Cl и K/Cl воды с соответствующими соотношениями для морской воды, равные -1.0 и 0.2 соответственно.

Из анализа данных следует, что соотношений Na^+/Cl^- и K^+/Cl^- реки Шохдара соответственно равны 2.05 и 0.77. Следовательно, можно утверждать, что вклад атмосферных воздействий на химический состав реки незначителен. Фактор антропогенного воздействия на гидрохимию рек, когда водосборная территория реки находится на горных высотах более 1500 м н.у.м можно сводится к нулю. Таким образом, 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 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ и $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ (Рисунок 25).

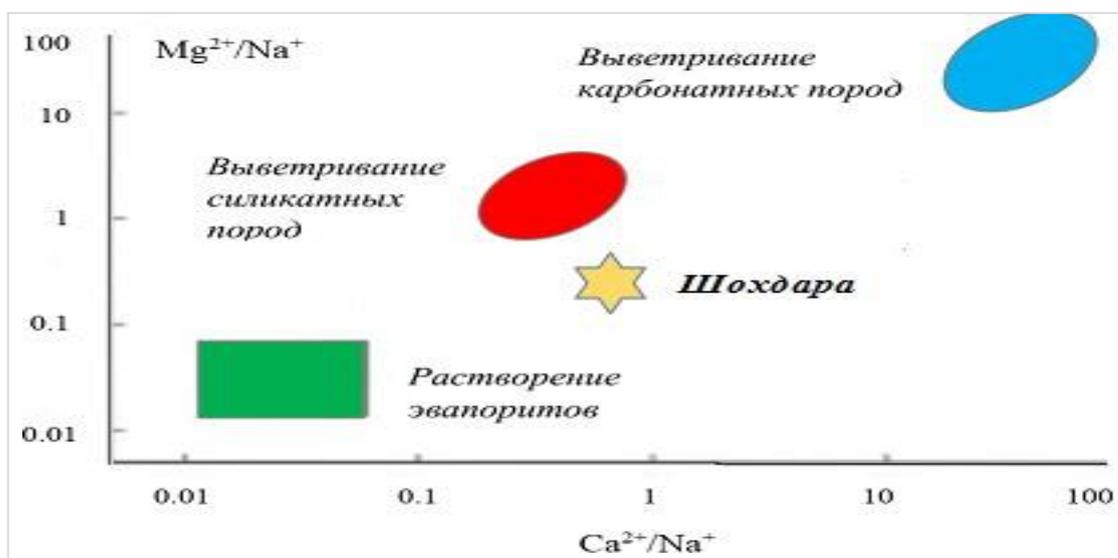


Рис. 25.- Диаграмма Гиббса выветривания карбонатных, силикатных пород и эвапоритов

Проведенными расчетами соответственных соотношений было установлено, что формирование химического состава реки Шохдара происходит в результате выветривания силикатных пород (рисунок 25). Фактором доминирования выветривания карбонатных пород в формировании химического состава рек является высокие значения соотношения $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}/\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ (> 6) и молярного соотношения $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ [131].

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

Для определения взаимосвязи компонентов рек и вклада реки Шохдара в обеспечении главной реки Пяндж химическими элементами проводилось корреляционная зависимость с использованием корреляции Пирсона (Таблица 5).

Таблица 5.

Корреляционная матрица Пирсона для среднего химического состава проб воды из рек Шохдара и Пянджа

	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, представленных в Таблице 5 и из Рисунка 26, а, б, в следует, что между анионом Cl^{-} и щелочными элементами, анионом SO_4^{2-} и Mg^{2+} , Ca^{2+} с анионом HCO_3^{-} наблюдаются сильные положительная корреляции.

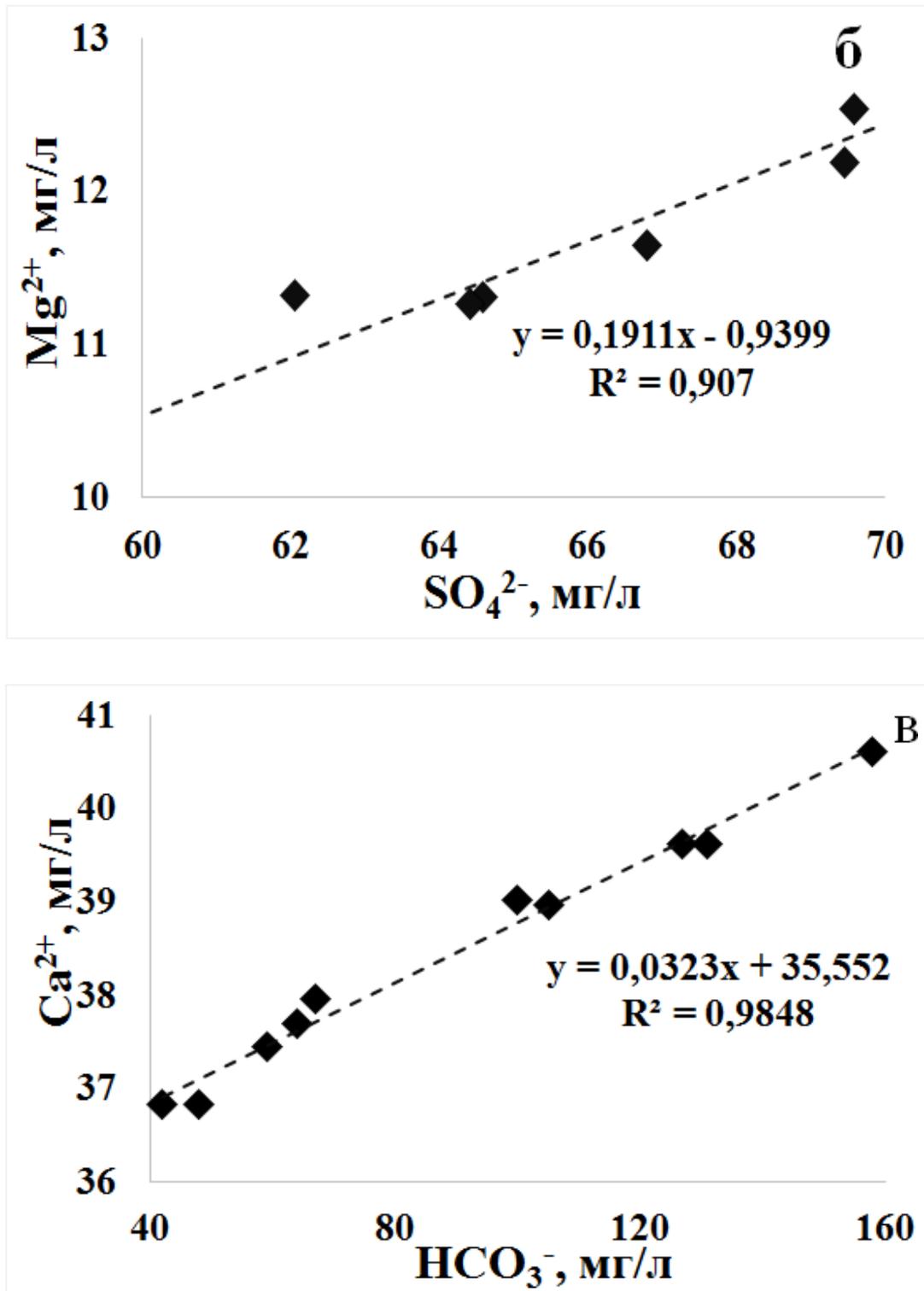


Рис.26. - Корреляция анионов хлора с катионами щелочных элементов (а), анионов SO_4^{2-} с катионами Mg^{2+} (б) и анионов HCO_3^- с катионами Ca^{2+} (в)

Для выветривания горных пород основными источниками протонов являются H_2CO_3 и H_2SO_4 . При $Ca^{2+}/SO_4^{2-} > 1$ в выветривании пород доминирует H_2CO_3 . Как следует из результатов химических анализов для реки Шохдара $Ca^{2+}/SO_4^{2-} < 1$. Это означает, что в выветривании пород бассейна реки Шохдара и

обогащении реки химическими элементами наряду с анионами HCO_3^- также активно вовлекаются анионы SO_4^{2-} (рисунок 26, б).

Большинство ионов показывают возрастающие тенденции с уменьшением высоты и увеличением площади бассейна. Однако концентрации K^+ и SO_4^{2-} положительно коррелируют с высотой и показывают максимальные концентрации вблизи области источника. Тенденция увеличения концентрации ионов с уменьшением высоты может быть связана с толщиной почвы, литологией и температурой. Минеральная поверхность, подверженная выветриванию в более толстых почвах на более низких высотах, намного больше, чем в тонкой или нулевой зоне почвы на больших высотах, а также время пребывания воды в контакте с выветриваемыми минералами будет больше в более толстых почвах [134]. Изменение литологии и повышение температуры ниже по течению также могут быть ответственны за возрастающие тенденции концентрации растворенных веществ ниже по течению [131].

Низкое соотношение $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ в речной воде показывает, что в формировании химического состава реки доминирует процесс выветривания горных пород. Например, Ca^{2+} и Mg^{2+} образуются в результате выветривания карбонатов, силикатов и эвапоритов, Na^+ и K^+ в результате выветривания эвапоритов и силикатов, HCO_3^- в результате выветривания карбонатов и силикатов, SO_4^{2-} и Cl^- в результате выветривания эвапоритов, в то время как кремнезем образуется исключительно в результате выветривания силикатов [135].

Как правило, K^+ и Na^+ в водах образуются в результате растворения эвапоритов и силикатного выветривания [136,137]. Кроме того, учитывая происхождение катионов Na^+ , K^+ и их катионный обмен биологическое поглощение калия и литологию бассейна можно утверждать, что Na^+ и K^+ в основном происходят из силикатов. Сильные корреляции между SO_4^{2-} и Cl^- , Na^+ и K^+ предполагают, что они происходят от выветривания эвапоритов.

Нами проводились также исследование гидрохимии среднего и нижнего течения трансграничной реки Пяндж и особенности динамики изменения химического состава вдоль русла реки.

Отбор проб воды из реки Пяндж осуществлялись 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 27).



Рис. 27. - Расположение исследуемой территории, включая все точки отбора проб

Для определения микроэлементов на каждом пункте отбора отбирали по десять проб. Использовались промытые кислотой полиэтиленовые контейнеры (250 мл). Пробы отбирали вручную из подповерхностной 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.

Для определения микроэлементов на каждом пункте отбора отбирали по десять проб. Элементный анализ проводился в США в лаборатории окружающей среды и геологии отдела геологических наук университета Колорадо в Боулдере и лаборатории химии влаги Института арктических и альпийских исследований с использованием масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) и ионной хроматографии. Для оценки взаимосвязей между средними значениями показателей и различными физико-химическими параметрами был проведен

корреляционный анализ Пирсона статистическая значимость которого была установлена на уровне $P < 0,05$.

На рисунке 28 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.

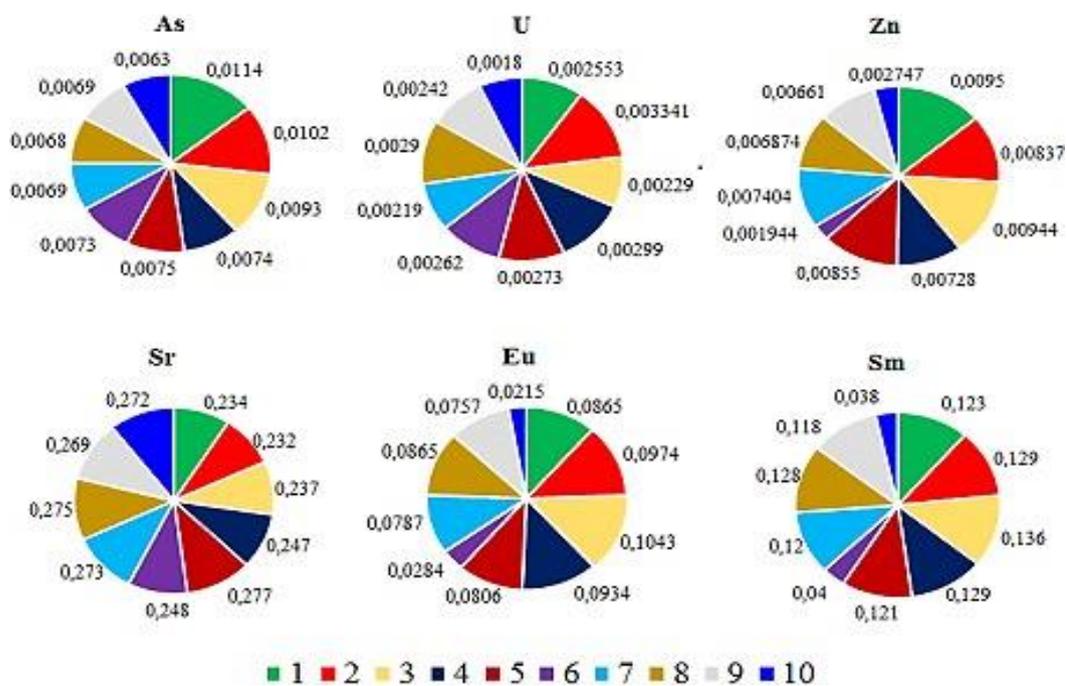


Рис. 28. Распределение концентрации (мг/дм^3) лантаноидов, тяжелых металлов и урана вдоль русла трансграничной реки Пяндж

Динамика изменения концентрации некоторых лантаноидов и ТМ по течению реки, представленные на рисунках 29, 30 и 31, которые показывают, что по мере течения реки Пяндж в низовье концентрация лантаноидов и ТМ уменьшаются.

Следует отметить, что результаты мониторинга распределения элементов по реке может послужить индикатором петрографического и геологического строения горных руд и в некоторой степени могут симулировать геолого-разведывательные работы по уточнению запасов того или иного химического элемента.

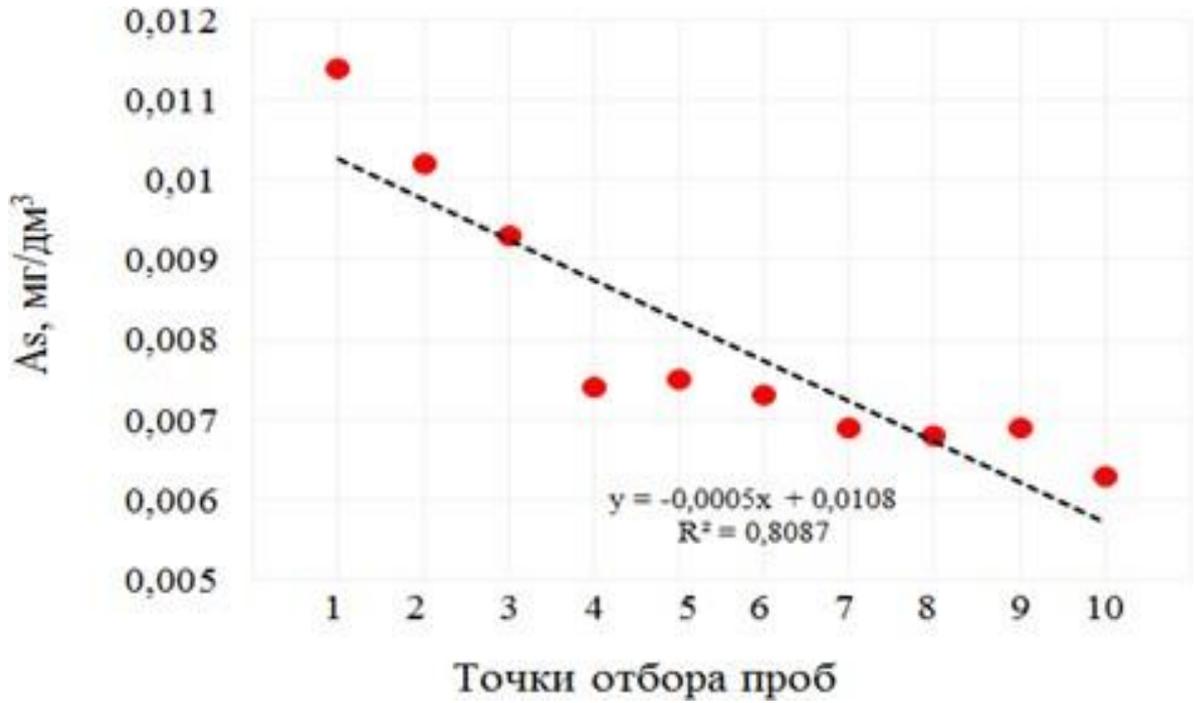


Рис. 29.- Динамика изменения концентрации мышьяка по руслу реки Пяндж

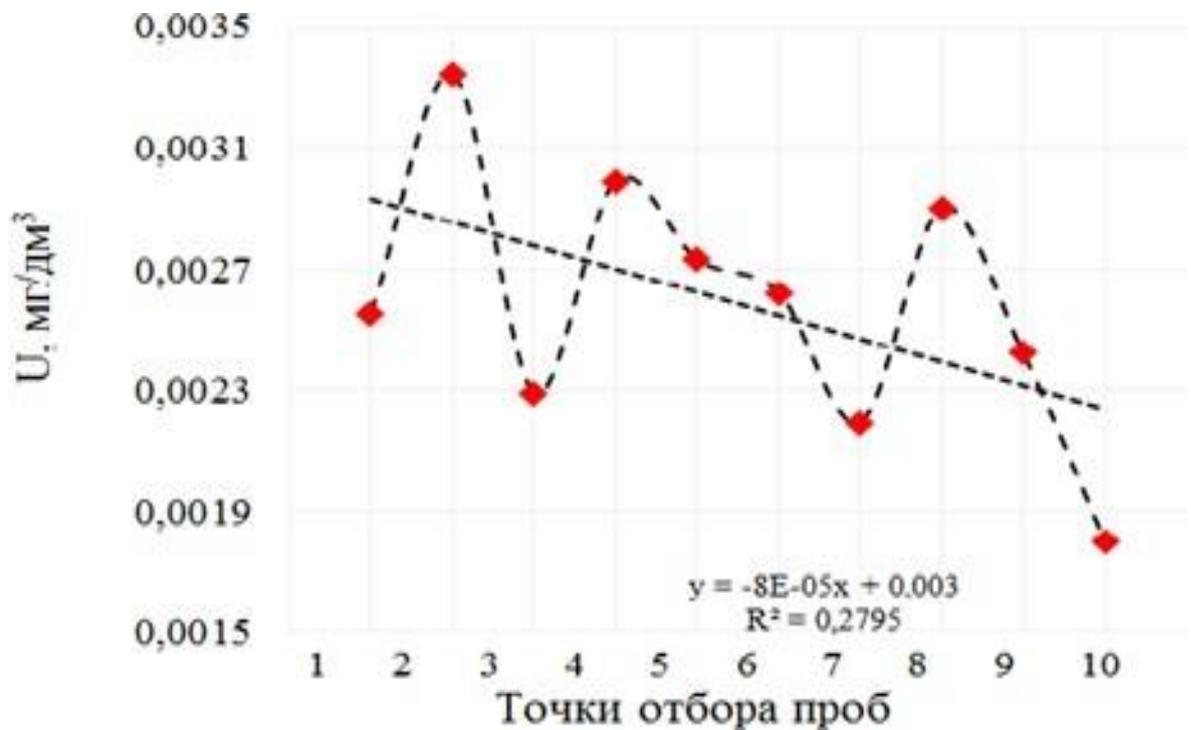


Рис. 30.- Динамика изменения концентрации урана по руслу реки Пяндж

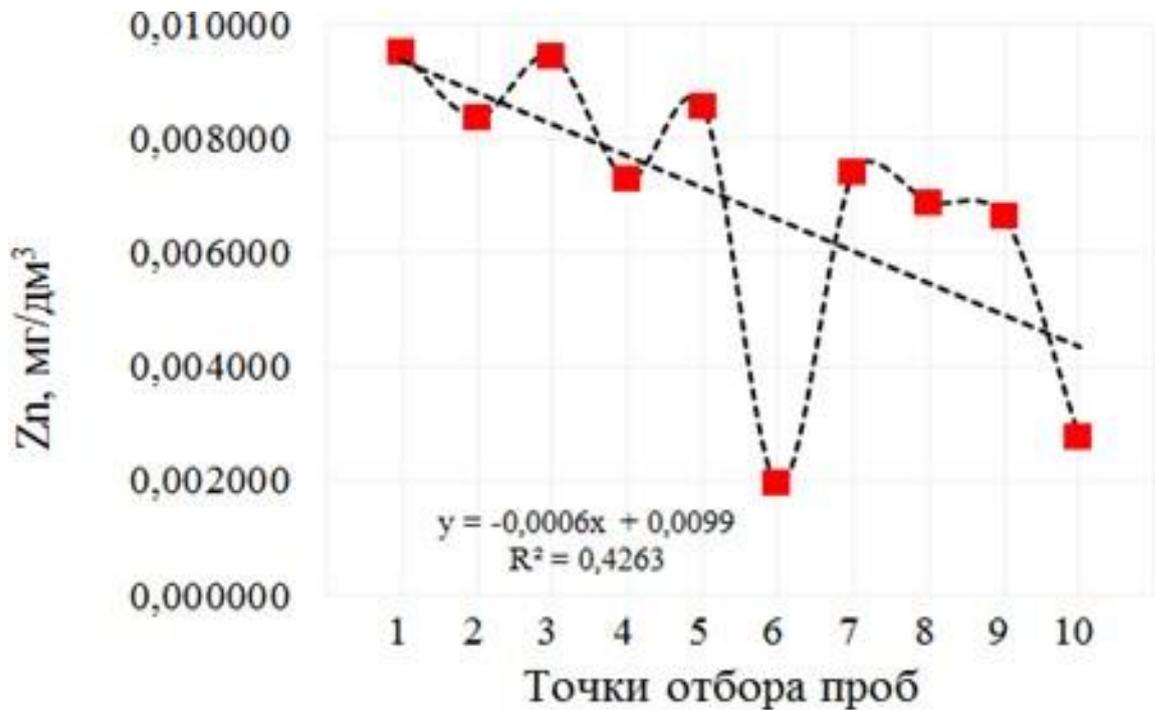


Рис.31.- Динамика изменения концентрации цинка по руслу реки Пяндж

Следует отметить, что на некоторых участках реки Пяндж наблюдаются всплески более высоких концентраций элементов (например, в точках отбора проб 2 и 8 на рисунок 30). Понятно, что формирование стока реки Пяндж - это среднее течение всех ее притоков. Поэтому можно ожидать, что процессы выветривания того или иного элемента в бассейне притока реки способствуют проявлению его повышенной концентрации в основной реке.

Выше по течению реки чуть выше точки 8 отбора пробы воды из реки Пяндж (рисунок 29) к реке вливается правый приток - река Возгина, бассейн которой характеризуется наряду с золотосодержащими богатыми полезными ископаемыми. Можно предположить, что наблюдаемый на рисунок 30 более высокие концентрации урана в пробах воды из точки 8 есть вклад реки Возгина.

В таблице 6. обобщены содержание щелочных и щелочноземельных элементов в пробах воды отобранных вдоль русла реки.

Таблица 6.

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 ответственные за формирование химического состава воды руководствовались критериями, согласно которым высокие соотношения (>6) щелочноземельных катионов $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(Na^{+}+K^{+})$ и молярные соотношения Mg^{2+}/Ca^{2+} указывают на доминирование выветривания карбонатных пород, т. е. кальцит и доломит. Кроме того, при $Ca^{2+}/SO_4^{2-}>1$ можно предположить, что H_2SO_4 не заменяет H_2CO_3 в качестве источника протонов для выветривания горных пород [137].

Из сравнения данных представленных в Табл.4.2 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 кальцита и доломита и роль H_2SO_4 как источника протонов для выветривания горных пород ощутима, за исключением образца воды, отобранной в точке 8 по руслу реки. Для образца воды из точки 8 отношение $(Ca^{2+}+Mg^{2+}) / (Na^{+}+K^{+})$ равняется к 5.5 и отношение $Ca^{2+}/SO_4^{2-}>1$, которые могут быть основанием предположить, что

выветривание в данной участке реки Пяндж происходит из карбонатных пород и H_2CO_3 является источником протонов для их выветривания.

Для выявления взаимосвязи между измеряемыми компонентами был проведен корреляционный анализ Пирсона, со статистической значимости на уровне $p < 0.05$ (Таблица 7).

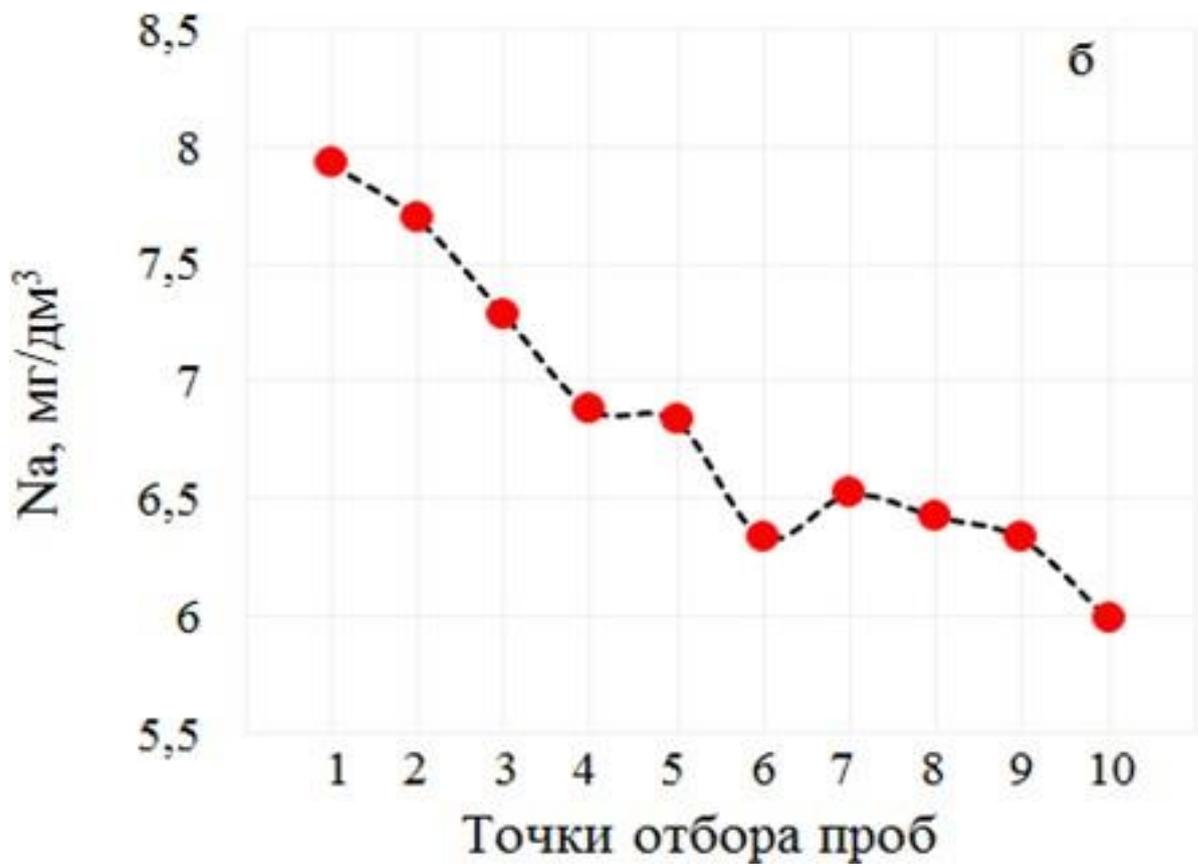
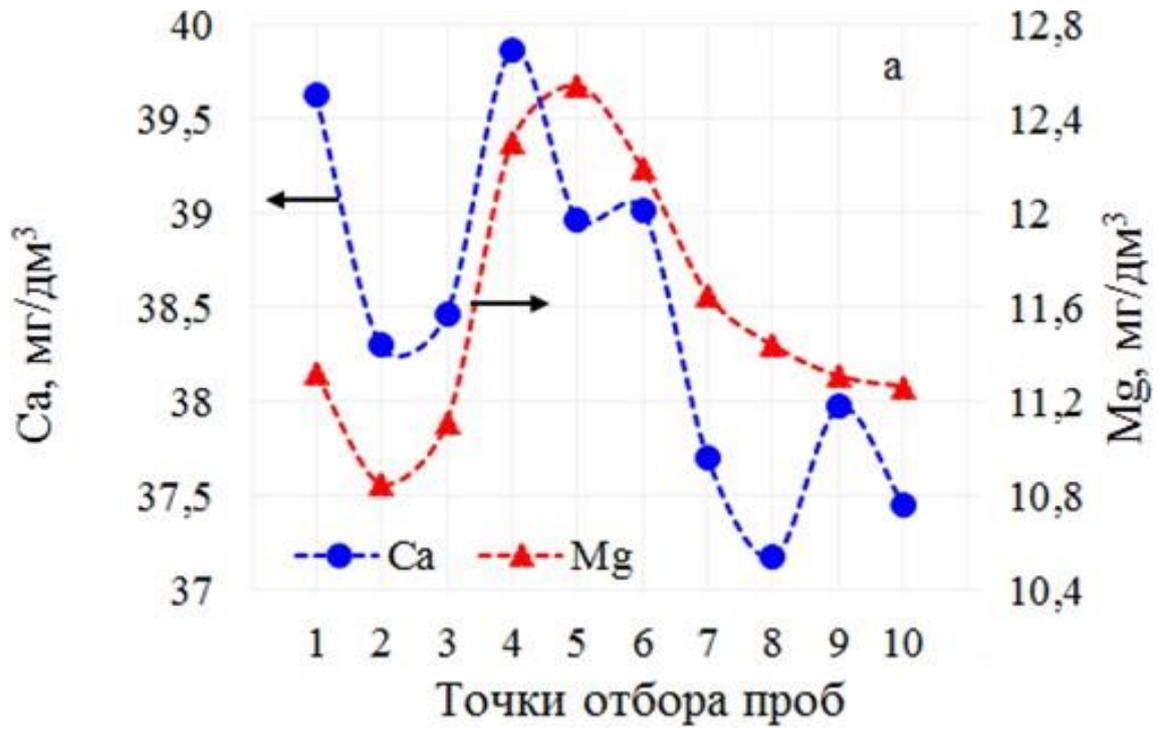
Таблица 7.
Корреляционная матрица Пирсона для среднего химического состава проб воды из среднего и нижнего течения реки Пяндж

	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^- , NO_3^- и SO_4^{2-} демонстрируют об отсутствии их общих источников, а их более низкие концентрации о влиянии человеческой деятельности.

Геохимические связи между Na^+ , K^+ , Cl^- и SO_4^{2-} указывают на выветривание силикатных и эвапоритовых минералов, причем силикатный вклад значительно больше обусловленное минимальным количеством эвапоритов в бассейне.

На рисунке 32, а, б, в представлены динамика изменения группы щелочноземельных (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+}) и щелочных элементов (Na^+ , K^+) вдоль русла реки.



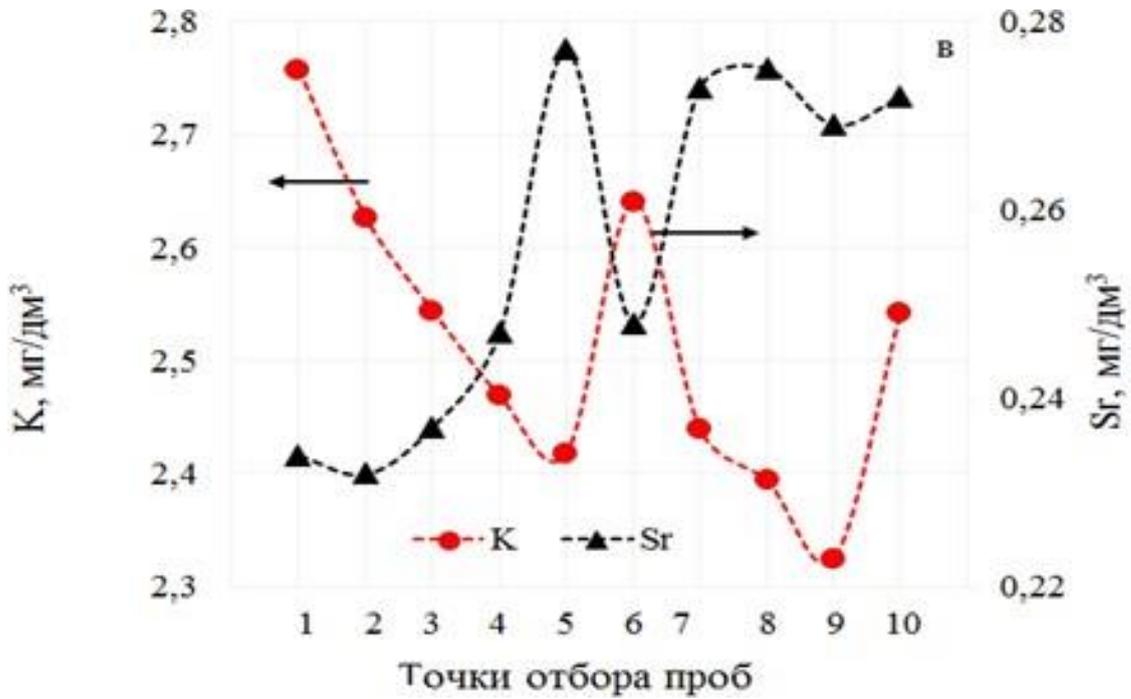


Рис.32.-Изменение концентрации щелочных (Na, K) и щелочноземельных элементов (Ca, Mg, Sr) вдоль русла реки Пяндж

Характерной особенностью распределения концентрации элементов является их пространственная неоднородность, убывающий тренд по руслу реки с проявлением всплесков в определенных участках реки, главным образом связанное с примыканием небольших притоков к главной реке. Динамика изменения концентрации Sr^{2+} и K^+ на исследуемой участке имеет противоположный характер проявляющегося в взаимной отрицательной корреляции ($R = - 0,77$, $p < 0,05$) (рисунок 33).

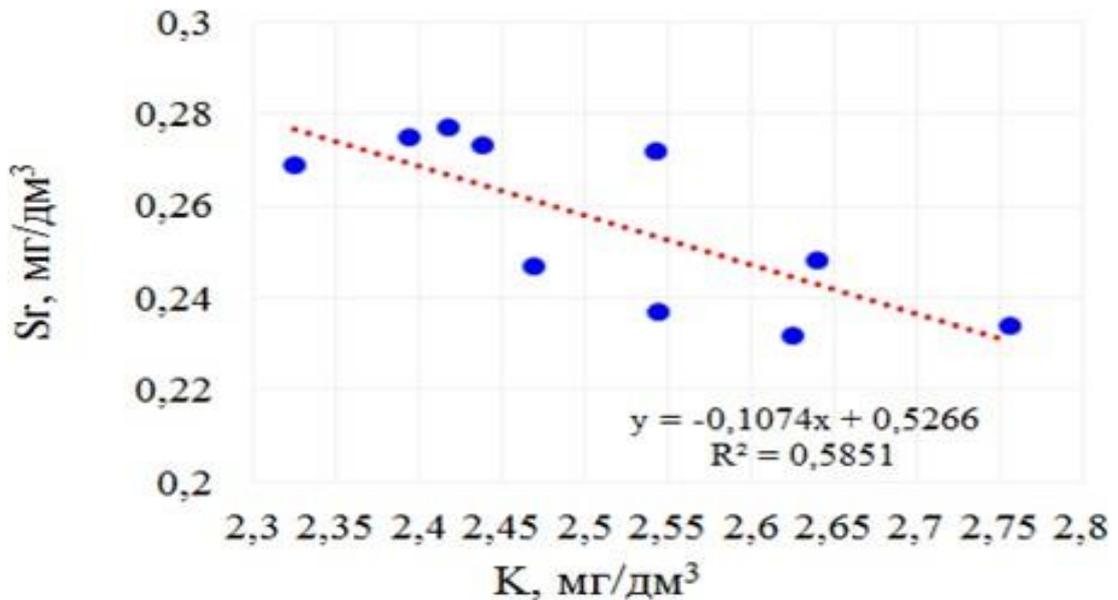


Рис.33.- Корреляционная зависимость катионов стронция и калия вдоль реки Пяндж

4.2. Гидрохимия высокогорных рек Памира: факторы формирования химического состава реки Ванч-притока трансграничной реки Пяндж (Таджикистан)

Река Ванч является одной из притоков трансграничной реки Пяндж между Таджикистаном и Афганистаном, которая в свою очередь, считается одной из полноводных притоков Амударьи самой крупной рекой Центральной Азии. Река Амударья является главным источником водообеспечения широких сельскохозяйственных земель Республик Туркменистана и Узбекистана. Более того в большинстве населенных пунктах и селениях является источником питьевого водоснабжения. Следовательно, мониторинг экологического состояния и химического состава реки Амударья и ее притоков является актуальной проблемой. Очевидно, что в формировании химического состава воды главной реки ощутимое место занимают ее притоки и поскольку водосбор почти всех притоков Реки Пяндж находятся на высокогорье Памира, где в условиях изменения климата развиваются процессы выветривания горных пород исследование влияние продуктов выветривания на химический состав рек, является важной задачей с точки зрения своевременного обнаружения тяжелых металлов и радионуклидов и последующей их нейтрализации.

Целью исследований является определение происхождения химического состава воды и наличия стационарных источников загрязнения реки Ванч.

Установлено, что на верховьях реки Пяндж и в бассейне реки Ванч отсутствуют источники антропогенного загрязнения (стационарных источников) и формирование химического состава реки Ванч происходит в результате выветривания горных пород бассейна. Применением корреляции Пирсона установлена корреляционные зависимости между химическими элементами реки Ванч и главной рекой Пяндж. Определением взаимных соотношений щелочноземельных, щелочных элементов с анионами Cl^- , SO_4^{2-} установлено, что химический состав реки Ванч главным образом обусловлен выветриванием силикатных пород. Разницей концентраций химических элементов рек Ванча и Пянджа выявлено наименование компонентов обогащаемые рекой Ванч главной реки Пяндж.

Химическое выветривание горных пород является частью экзогенного цикла, в котором происходит периодическая миграция элементов между литосферой, атмосферой, биосферой и гидросферой [138,139]. Являясь важным транспортным путем, реки отражают различные природные и антропогенные процессы в водосборе, а также переносят и транспортируют продукты выветривания и антропогенные загрязнители с континентов в океаны [140,141]. Поэтому многие ученые сосредоточились на речной системе, используя материальные потоки рек для оценки скорости химического выветривания и потока потребления атмосферного CO_2 в небольших бассейнах и глобальном масштабе [142,143].

Загрязнения из сельского хозяйства или промышленности часто в некоторой степени маскируют реальные сигналы выветривания горных пород. Например, сильное осаждение неорганических кислот (в основном серной или азотной), возникшее в результате деятельности человека, может частично маскировать реальный сигнал углекислоты в процессе континентальной денудации [144,145].

Выветривание горных пород в наземных экосистемах потребляет атмосферные/почвенные запасы углекислого газа, тем самым снижая интенсивность атмосферных парникового эффекта. Следовательно, выветривание горных пород является важным компонентом, который следует учитывать для геологических углеродных провалов [146-148]. Поглотители углерода, полученные в результате карбонатного выветривания и силикатного выветривания, являются двумя

основными механизмами, лежащими в основе углеродных провалов выветривания горных пород [149].

Предыдущие исследования выветривания горных пород были в основном сосредоточены на этих процессах в крупных речных бассейнах [150,151]. В этих системах гидрохимический и изотопный состав вод в основном контролируется геологией и литологией бассейнов [152]. Геохимический анализ рек может дать представление о химическом выветривании в пределах бассейна, климате и среднем химическом составе, и изотопном составе в верхней коре, в дополнение к другой важной информации о химических элементах, участвующих в аллогенном цикле континентальной системы река-океан [153-155].

Отбор проб воды из рек Ванч и Пяндж осуществлялись в точках: 1(N38.30353 E71.33006), 2(N38.34317 E71.19719), 3(N38.40696 E71.13829), 4(N38.44870 E71.02927), 5(N38.46246 E70.76193), 6(N38.35925 E70.65354), 7(N38.34769 E70.60247), 8(N37.98391 E70.25198) (рисунок 34).

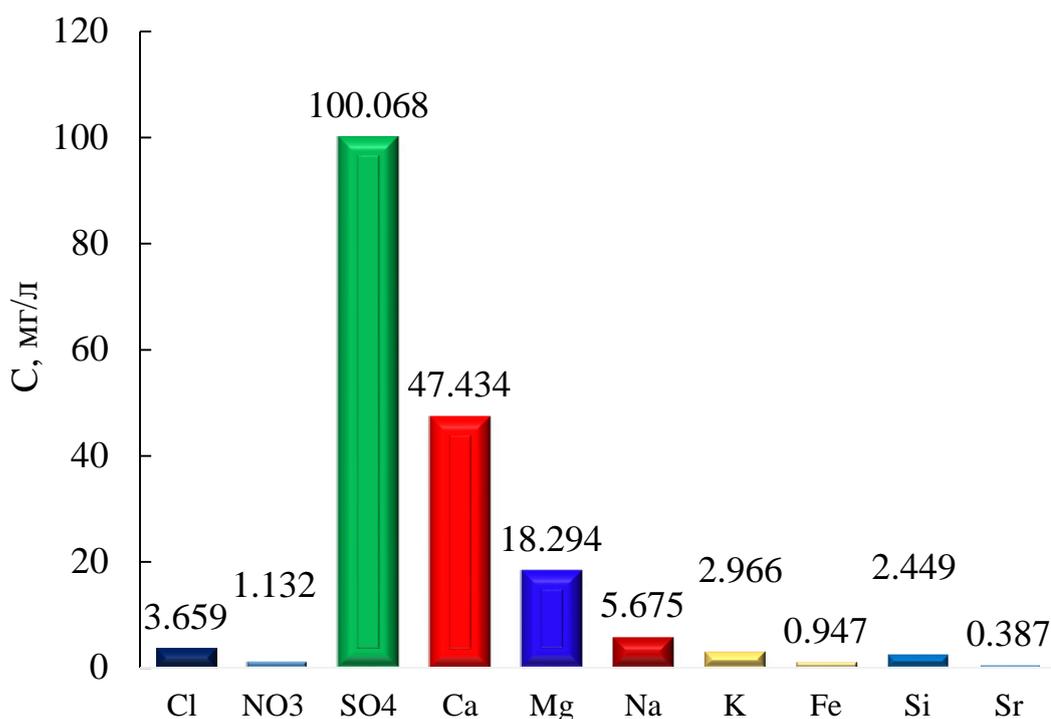


Рис.34. Бассейн реки Ванч

Для определения микроэлементов на каждом пункте отбора были отобраны по десяти проб. Использовались промытые кислотой полиэтиленовые контейнеры (250 мл). Пробы отбирали вручную из подповерхностной 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.

Элементный анализ проводился 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. Для оценки взаимосвязей между средними значениями показателей и различными физико-химическими параметрами был проведен корреляционный анализ Пирсона, статистическая значимость которого была установлена на уровне $P < 0,05$.

Разнообразие химических компонентов с незначительными концентрациями в составе воды реки Ванч, как следует из рисунка 35 свидетельствует, во-первых, об отсутствии их стационарных источников и, во-вторых, об их происхождении как продукта выветривания горных пород.



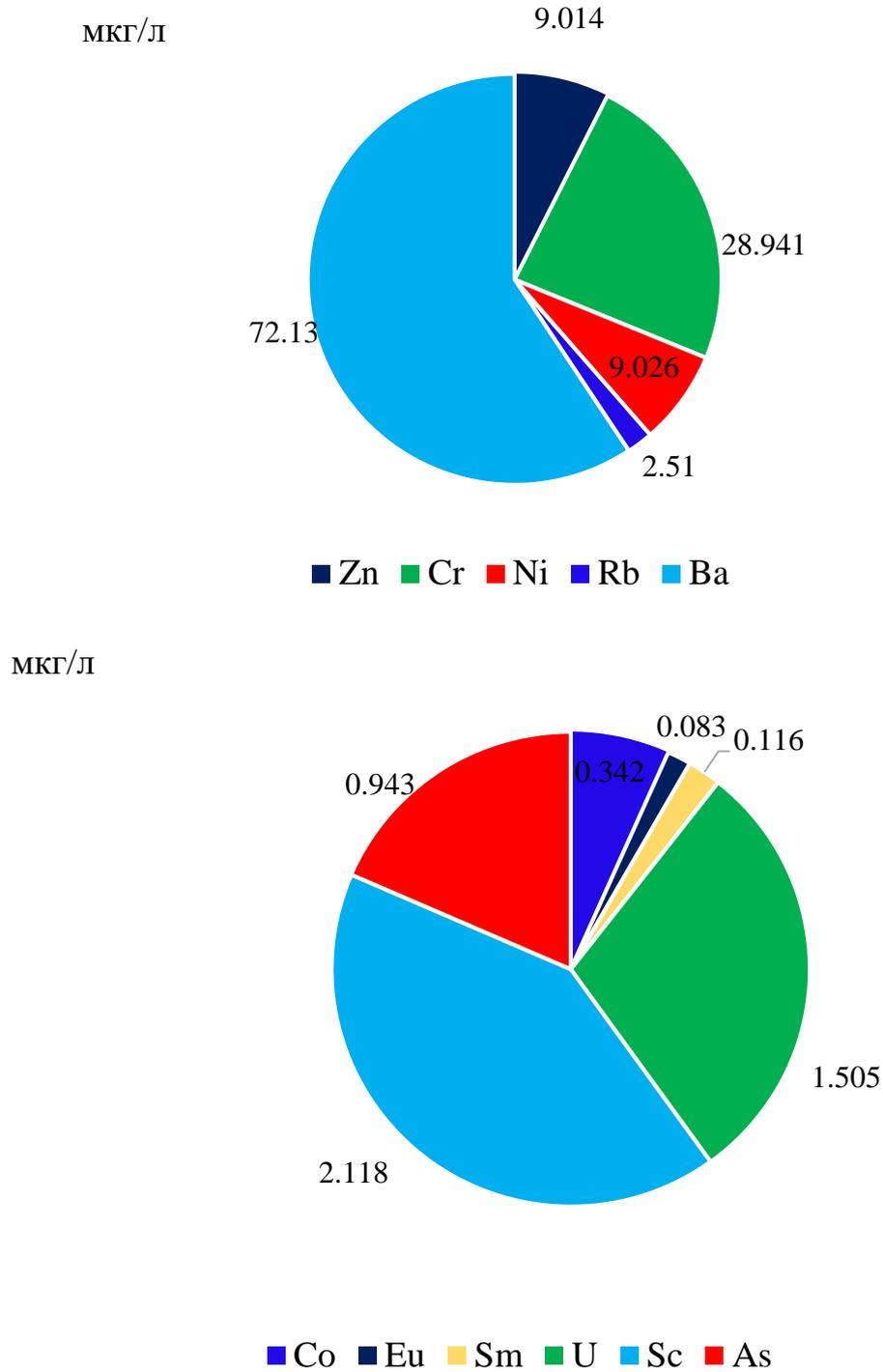


Рис.35. Химический состав воды реки Ванч

Для установления вклада каждой из трех главных факторов, а именно выветривание горных пород, испарения и атмосферных осадков на химический состав воды широко применяется диаграмма Гиббса (рисунок 36) согласно которой область атмосферных осадков находится в правом нижнем углу, где в пробах воды

значений $Na^+/(Na^+ + Ca^{2+})$ относительно высоки. Зоны выветривания горных пород и испарения соответствуют области диаграммы где соотношение $Na^+/(Na^+ + Ca^{2+})$ соответственно около 0,5 и более [156]. Расчеты, проведенные с использованием данных представленных на рисунке 36 показали, что в нашем случае отношение $Na^+/(Na^+ + Ca^{2+})$ составляет 0.11, т. е близкое к условиям выветривания горных пород.

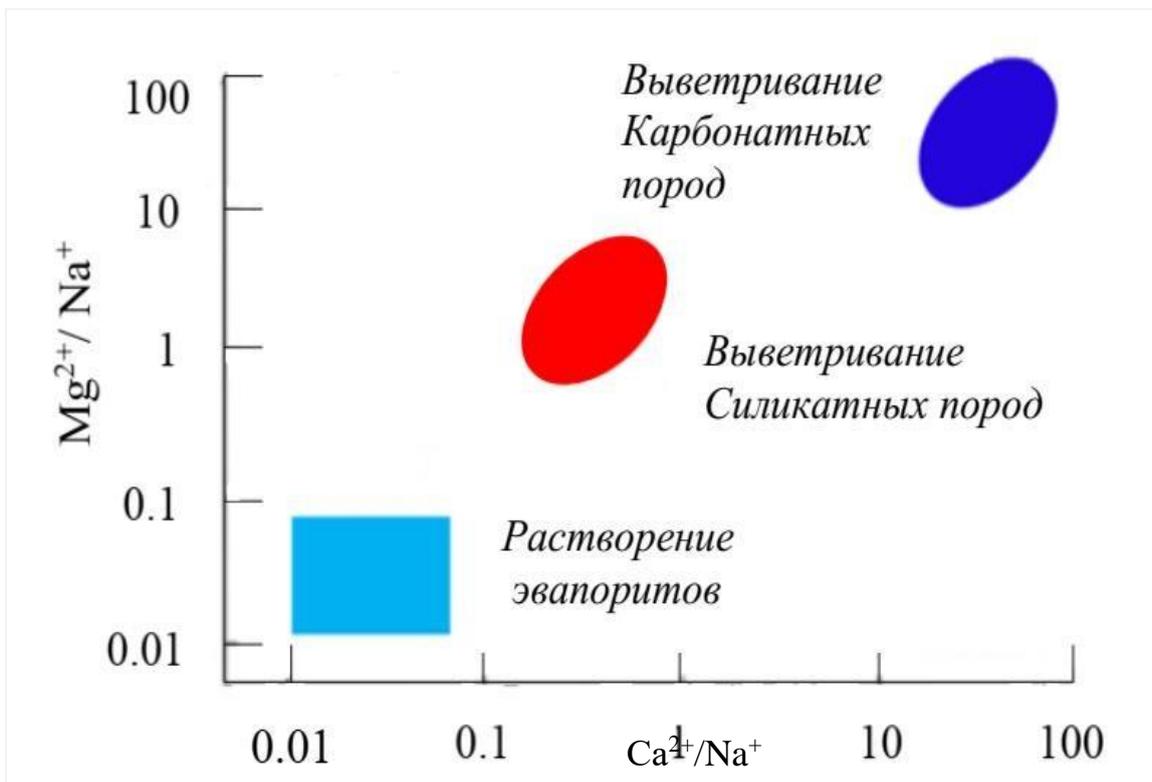


Рис.36. Области доминирования источников поступления химических элементов в воду в зависимости от соотношения катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} [156]

Карбонатные выветривание, как следует из рис.3 наблюдается при значениях соотношений Ca^{2+}/Na^+ и $Mg^{2+}/Na^+ > 10$.

Согласно [153] индикатором для определения вклада каждой из трех факторов выветривания горных пород (силикатное, карбонатное и растворения эвапоритов) является соотношение Ca^{2+}/Mg^{2+} высокие значение которых указывает на доминирование бикарбонатного выветривания, а низкие значения о выветривание силикатных горных пород. С использованием значений катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} на рисунке 28 было установлено для реки Ванч соотношение Ca^{2+}/Mg^{2+} не высокое (<2.6).

Из сравнения значений соотношения $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ которые представлены в виде зависимости $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ от $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ (рисунок 37) с диаграммой на рисунке 29 следует, что в бассейне реки Ванч преобладает выветривание силикатных пород.

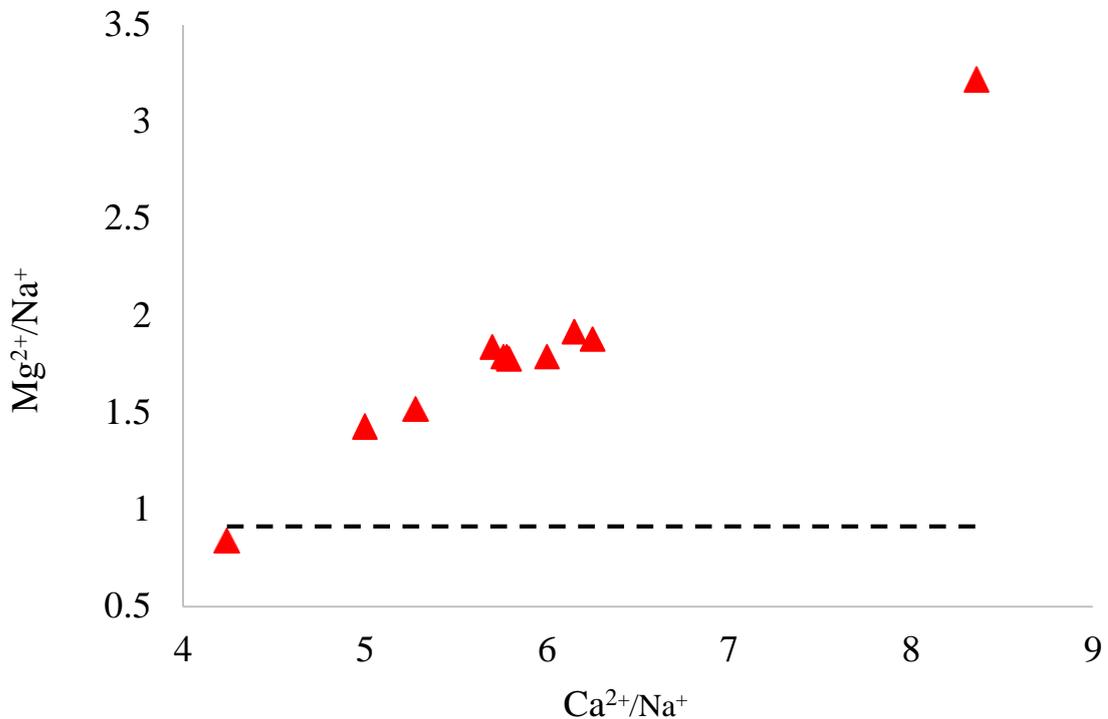


Рис. 37.- Взаимосвязь между $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ и $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ для речных вод Ванча и Пянджа

Корреляционный анализ между параметрами качества воды может способствовать пониманию взаимосвязей между этими параметрами, определяющими источники их происхождения [152].

Результаты исследований взаимосвязи катионов и анионов реки Пяндж и ее притока реки Ванч обобщенные в Таблице 8 показывают, что Ca^{2+} положительно коррелирует с SO_4^{2-} ($R \sim 0.69$), щелочноземельными элементами Mg^{2+} ($R \sim 0.89$), Sr^{2+} ($R \sim 0.77$), переходными элементами группы железа Fe^{3+} ($R \sim 0.62$), Co^{2+} ($R \sim 0.65$), Ni^{2+} ($R \sim 0.57$) и K^+ ($R \sim 0.6$). В таблице 8 также показано наличие ряда взаимных положительных корреляций между отдельными элементами состава воды.

Таблица 8.

Корреляционная матрица Пирсона для среднего химического состава проб воды из рек Ванч и Пяндж

	SO4	Ca	Mg	Na	K	Zn	Sr	Fe	Co	Eu	Ni	U	As	Ba	Sc
SO4	1														
Ca	0,69	1													
Mg	0,67	0,89	1												
Na	-0,38	-0,42	-0,72	1											
K	0,34	0,60	0,27	0,25	1										
Zn	-0,08	0,14	-0,09	0,62	0,32	1									
Sr	0,54	0,77	0,95	-0,84	0,09	-0,16	1								
Fe	0,24	0,62	0,84	-0,78	-0,06	-0,26	0,87	1							
Co	0,30	0,65	0,81	-0,88	-0,06	-0,36	0,89	0,90	1						
Eu	-0,18	0,05	-0,06	0,49	0,03	0,90	-0,13	-0,08	-0,24	1					
Ni	0,43	0,57	0,85	-0,86	-0,20	-0,36	0,88	0,89	0,85	-0,18	1				
U	-0,57	-0,51	-0,50	0,44	-0,47	0,07	-0,57	-0,20	-0,35	0,29	-0,26	1			
As	-0,13	-0,44	-0,21	0,11	-0,51	-0,17	-0,22	0,00	-0,27	0,01	0,14	0,44	1		
Ba	-0,19	0,03	-0,09	0,47	0,00	0,91	-0,12	-0,13	-0,22	0,98	-0,22	0,24	-0,09	1	
Sc	-0,16	-0,17	-0,53	0,69	0,54	0,47	-0,58	-0,76	-0,60	0,21	-0,80	-0,18	-0,48	0,26	1

Река Пяндж является одной из главных притоков трансграничной реки Амударья, которая характеризуется множеством притоков. Для таких рек наряду со стоком их составляющих актуальным также является экологическое состояние, т.е. степень их загрязненности. Особое требование к химическому составу водных артерий Центральной Азии продиктовано тем, что эти реки являются источниками водоснабжения огромных территорий сельскохозяйственных земель и их чистота является залогом получения экологически чистых сельскохозяйственных продуктов питания и обеспечения состояния здоровья многомиллионного населения внизовьях.

С другой стороны, последовательный мониторинг экологического состояния речных систем и тем самым создание базы данных по гидрохимическим показателям позволяет оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации, связанные с появлением стационарных источников загрязнения и принятие неотложных мер по их устранению.

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 9).

Таблица 9.

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
	$\times 10^{-3}$, 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

C -концентрация; ΔE -элементы, обогащаемы рекой Ванч основной реки Пяндж

Водный сток трансграничной реки Пяндж, как видно из табл.1, характеризуется наличием ряд химических элементов, таких как уран, мышьяк скандий, рубидий кремний и натрий концентрация которых значительно выше чем в реке Ванч. Можно предположить, что поступление этих элементов с более высокой концентрацией происходит из других притоков реки Пяндж.

Таким образом основные положения и результаты настоящей работы заложит основу для расширения спектра исследований по установлению гидрохимии остальных притоков реки Пяндж и их вклад в обогащении химического состава главной реки.

Выводы

Установлено, что на верховьях и в бассейнах притоков трансграничной реки Пяндж отсутствует стационарные источники антропогенного характера загрязнения реки.

Показано, что формирование химического состава реки Ванч главным образом происходит в результате выветривания горных пород.

Сравнением соотношений катионов щелочноземельных к катионам натрия с диаграммой Гиббса установлено преобладающий вклад выветривания силикатных пород в обогащении реки Ванч химическими элементами.

Разницу концентраций химических элементов между двумя рек можно принять в качестве индикатора вклада притоков в обогащении главной реки химическими элементами.

4.3. Вклад атмосферных осадков и CO₂ в выветривание горных пород и формирование химического состава рек

С точки зрения использования вод для ирригации важность гидрохимии рек обусловлена прежде всего возможностью реализации механизма переноса химических элементов по цепочке вода-почва-растение-человек как установлено в МАГАТЭ для передачи радионуклидов. Растения получают осажденные химические элементы из почвы, питаемые ирригационной водой, называемые фактором переноса от почвы к растению (ФП), который широко используется для расчета радиологической дозы человека. В целом факторы переноса проявляют широкий

диапазон вариаций в зависимости от свойства почвы, рН, содержания катионов Са, К и органических веществ. Вопросы изучения особенностей формирования ионного стока рек в условиях глобального изменения климата и антропогенной нагрузки ныне находятся в центре внимания многих научных школ и ученых [157,158].

Ионный сток (сток растворенных веществ) является одной из составляющих геостока (потока вещества и энергии) горных областей, а также интегральной характеристикой гидрологических, геохимических и геоэкологических процессов в речных бассейнах. Особую актуальность исследования ионного стока приобретают при изучении тех геосистем, которые находятся в неустойчивых состояниях, например, горно-ледниковых бассейнах в условиях климатических изменений [159].

Отборы проб снежного покрова и талой воды из ледника Гармо (N 38049' E 71046') осуществлялись в точках: 1-3 и 4, соответственно (рисунок 38).

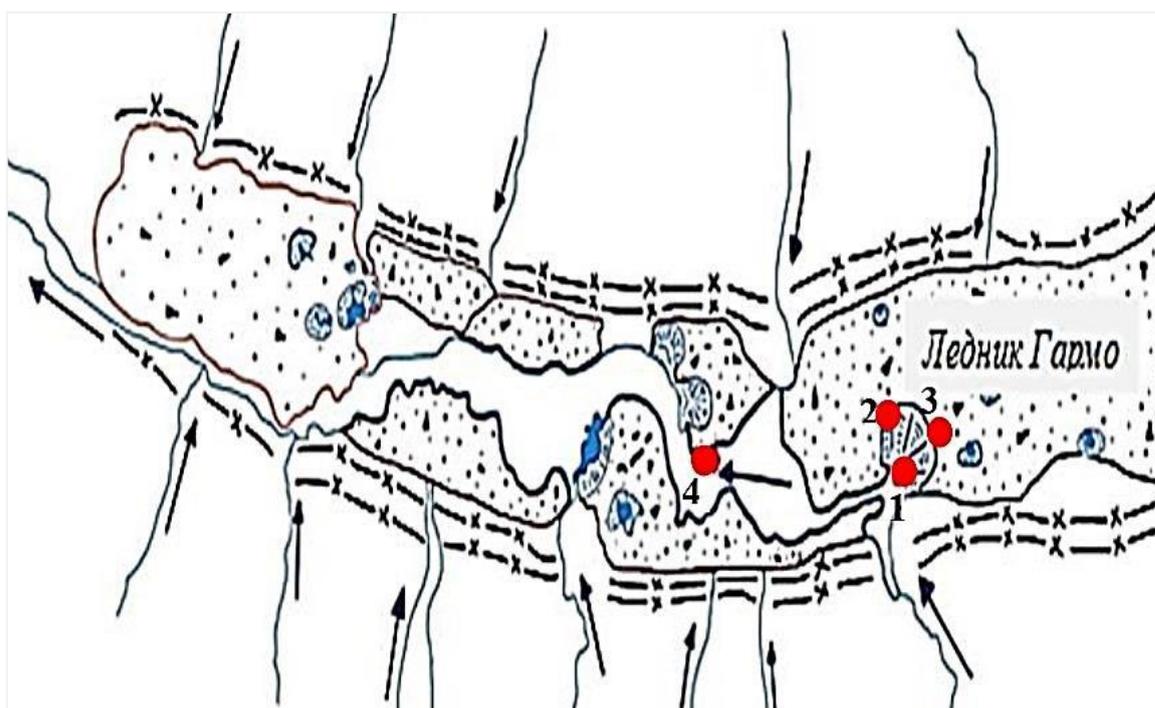


Рис. 38. - Схема отбора проб снежного покрова и талой воды из ледника Гармо

Для определения микроэлементов на каждом пункте отбора были отобраны по десять проб. Использовались промытые кислотой полиэтиленовые контейнеры (250 мл). Пробы отбирали вручную из подповерхностной 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.

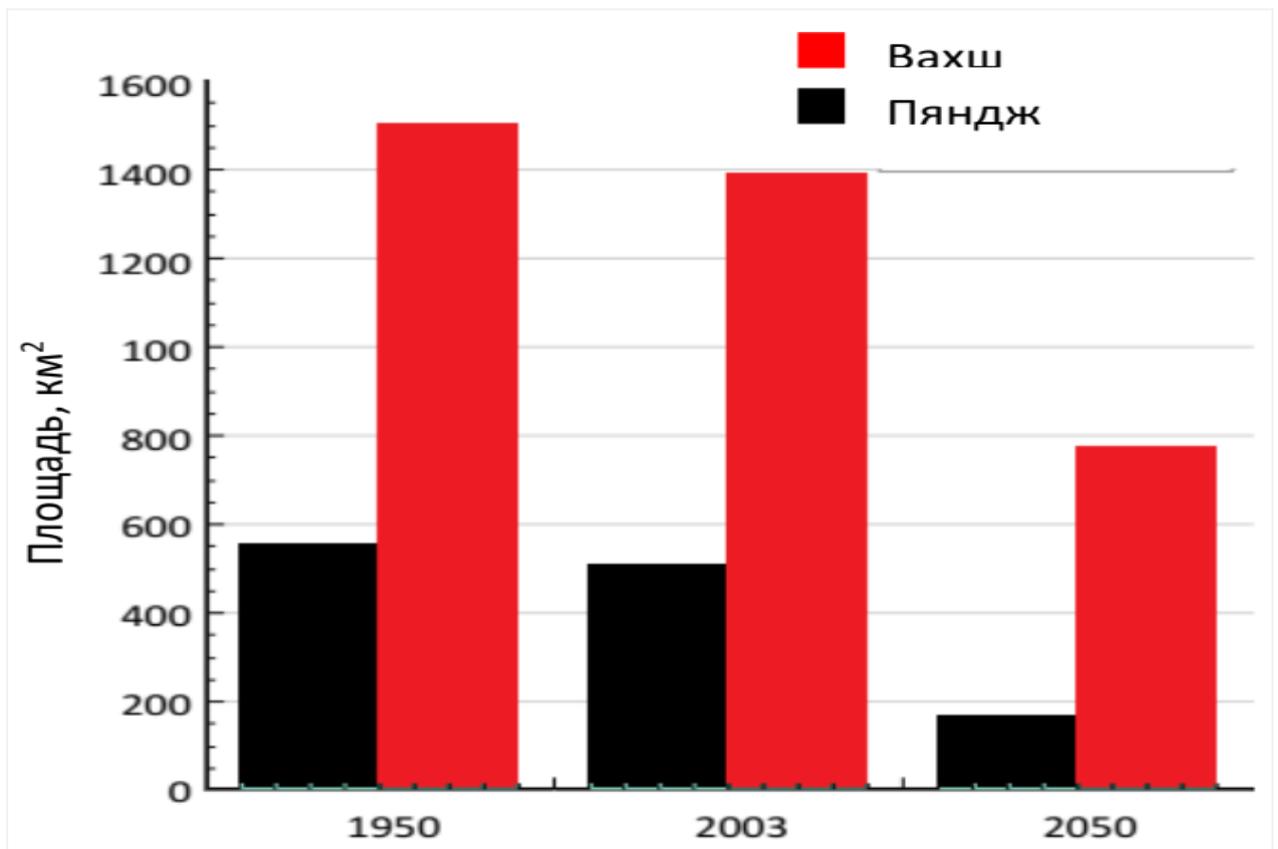
Характер изменения стока рек за рассматриваемый период характеризуется возрастающим трендом. На первый взгляд, создается впечатление, что увеличение стока реки Обихингоу связано с наблюдаемым на рис.3 положительным трендом атмосферных осадков. Однако, на самом деле, главной причиной увеличения стока реки является таяние снежного покрова и ледников бассейна реки Обихингоу.

В бассейне реки Обихингоу интенсивно тает крупнейший ледник Гармо. За XX век он сократился почти на 7 км, потеряв более 6,0 км² площади. В настоящее время он отступает со средней скоростью 9 м/год, поверхность оседает из-за таяния до 4 м/год. Еще один ледник в этой же котловине – Скогач – отступает ежегодно на 11 м.

Согласно отчету Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) к 2050 году ожидается повышение температуры на 1,29 °С для сценария В1 и на 1,65 °С для сценария А2. Более конкретный региональный анализа [160] показывают рост температуры около 2 °С по сравнению с периодом 1960-1990 гг. Принимая прогноз температуры к 2050 г равного 2°С с использованием цифровых моделей рельефа (SRTM и ASTER) разрешением 60 м авторы [161] прогнозируют сокращение объема ледников на 75,5% в Пянджском суббассейне и на 53% в Вахшском суббассейне (таблица 10, рисунок 39).

Таблица 10.
 Расчетные значения площади оледенения и объема ледников в 2003 г и 2050 г и их
 разница для бассейнов рек Пяндж и Вахш [161]

	Бассейн реки Пяндж	Бассейн реки Вахш
Площадь 2003 (км ²)	3592	3399
Площадь 2050 (км ²)	1160	1887
Разница 2003-2050 (км ²)	2432(67.7%)	1513(44.5%)
Объем 2003 (км ³)	152-179	192-230
Объем 2050 (км ³)	37-44	90-108
Разница 2003-2050 (км ³)	115-135 (75.5%)	102-122 (53%)



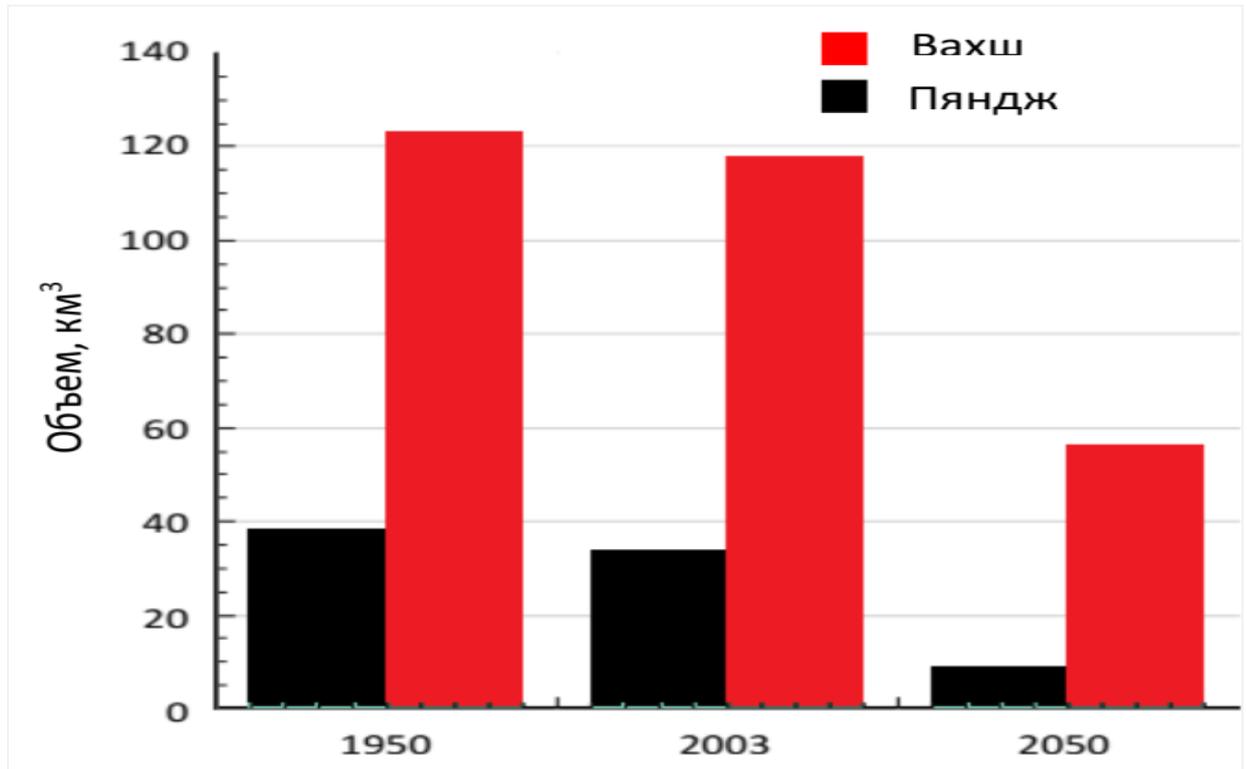


Рис.39. - Расчетные значения площади оледенения и объем ледников в соответствующие годы в бассейнах рек Пяндж и Вахш [161]

Для изучения состояния ледника Гармо и отбора проб воды и снега экспедиционная группа Агентства по гидрометеорологии при Комитете охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан совместно с учеными из Таджикского национального университета работала на верховье реки Обихингоу для изучения состояния ледника Гармо и отбора проб воды и снега с 04 по 12 мая 2021 года.

В таблицах 11 и 12 обобщены результаты химических анализов проб снега и талой воды ледника Гармо.

Таблица 11.

Результаты анализов ионно-солевого состава проб снега и талой воды

Пробы	рН	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Общ. жесткость мг-экв/дм 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	0,28	107
№2 - снег	8,7	4,0	1,9	26,0	7,1	9,6	61,0	0,36	110
№3 - снег	8,4	3,7	0,9	22,7	7,4	9,6	46,4	0,26	91
№4 – талая вода	7,7	31,3	11,2	31,0	11,3	57,6	134,2	2,48	277

Таблица 12.

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

Наименование проб воды	Содержание биогенных веществ, мг/дм ³		Содержание тяжелых металлов, мкг/дм ³				
	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻)	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd
Проба №1 - снег	0,300	0,075	5,3	12,7	10,9	14,1	4,5
Проба №2 - снег	0,180	0,034	7,0	11,8	9,7	11,3	2,1
Проба №3 - снег	0,421	0,046	3,6	10,8	8,3	14,1	3,3
Проба №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 40.

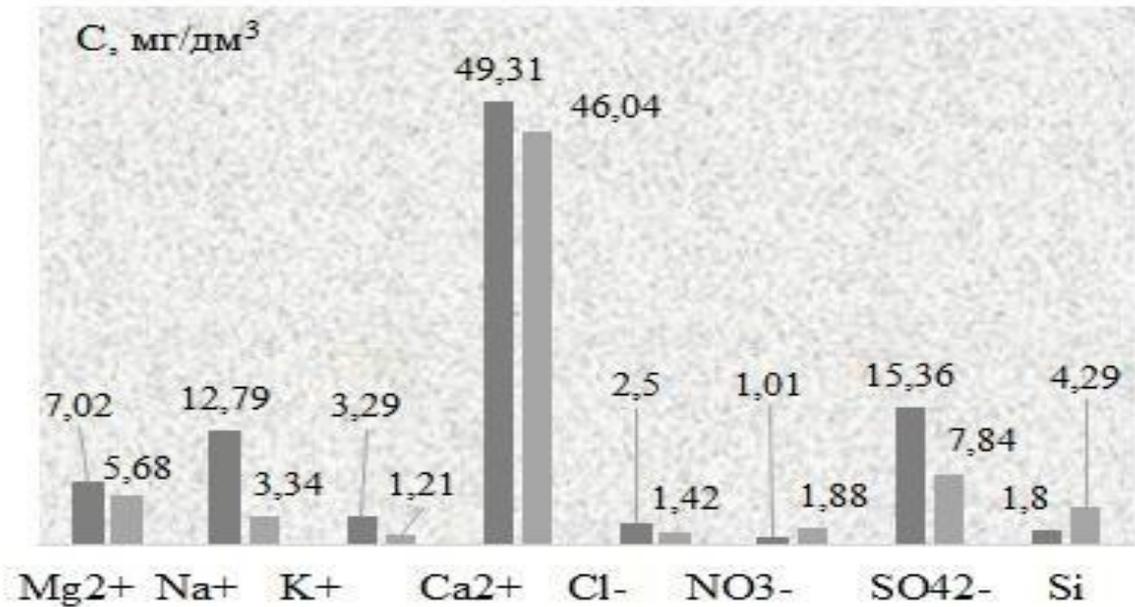


Рис. 40. Концентрации химических элементов в талые воды из ледника Гармо

Данные на рисунке 40 использовались для определения степени применимости вод реки Обихингоу в ирригации сельскохозяйственных земель. Степень применимости вод для ирригации регламентируется индикаторами как коэффициент адсорбции натрия (SAR), процентное содержание натрия (%Na), доля растворимого натрия (SSR) и процентное содержание обменного натрия (ESP), которые вычисляются следующими выражениями [162]:

$$SAR = \frac{Na^+}{\frac{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}}}{2}} \quad (1)$$

$$\%Na^+ = \frac{(Na^+ + K^+) \cdot 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \quad (2)$$

$$SSR = \left(\frac{Na^+}{Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

$$ESP = \left(\frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \right) \quad (4)$$

С использованием выражений (1) – (4) проводились вычисления соответствующих индикаторов по применимости ледниковой воды для ирригации: SAR= 0.451 (м·эquiv/дм³)⁻¹, %Na= 15.620, SSP=15.45 и ESP=0.183, которые существенно ниже критических значений.

Следовательно, можно утверждать, что река Обихингоу не вносит значительного негативного вклада в изменение ионно-солевого состава главной реки Вахш с точки зрения ирригации сельскохозяйственных земель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования продемонстрировали, что геоэкологические последствия влияния климата проявляются в существенном изменении метеорологических условий бассейна реки Пяндж и ее притоков, гидрологических и гидрохимических характеристик рек за рассматриваемый период 1950-2020 гг. Жизнедеятельность более 60% населения региона Центральной Азии тесно связано с сельским хозяйством и катаклизмы климата и его геоэкологические последствия, связанные с сокращением площадей оледенения, нарастанием числа чрезвычайных природных явлений могут привести к ухудшению экономического благосостояния жителей региона. Степень водообеспеченности и объемы формируемых в регионе водных ресурсов являются геоэкологическими индикаторами влияния изменения климата на функционировании двух главных аспектов водопользования – сельского хозяйства и гидроэнергетики. Ожидается, что для двух основных рек Центральной Азии (Сырдарья и Амударья) общий дефицит воды в 2050 году составит 43 км³ в год. Более того, режимы месячного стока существенно изменятся, особенно для реки Амударья, из-за отступления ледников и уменьшения количества снегопадов.

С середины 20-го века до начала 21-го века (2003-2010 гг.) площадь ледников в бассейне реки Вахш, включая верховья реки в Кыргызстане, сократилась с 3700 км² до 3200 км² (от 7,5% до 10%). Это аналогично тенденциям, наблюдаемым на Юго-Западном Памире. Если описанная выше динамика сохранится и с учетом влияния изменения климата, прогнозируется, что площадь ледников может сократиться на 40-50% в бассейне реки Вахш и на 60-70% в бассейне реки Пяндж.

Динамика изменения температур как геоэкологический индикатор изменения температурного режима бассейнов рек свидетельствуют о том, что во всех климатических зонах Памира происходит потепление климата и данный процесс протекает в более ускоренном виде на высокогорье в зоне водосбора реки Пяндж.

Согласно проведенным расчетам возрастание температуры в бассейне реки Пяндж к 2050 году ожидается на 0,31-0,54°C. В частности, в: Дарвазе - 0,9-1,0°C; Хороге – 0.33°C; Ишкашме – 0.54°C; Ирхте – 0.39°C; Джавшангозе – 0.36°C; Мургабе – 0.45 °C, геоэкологическими последствиями которых станут изменение функционирования компонентов экосистем и изменение гидрологических характеристик водных артерий соответствующих бассейнов.

Естественно, что геоэкологические последствия обостряются с нарастанием тенденции влияния антропогенных (увеличение диоксида углерода) и природных климатических условий на состояние снежно-ледовых ресурсов бассейнов и, соответственно, на гидрологические характеристики рек. Согласно нашему прогнозу, к 2050 году ожидается сокращения объема стока реки Пяндж на 7%.

Геоэкологическим индикатором наводнения рек являются снег и сток воды, когда количество тающего снега превосходит потенциал естественного или техногенного геоэкологического способа предотвращения. Площадь снежного покрова остается неизменной и поэтому основными геоэкологическими факторами для контролирования интенсивности наводнений являются количество выпавшего снега. В низовье реки Пяндж (район Хамадони) паводковый сезон начинается с июня и продолжается до августа. Повышенные уровни воды держатся до трех месяцев.

В последнее десятилетие проблема качества воды речных систем приобретает особую актуальность в связи с резким обострением геоэкологического риска появления и распространения инфекционных заболеваний водным путем и не менее острой проблемой загрязнения вод химическими загрязняющими веществами разного происхождения. Для решение данной проблемы, на наш взгляд, важным является наличие информации о составе и транспортировке различных химических элементов и соединений из самой зоны формирования реки, т.е. из ледников и снежных покров бассейнов рек. Известно, что ледники и снежный покров являются аккумуляторами атмосферных аэрозолей, мелких дисперсных химических элементов и соединений. Выбор снежного покрова в качестве естественного геоэкологического индикатора атмосферных загрязнений актуален тем, что снег при формировании эффективно сорбирует примеси из атмосферы и депонирует сухие пылевые выбросы техногенных источников и концентрация загрязняющих веществ в снеге на 2-3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе. Это позволяет проводить измерения содержания веществ достаточно простыми методами с высокой степенью надежности.

Было установлено высокая эффективность изотопной гидрологии в определении

типов (дождевых, снежно-ледовых и ледовых) питания рек и ее широкие возможности в изучении процессов инфильтрации и пополнения резервуаров подземных вод в период таяния снега и ледников и их превращение в источник питания рек в период маловодья.

Учитывая важную миссию водных ресурсов, формируемых на высокогорьях Таджикистана, в орошении сельскохозяйственных земель стран низовья (Узбекистан, Туркменистан) проводились комплекс исследований по определению основных геоэкологических индикаторов применимости вод для ирригации. Было установлено, что воды исследуемых рек и их притоков вполне отвечают всем требованиям использования вод для орошения сельскохозяйственных земель. Было также установлено, что концентрации химических составляющих вод реки Пяндж на верховьях значительно ниже установленных для них ПДК.

Обобщая все вышесказанное, можно утверждать, что для управления бассейнами рек, включая метеорологические и гидрологические наблюдения, необходимо расширение сети наблюдательных постов и расширение сети обмена информацией между странами региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Viviroli D., Weingartner R., Messerli B. Assessing the hydrological significance of the world's mountains // *Mount. Res. Develop.* 2003. 23. P. 32–40.
2. Langston G., Bentley L. R., Hayashi M., et al. Internal structure and hydrological functions of an alpine proglacial moraine // *Hydrol. Process.* 2011. 25. P. 2967–2982.
3. Immerzeel W.W., Droogers P., de Jong S. M., Bierkens M. F. P. Large-scale monitoring of snow cover and runoff simulation in Himalayan river basins using remote sensing // *Remote Sens. Environ.* 2009. 113, P. 40–49.
4. Immerzeel W.W., Pellicciotti F., Bierkens M.F.P. Rising river flows throughout the twenty-first century in two Himalayan glacierized watersheds // *Nat. Geosci.* V. 6, P. 742-745, 2013.
5. Jeelani G., Feddema J. J., van der Veen C. J., Stearns, L. Role of snow and glacier melt in controlling river hydrology in Liddar watershed (western Himalaya) under current and future climate // *Water Resour. Res.* 2012. 48. P.129-135. doi:10.1029/2011WR011590, 2012.
6. Verbunt, M., Gurtz, J., Jasper, K., Lang, H., Warmerdam, P., and Zappa, M.: The hydrological role of snow and glaciers in alpine river basins and their distributed modeling // *J. Hydrol* 2003. 282. P.36–55.
7. Zhang S. Q., Gao X., Ye, B. S., Zhang, X. W., and Hagemann, S.: A modified monthly degree-day model for evaluating glacier runoff changes in China // Part II: application, *Hydrol. Process.* 2012. 26. P.1697–1706.
8. Klok, E. J., Jasper, K., Roelofsma, K. P., Gurtz, J., and Badoux, A.: Distributed hydrological modelling of a heavily glaciated Alpine river basin // *Hydrology. Sci. J.* 2001. 46. P.553–570.
9. Z. H. He¹, J. Parajka, F. Q. Tian¹, and G. Blöschl. Estimating degree-day factors from MODIS for snowmelt runoff modeling // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2014. 18. P.4773–4789. www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/4773/2014/ doi:10.5194/hess-18-4773-2014.
10. IPCC. Climate change 2007: Synthesis Report. In C.W. Team, R.K. Pachauri, & A. Reisinger (Eds.). Geneva, Switzerland.
11. Adam, J.C., Hamlet, A.F., & Lettenmaier, D.P. Implications of global climate change for snowmelt hydrology in the twenty-first century // *Hydrological Processes.* 2009. 23. P.962-972.

12. Bikas Chandra Bhattarai, Dhananjay Regmi. Impact of Climate Change on Water Resources in View of Contribution of Runoff Components in Stream Flow: A Case Study from Langtang Basin, Nepal// *Journal of Hydrology and Meteorology*, 2015. Vol. 9. No. 1, P.74-84.
13. Hosaka, M., D. Nohara, and A. Kitoh, 2005: Changes in snow cover and snow water equivalent due to global warming simulated by a 20 km-mesh global atmospheric model// *SOLA*. 2005. 025. P. 93–96, doi:10.2151/sola.2005-025.
14. Christensen, J. H., and Coauthors, 2007: Regional climate projections. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, J. T. Houghton et al., Eds., Cambridge University Press. 2007. P. 847–940.
15. Räisänen, J., Warmer climate: Less or more snow// *Climate Dyn.* 2008. 30. P.307–319.
16. Deser, C., R. Thomas, M. Alexander, and D. Lawrence, The seasonal atmospheric response to projected Arctic sea ice loss in the late twenty-first century// *J. Climate*, 2010. 23. P. 333–351.
17. Barry, R. G., 1996: The parameterization of surface albedo for sea ice and its snow cover. *Prog. Phys. Geogr.*, 20, 63–79.
18. Robinson, D. A., Hemispheric snow cover from satellites// *Ann. Glaciol.* 1993. 17.P. 367–371.
19. Frei, A., and G. Gong, Decadal to century scale trends in North American snow extent in coupled atmosphere-ocean general circulation models// *Geophys. Res. Lett.*, 2005.32. L18502, doi: 10.1029/2005GL023394.
20. Lemke, P. 2007: Observations: Changes in snow, ice and frozen ground. *Climate Change // The Physical Sciences Basis*, S. Solomon et al., Eds., Cambridge University Press, 2007. P.337–383.
21. Kuchment L.S. MODELING OF PROCESSES OF SNOW COVER FORMATION AND SNOWMELT. *HYDROLOGICAL SYSTEMS MODELING// Vol. I - Modeling of Processes of Snow Cover Formation and Snowmelt. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*.
22. Prokop, A., Schirmer, M., Rub, M., Lehning, M., and Stocker, M. A comparison of measurement methods: terrestrial laser scanning, tachymetry and snow probing, for

- the determination of the spatial snow depth distribution on slopes// *Annals of Glaciology*, 2008.49(1).P.210–216.
23. Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J., Strömqvist, J., and Arheimer, B. Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – a water quality model for different spatial scales// *Hydrology Research*, 2010. 41(3-4). P.295–319.
 24. Gustafsson D., Ahlberg J., Feiccabrino J., Lindström, G., Lundberg, A., Sundström, N., and Wetterhall, F. Distribuerade system for förbättrade smöck avrinningsprognoser – integration i hydrologiska modeller. Slutrapport. Elforsk rapport. 2012. P.12-53.
 25. Kolberg, S. A. and Gottschalk, L. Updating of snow depletion curve with remote sensing data// *Hydrological Processes*. 2006. 20(11) P.2363–2380.
 26. Udnæs, H.-C., Alfnes, E., and Andreassen, L. M. Improving runoff modelling using satellite-derived snow covered area// *Nordic Hydrology*. 2007. 38(1). P.21–32.
 27. Taurisano, A., Schuler, T. V., Hagen, J. O., Eiken, T., Loe, E., Melvold, K., and Kohler, J. The distribution of snow accumulation across the Austfonna ice cap, Svalbard: direct measurements and modelling// *Polar Research*. 2007. 26. P.7–13.
 28. Arheimer, B., Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J., and Strömqvist, J. Development and test of a new Swedish water quality model for small-scale and large-scale applications// In *Proceedings of the XXV Nordic Hydrological Conference, Reykjavik, 2008. August 11-13.*
 29. Jost, G., Moore, R. D., Menounos, B., and Wheate, R.: Quantifying the contribution of glacier runoff to streamflow in the upper Columbia River Basin// *Canada, Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2012. 16. P.849–860, doi:10.5194/hess-16-849-2012, 2012.
 30. Dahlke, H. E., Lyon, S. W., Stedinger, J. R., Rosqvist, G., and Jansson, P.: Contrasting trends in floods for two sub-arctic catchments in northern Sweden – does glacier presence matter// *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2012. 16. P.2123–2141, doi:10.5194/hess-16-2123-2012, 2012.
 31. Hock, R., Rees, G., Williams, M. W., and Ramirez, E.: Preface: Contribution from glaciers and snow cover to runoff from mountains in different climates// *Hydrol. Process.* 2006. 20. P.2089–2090.

32. Farinotti, D., Usselman, S., Huss, M., Bauder, A., and Funk, F.: Runoff evolution in the Swiss Alps: projections for selected highalpine catchments based on ENSEMBLES scenarios// *Hydrol. Process.* 2012. 26. P.1909–1924, doi:10.1002/hyp.8276, 2012.
33. Immerzeel, W. W., van Beck, L. P. H., Konz, M., Shrestha, A. B., and Bierkens, M. F. P.: Hydrological response to climate change in a glacierized catchment in the Himalayas// *Clim. Change.* 2012. 110. P.721–736, doi:10.1007/s10584-011-0143- 4, 2012.
34. Schaner, N., Voisin, N., Nijssen, B., and Lettenmeier, D. P.: The contribution of glacier melt to streamflow, *Environ// Res. Lett.* 2012.7. P.1–8, doi:10.1088/1748-9326/7/3/034029, 2012.
35. Stahl, K., Moore, R. D., Shea, J. M., Hutchinson, D., and Cannon, A. J.: Coupled modelling of glacier and streamflow response to future climate scenarios// *Water Resour. Res.*, 2008. 44, W02422, doi:10.1029/2007WR005956, 2008.
36. Huss, M., Farinotti, D., Bauder, A., and Funk, M.: Modelling runoff from highly glacierized alpine drainage basins in a changing climate//*Hydrol. Process* 2008. 22.P. 3888–3902, doi:10.1002/hyp.7055, 2008.
37. Huss, M.: Present and future contribution of glacier storage change to runoff from macroscale drainage basins in Europe// *Water Resour. Res.* 2011. 47. W07511, doi:10.1029/2010WR010299, 2011.
38. Young, G.J.; Hewitt, K. Hydrology research in the Upper Indus basin, Karakoram Himalaya, Pakistan// *IAHS Publications.* 1990. 190. P.139-152.
39. Zhetker, M.I.; Tsarev, B.K. 1991. Gliatsiologiya gornix oblastey: snezhniy pokrov, ledniki, lavini (Glaciology of the Mountain regions: snow cover, glaciers, snow avalanches)// *Trudi SARNIGMI* Tashkent, USSR: Central Asian Hydrometeorological Institute. 1991. 140. P134. (in Russian)
40. Krenke, A.N. Massoobmen v lednikovix sistemax na territorii SSSR (Mass exchange in glacier systems in the USSR). Leningrad: Hydrometeoizdat, 1982. P.188 (in Russian).
41. Glazirin, G.E. Raspredelenie i rezhim gornix lednikov. (Distribution and rezhime of alpine glaciers). Leningrad, USSR: Hydrometeoizdat. 1985. P.116. (in Russian).

42. Kotlyakov, V.M. (Ed.). Atlas snego-ledovix zapasov mira //Atlas of Snow and Ice Resources of the World. Moscow, Russia: Academy of Sciences (in Russian). 1997. P.512.
43. Winiger, M.; Gumpert, M.; Yamout, H. Karakoram–Hindukush–Western Himalaya: assessing high-altitude water resources// *Hydrological Processes*. 2005. 19. P. 2329-2338.
44. Kotlyakov, V.M.; Lebedeva, I.M. Vozmozhnie izmeneniya abliatsii lednikov I lednikovogo stoka visochaishih gornih stran Azii v sviazi s globalnim potepleniem klimata. (Potential changes of ablation and glacier runoff in the High Asia due to global warming)// *Data of Glaciological Studies*. 1999. 88. P.3-15 (In Russian).
45. Young, G.J.; Hewitt, K. Glaciohydrological features of the Karakoram Himalaya: Measurements, possibilities and constraints// *IAHS Publications*. 1993. 218. P. 273-283.
46. Fowler, H.J.; Archer, D.R. Hydro-climatological variability in the Upper Indus Basin and implications for water resources// *IAHS Publications*. 2005. 295. P. 131-138.
47. Fowler, H.J.; Archer, D.R. Conflicting signals of climatic change in the Upper Indus Basin// *Journal of Climate*. 2006. 19(17). P. 4276-4293.
48. Forsythe, N.; Kilsby, C.G.; Fowler, H.J.; Archer, D.R. Assessing climate pressures on glacier-melt and snowmelt-derived runoff in the Hindu Kush-Karakoram sector of the Upper Indus Basin. International Symposium on Managing Consequences of a Changing Global Environment// Newcastle, UK: British Hydrological Society. 2010. P. 1-8.
49. Hewitt, K. The Karakoram anomaly? Glacier expansion and the ‘elevation effect,’ Karakoram Himalaya// *Mountain Research and Development*. 2005. 25. P. 332-340.
50. Immerzeel, W.W.; Pellicciotti, F.; Shrestha, A.B. Glaciers as a proxy to quantify the spatial distribution of precipitation in the Hunza Basin// *Mountain Research and Development*. 2012. 32(1). P 30-38.
51. Armstrong, R.L. The glaciers of the Hindu Kush-Himalayan Region. A summary of the science regarding glacier melt/retreat in the Himalayan, Hindu Kush, Karakoram, Pamir, and Tien Shan mountain ranges// USAID/ICIMOD, Technical Paper. Kathmandu: ICIMOD. . 2010. P. 16.

52. Viviroli, D.; Archer, D.R.; Buytaert, W. Climate change and mountain waterresources: Overview and recommendations for research, management and policy// *Hydrology and Earth System Sciences*. 2011. 15. P. 471-504.
53. Alford, D.; Armstrong, R.; Racoviteanu, A. Glacier retreat in the Nepal Himalaya. The role of glaciers in the hydrologic regime of the Nepal Himalaya. Technical Report for the World Bank, South Asia Sustainable Development (SASDN) Environment and Water Resources Unit. Kathmandu// World Bank. 2009. P.86.
54. Alford, D.; Armstrong, R. The role of glaciers in stream flow from the Nepal Himalaya//*The Cryosphere Discussions*. 2010. 4. P 469-494.
55. Andermann, C.; Longuevergne, L.; Bonnet, S.; Crave, A.; Davy, P.; Gloaguen, R. Impact of transient groundwater storage on the discharge of Himalayan Rivers// *Nature Geoscience*. 2012. 5. P.127-131.
56. L'vovich, M.I. Opit klassifikatsii rek SSSR (Classification of the rivers of USSR)// Trudi Gosudarstvennogo Gidrologicheskogo Instituta. 1938. 6. P.79 (in Russian).
57. Shults, V.L. Reki Sredney Azii (Rivers of Central Asia)// Leningrad: Hydromeoizdat. 1965. P.285. (in Russian)
58. Scheglova, O.P. Pitanie rek Sredney Azii (Rivers' budget in Central Asia)//Tashkent: University Press. 1960. P.243.
59. Kemmerikh, A.O. Rol lednikov v stoke rek Sredney Azii (Glaciers' part in the stream flow in Central Asia)// *Data of Glaciological Studies*. 1972. 20. P.82-94. (inRussian).
60. Kamalov, B.A. Sovremennoe oledenenie i stok v basseine Syr Darii (Glacier system and runoff in the Syr Darya basin at present). Tashkent: Central Asian Hydrometeorological Institute// *Trudi SARNIGMI*. 1974. 12 (93) P. 79-81(in Russian).
61. Krenke, A.N. Lednikoviy stok v reki Sredney Azii i vozmozhnosti ego uregulirovaniya (Glacier runoff in Central Asian rivers and the options for its regulation)// *Vodnie resursi (Water Resources)* 1980. 3. P.5-19. (In Russian)
62. Konovalov, V.G. Tayanie i stok s lednikov v basseinax rek Sredney Azii (Melt and runoff from glaciers in the river basins in Central Asia)// Leningrad, USSR: Hydrometeoizdat. 1985. P.235. (in Russian).

63. Ratsek, I.V.. Fluctuations and evolution of glacier runoff in the Naryn basin. PhD thesis summary// Moscow: Russian Academy of Sciences. 1991. P. 20. (in Russian).
64. Sokalskaya, A.M. Formation of glacier runoff in Tien Shan. PhD thesis summary// Moscow: Russian Academy of Sciences. 1994. P.26. (in Russian).
65. Dyurgerov, M.B.; Lu, S.; Xie, Z.-C. (Eds). Olednenie Tian Shania (Glacier system of Tien Shan)// Moscow: Institute of Geography Russian Academy of Sciences. 1995. P.163. (in Russian).
66. Lebedeva, I.M. Changes in glacier runoff of the Hindu Kush rivers under global warming// Data of Glaciological Studies. 1997. 83. P.65-72 (in Russian).
67. Shetinnikov, A.G. Ledniki basseina reki Pskem. (Glaciers in the Pskem riverbasin)// Leningrad: Hydrometeoizdat. 1976. P. 120. (in Russian).
68. Shetinnikov, A.G. Morfologiya i olednenie Pamiro-Alaya. (Morphology and glacier systems of Pamir-Alay)//Tashkent: SANIGMI. 1998. P.219. (in Russian).
69. Mamatkanov, D.L.; Bazhanova, L.V.; Romanovskiy, V.V. Vodnie resursi Kyrgyzstana na sovremennom etape (Water resources of Kyrgyzstan at present)// Bishkek: Ilim. 2006. P.265. (In Russian).
70. Kuzmichenok, V.A. Monitoring of water, snow and glacial resources of Kyrgyzstan. In: Assessment of snow, glacier and water resources in Central Asia, eds., Braun, L.N.; Hagg, W.; Severskiy, I.V.; Young, G.// IHP-HWRP. 2009. 8. P. 84-98.
71. Sorg, A.; Bolch, T.; Stoffel, M.; Solomina, O.; Beniston, M. Climate change affects glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia)// Nature Climate Change 2012. 2. P. 725-731.
72. Норматов П.И., Маркаев Б.А., Норматов И.Ш. Метеорологические особенности климатических зон бассейна трансграничной реки Пяндж // Известия Иркутского гос. ун-та. Сер. Наука о Земле. 2017. Т.21. С.106–113.
73. Kolberg S. A., Gottschalk L. Updating of snow depletion curve with Remote sensing data //Hydrological Processes. 2006. Vol. 20, N 11. P. 2363–2380.
74. Adam J. C., Hamlet A. F., Lettenmaier D. P. Implications of global climate change for snowmelt hydrology in the twenty-first century// Hydrological Processes. 2009. N 23. P. 962–972.

75. Bhattarai B. Ch., Dhananjay R. D. Impact of Climate Change on Water Resources in View of Contribution of Runoff Components in Stream Flow: A Case Study from Langtang Basin. Nepal. *J. Hydrol & Meteorol.* 2011. Vol. 9, N 1. P. 75–84.
76. Kuchment L. S., Gelfan A. N. Statistical self-similarity of spatial variations of snow cover: verification of the hypothesis and application in the snowmelt runoff generation models // *Hydrol. Processes.* 2001. Vol. 15, N 18. P. 3343–3355.
77. Pohl E., Gloaguen R., Seiler R. 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 // *Remote Sens.* 2015. Vol. 7 (8). Pp. 9727–9752. Doi: 10.3390/rs70809727.
78. Arheimer, B., et al. Development and test of a new Swedish water quality model for small-scale and large-scale applications // *Proc. XXV Nordic Hydrological Conference, Reykjavik, 2008 August 11–13.* P. 105–111.
79. Udnaes H. C., Alfnes E., Andreassen L. M. Improving runoff modelling using satellite derived snow covered area // *Nordic Hydrology.* 2007. Vol. 38, N 1. P. 21–32.
80. Pu Z., Xu L., Salomonson V. V. MODIS / Terra observed seasonal variations of snow cover over the Tibetan Plateau. *Geophys. Res. Lett.* 2007. Vol. 34. P. 106–112.
81. Dietz A., Conrad C., Kuenzer C., Gesell G., Dech S. Identifying Changing Snow Cover Characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from Remote Sensing // *Remote Sens.* 2014, v. 6, P. 75–77.
82. Pohl E., Knoche M., Gloaguen M. R., et al. Sensitivity analysis and implications for surface processes from a hydrological modelling approach in the Gunt catchment, high Pamir Mountains // *Earth Surf. Dynam.* 2015. V. 3. P. 333–362.
83. Knoche M., Ralf Merz R. Bridging Glaciological and Hydrological Trends in the Pamir Mountains, Central Asia. *Water* // 2017, V. 9, 422, P. 1-28
84. Ganoulis J. Water resources management and environmental security in Mediterranean transboundary river basins. *Environmental Security and Environmental Management: The Role of Risk Assessment.* Morel, B. and Linkov L. (Eds). Springer, 2006, P. 49-58.
85. Loucks D.P., Gladwell J.S. Sustainability criteria for water resource systems. Prepared by the working group of UNESCO IHP Project M-4.3. Cambridge University Press. 2000.

86. Wilhite D.A., Glantz M.H. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions// *Water International* 1985.10. P.111-120.
87. Wilhite D.A. Drought policy in the US and Australia: A comparative analysis// *Water Resources Bulletin*. 1986. 22. P.425-438.
88. Wilhite D.A., Wood D.A. Planning for drought: The role of state government// *Water Resources Bulletin*, 1985. 21. P. 31-38.
89. Altinbilek D. The role of dams in development// *Water Science and Technology*, 2002. 45(8). P. 169-180.
90. Merabtene T., Kawamura A., Jinno K., Olsson J. Risk assessment for optimal drought management of an integrated water resources system using a genetic algorithm// *Hydrol. Process*. 2002. 16 (11). P. 2189-2208.
91. Morris G., Fan J. *Reservoir Sedimentation Handbook*// McGraw-Hill, New York. 1998.
92. Teaf C.M., Kuperberg I. M. Risk assessment, risk management & riskcommunication: principles and applications. In *Risk Assessment as a Tool for Water Resources Decision-Making in Central Asia*. Teaf et al. ed. NATO Sciences Series//Kluwer Academic. The Netherlands, 2004. P. 1-15.
93. Jasanoff S. Bridging the two cultures of risk analysis// *Risk Anal*. 1993. 13. P. 123-129.
94. Croke B.F.W., Ticehurst J.L. et al. Integrated assessment of water resources// Australian experiences, *Water Resources Management*. 2007. 21(1). P. 351-373.
95. Ganoulis J. (2004) Integrated risk analysis for sustainable water resources management. In *Comparative Risk Assessment and Environmental Decision Making*. Linkov I., Bakr Ramadan. A. (Eds)// NATO Science Series, Kluwer Academic. The Netherlands, 2004, P. 275-285
96. Iglesias A., Gentoft L., Flores, F., Moneo M. Challenges to manage the risk of water scarcity and climate change in the Mediterranean// *Water Resources Management*. 2007. 21(5). P. 775-788.
97. U.S.EPA. Environmental Protection Agency Superfund Risk Assessment. 2002. <http://www.epa.gov/superfund/programs/risk/index.htm>.
98. European Commission European Commission Chemical Risks. 2002. website: <http://ihcp.jrc.cec.int/Activities/ACIChem/ACTChem.html>

99. Jain S.K., Singh V.P. Water Resources Systems Planning and Management.
100. Унифицированные методы анализа вод /Под. ред. Ю.Ю. Лурье. - М.: Химия, 1971. – 375 с.
101. Фруммин Г.Т. Оценка состояния водных объектов и экологическое нормирование – СПб: Синтез, 1998. – С. 45-53.
102. Фруммин Г.Т. Экологическая химия и экологическая токсикология. Учеб. Пособие. – СПб.: РГГМУ, 2002. - С.107-111.
103. Huss, M., Farinotti, D., Bauder, A., and Funk, M.: Modelling runoff from highly glacierized alpine drainage basins in a changing climate, *Hydrol. Process.* 22, 3888–3902, doi:10.1002/hyp.7055, 2008.
104. Normatov I., Normatov P. Climate change impact on hydrological characteristics and water availability of the Mountain Pamir Rivers. *Proc. IAHS*, 2020, vol. 383, pp. 31–41. <https://doi.org/10.5194/piahs-383-31-2020>.
105. Норматов П.И., Одинаев К.Н., Норматов И.Ш. Известия ИГУ. Изменение гидрологических характеристик реки Гунт в зависимости от метеорологических условий Серия «Науки о Земле»//2020. Т. 32. С. 103–112
106. Hock R., Rasul G., Adler C., Cáceres B., Gruber S., Hirabayashi Y., Jackson M., Kääb A., Kang S., Kutuzov S., Milner A., Molau U., Morin S., Orlove B., Steltzer H. High Mountain Areas. In: *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, pp. 131-202.
107. Kapnick S., Hall A. Causes of recent changes in western North American snowpack. *Clim. Dyn.* 2012, vol.38, no 9–10, pp. 1885–1899, doi: 10.1007/s00382-011-1089-y.
108. Marty C., Tilg A. M., Jonas T. Recent evidence of large-scale receding snow water equivalents in the European Alps. *J. Hydrometeorology*. 2017, vol.18, no4, pp. 1021–1031. doi:10.1175/JHM-D-16-0188.1.
109. Skiles S.M., Flanner M., Cook J.M., Dumond M., Painter T.H. Radiative forcing by light-absorbing particles in snow. *Nat. Clim. Change*. 2018, vol. 8, no11, pp. 964-971. doi: 10.1038/s41558-018-0296-5.
110. Qian Y. Light-absorbing particles in snow and ice: Measurement and modeling of climatic and hydrological impact. *Adv. Atmos. Sci.* 2015, vol. 32, no1, pp. 64–91, doi:10.1007/s00376-014-00100.

111. Kaspari S., Painter T.H., Gysel M., Skiles S.M., Schwikowski M. Seasonal and elevational variations of black carbon and dust in snow and ice in the Solu-Khumbu, Nepal and estimated radiative forcings // *Atmos. Chem. Phys.* 2014, Vol.14. 15. P. 8089–8103, doi: 10.5194/acp-14-8089-2014.
112. Di Mauro B., Fava F., Ferrero L., Garzonio R., Baccolo G., Delmonte B., Colombo R. Mineral dust impact on snow radiative properties in the European Alps combining ground, UAV, and satellite observations// *J. Geophys. Res.* 2015. Vol. 120, no12. P. 6080–6097. doi:10.1002/2015JD023287.
113. Painter T.H., Flanner M.G., Kaser G., Marzeion B., VanCuren R.A. and Abdalati
114. W. End of the Little Ice Age in the Alps forced by industrial black carbon// *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 2013. Vol. 110, no38. P. 15216–15221. doi:10.1073/pnas.1302570110.
115. Li, C., Bosch C., Kang S., Andersson A., Chen P., Zhang Q., Cong Z., Chen B., Qin D., Gustafsson O. Sources of black carbon to the Himalayan-Tibetan Plateau glaciers// *Nat. Commun.* 2016. Vol. 7. no1. P.1-7. doi:10.1038/ncomms12574.
116. Zhang Y., Kang S., Sprenger M., Cong Z., Gao T., Li T., Tao S., Zhong X., Xu M., Meng W., Neupane B., Qin X., Sillanpaa M. Black carbon and mineral dust in snow cover on the Tibetan Plateau// *Cryosphere.* 2018. Vol. 12, no2, P. 413–431. doi:10.5194/tc-12-413-2018.
117. Molina, L.T., Gallardo L., Andrade M., Baumgardner D., Borbor-Cordova M., Borques R., Casessa G., Cereceda-Balic F., Dawidowski L., Garreaud R., Huneus N., Lambert F., McCarty J.L., McPhee J., Mena-Carrasco M., Raga G.B., Schmitt C., Schwartz J.P. Pollution and its Impacts on the South American Cryosphere// *Earth's Future.* 2015. Vol. 3. P. 345–369, doi:10.1002/2015EF000311.
118. Liu Q., Tian L.D., Wang J.L., R. Wen R., Weng Y.B., Shen Y.P., Vladislav M., Kanaev E. A study of longitudinal and altitudinal variations in surface water stable isotopes in West Pamir, Tajikistan// *Atmospheric Research.* 2015. Vol. 153. P.10–18.
119. Gat J.R., Carmi I. Evolution of the isotope composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area// *J. Geophys. Res.* 1970. Vol.75. P. 3039–3048.
120. Poage M.A., Chamberlain C.P. Empirical relationships between elevation and the stable isotope composition of precipitation and surface waters: considerations for studies of paleoelevation change// *Am. J. Sci.* 2001, Vol. 301. P.1–15.

121. Vasilchuk Yu. K. New data on trends and causes of change the magnitude of the Deuterium excess in a single snowfall// Reports of the Academy of Sciences. 2014. Vol. 459 (1). P. 109-111. (In Russian).
122. Братцев А. Учение о гидросфере. Факторы формирования состава воды. Условия и процессы формирования химического состава природных вод// Учеб. м-лы. <http://www.abratsev.ru>.
123. Li G. J., Ji J. F., Zhao L., Mao C. P. & Chen J. Respond of silicate weathering to monsoon changes on the Chines Loess Plateau// CATENA 2007. 72. P. 405–412.
124. Torres M., West A. & Li G. J. Sulphide oxidation and carbonate dissolution as a source of CO₂ over geological timescales// Nature. 2007. 507. P. 346–349.
125. Liu Z. H., Dreybrodt W. & Liu H. Atmospheric CO₂ sink: silicate weathering or carbonate weathering// Appl. Geochem. 2011. 26. P. 292–294.
126. Boeglin J. L., Probst J. L. Physical and chemical weathering rates and CO₂ consumption in a troplateritic environment: the Upper Niger basin. Chem// Geol. 1998. 148. P. 137–156.
127. Horton T. W., Chamberlain C. P., Fantle M. Chemical weathering and lithologic controls of water chemistry in a high-elevation river system, Clark's Fork of the Yellowstone river Wyoming and Montana// Water Resour. Res. 1999. 35. P. 1645–1655.
128. Palmer, M. R. & Edmond, J. M. Controls over the strontium isotope composition of river water. Geochim// Cosmochim. Acta. 1992. 56. P. 2099–2111.
129. Dupre B., Gaillardet J., Rousseau D., Allegre C. J. Major and trace elements of river-borne material: the Congo basin// Geochim. Cosmochim. Acta. 1996. 60, P. 1301–1321.
130. Edmond J. M., Palmer M. R., Measures C. I., Brown E. T., Huh Y. Fluvial geochemistry of the eastern slop of the northeastern Andes and its fore deep in the drainage of the Orinoco in Colombia and Venezuela// Geochim. Cosmochim. Acta. 1996. 60. P. 2949–2976.
131. Grosbois C., Negrel P., Grimaud D., Fouillac C. An overview of dissolved and suspended matter fluxes in the Loire river basin, natural and anthropogenic input// Aquat. Geochem. 2001. 7. P. 81–105.

132. Gaillardet J., Dupre B., Louvat P., Allegre C. J. Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers// *Chem Geol.* 1999. 159.P.3–30.
133. Паромов В.В., Савичев О.Г., Шантыкова Л.Н., Т.А. Торгашева Т.А. Ионный сток и химический состав ледниковой реки Актру (горный Алтай)// *Вестник Томского государственного университета.* 2014. 383. С.226–231.
134. Meybeck, M. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads // *Amer. J. Sci.* 1987. V. 287(5). P.401–428. DOI:10.2475/ajs.287.5.401.
135. Meier Ch. Multiple-tracer based characterization of a river catchment in the Pamir Mountains// Halle-Wittenberg, Martin Luther University, 2019. P.91.
136. Pandey S.K., Singh A.K., Hasnain S.I. Weathering and Geochemical Processes Controlling Solute Acquisition in Ganga Headwater–Bhagirathi River, Garhwal Himalaya, India // *Aqua. Geochem.* 1999. N.5. P.357–379.
137. Отчет о водном туристском походе в районе Юго-Западного Памира: Душанбе – к. Джамак вверх по Реке Язгулем до летника Бугузипок - сплав по Р. Язгулем – переезд в верховья Реки Шахдара – сплав по Р. Шахдара – переезд в верховья Реки Гунт по Р. Гунт – Душанбе// *Рубцовск.* 2011. С, 51. [www. Veslo.ru](http://www.Veslo.ru).
138. Норматов И.Ш., Армстронг Р., Норматов П.И. Сравнительная оценка формирования стока рек в климатических зонах горного Памира // *Устойчивое развитие горных территорий.* 2020. Т.12. N3 (45). С.366–372.
139. Drever J. I., Zobrist J. Chemical weathering of silicate rocks as a function of elevation in the southern Swiss Alps // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1992. Vol.56. P. 3209–3216.
140. Gibbs R. J. Mechanisms controlling world water chemistry // *Science.* 1970. Vol.170 (3962). P. 1088–1090. DOI: 10.1126/science.170.3962.1088.
141. Li S., Zhang Q. Geochemistry of the upper Han River basin, China, 1: Spatial distribution of major ion compositions and their controlling factors // *Appl. Geochem.* 2008. Vol. 23(12). P. 3535-3544. DOI:10.1016/j.apgeochem.2008.08.012.
142. Dalai T.K., Krishnaswami S., Sarin M.M., 2002. Major ion chemistry in the headwaters of the Yamuna River system: chemical weathering, its temperature dependence and CO₂ consumption in the Himalaya // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2002. no. 66. P. 3397–3416.

143. Moon S., Huh Y., Qin J., Van Pho N. Chemical weathering in the Hong (Red) River basin: Rates of silicate weathering and their controlling factors// *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2007. 71. P. 1411–1430.
144. Caves J.K., Jost A.B., Lau K.V., Maher K. Cenozoic carbon cycle imbalances and a variable weathering feedback// *Earth Planet. Sci. Lett.* 2016. 450. P. 152–163.
145. Li Y., Cao W., Su C., Hong H. Nutrient sources and composition of recent algal blooms and eutrophication in the northern Jiulong River, Southeast China// *Mar. Pollut. Bull.* 2011. 63. P. 249–254.
146. Zhao Z., Liu G., Liu Q., Huang C., Li H. Studies on the Spatiotemporal Variability of River Water Quality and Its Relationships with Soil and Precipitation: A Case Study of the Mun River Basin in Thailand// *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2018. 15. P. 2466–2475.
147. Wang L., Zhang L., Cai W.J., Wang B., Yu Z. Consumption of atmospheric CO₂ via chemical weathering in the Yellow River basin: The Qinghai–Tibet Plateau is the main contributor to the high dissolved inorganic carbon in the Yellow River// *Chem. Geol.* 2016. 430. P. 34–44.
148. Chetelat B., Liu C.Q., Zhao Z.Q., Wang Q.L., Li S.L., Li J., Wang B.L. Geochemistry of the dissolved load of the Changjiang Basin rivers: Anthropogenic impacts and chemical weathering// *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2008. 72. P. 4254–4277.
149. Millot R., Gaillardet J., Dupré B., Allègre C.J. The global control of silicate weathering rates and the coupling with physical erosion: New insights from rivers of the Canadian Shield// *Earth Planet. Sci. Lett.* 2002. 196. P. 83–98.
150. Li S.L., Calmels D., Han G., Gaillardet J., Liu C.Q. Sulfuric acid as an agent of carbonate weathering constrained by $\delta^{13}\text{CDIC}$: Examples from Southwest China// *Earth Planet. Sci. Lett.* 2008. 270. P. 189–199.
151. Li G. J., Ji J. F., Zhao L., Mao C. P., Chen J. Respond of silicate weathering to monsoon changes on the Chines Loess Plateau// *CATENA.* 2007. 72 P. 405–412.
152. Torres M., West A., Li G. J. Sulphide oxidation and carbonate dissolution as a source of CO₂ over geological timescales// *Nature.* 2014. 507. P. 346–349.
153. Liu Z. H., Dreybrodt W., Liu H. Atmospheric CO₂ sink: silicate weathering or carbonate weathering// *Appl. Geochem.* 2011. 26. P. 292–294.

154. Bermer R. A., Lasaga A. C., Garrels R. M. The carbonate-silicate geochemical cycle and its effect on atmospheric carbon dioxide over the past 100 million years// *Am. J. Sci.* 1983. 283. P. 641–683.
155. Boeglin J. L., Probst J. L. Physical and chemical weathering rates and CO₂ consumption in a troplateritic environment: the Upper Niger basin// *Chem. Geol.* 1998. 148. P. 137–156.
156. Horton T. W., Chamberlain C. P., Fantle M. Chemical weathering and lithologic controls of water chemistry in a high-elevation river system, Clark's Fork of the Yellowstone river Wyoming and Montana// *Water Resour. Res.* 1999. 35. P. 1645–1655.
157. Palmer M. R., Edmond J. M. Controls over the strontium isotope composition of river water// *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1992. 56. P. 2099–2111.
158. Chetelat B. Geochemistry of the dissolved load of the Changjiang Basin Rivers: anthropogenic impacts and chemical weathering// *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2008. 72. P. 4254–4277.
159. Cao Y. J., Tang C. Y., Song X. F., Liu C. M. Major ion chemistry, chemical weathering and CO₂ consumption in the Songhua River basin Northeast China// *Environ. Earth Sci.* 2015. 73. P. 7505–7516.
160. Donnini M. Chemical weathering and consumption of atmospheric carbon dioxide in the Alpine region// *Glob. Planet Change.* 2016. 136. P. 65–81.
161. Li X., Han G., Man Liu M., Yang K., Liu J. Hydro-Geochemistry of the River Water in the Jiulongjiang River Basin, Southeast China: Implications of Anthropogenic Inputs and Chemical Weathering // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019. 16, N440,
162. Tairov A. Ob izuchenii ionnogo stoka reki Syrdar'i v ee nizhnem techenii [On the study of the ion flow of the Syr Darya river in its lower course]// *Voprosy geografii i geojekologii [Questions of geography and geoecology].* 2015, no.1, P.67–71. (in Russian).
163. Kirsta Ju.B., Puzanov A.V. Sistemno-analiticheskoe modelirovanie ionnogo stoka gornyh rek [System-analytical modeling of ion flow of Mountain Rivers]// *Polzunovskij al'manah [Polzunovsky Almanac].* 2018, no.4, P.113–116. (in Russian).
164. Paromov V.V., Savichev O.G., Shantykova L.N., T.A. Torgasheva T.A. Ionnyj stok i himicheskij sostav lednikovoj reki Aktru (gornyj Altaj) [Ion runoff and chemical composition of the Aktru glacial river (Gorny Altai)]// *Vestnik Tomskogo*

gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Tomsk State University].2014, no.383, P. 226–23. (in Russian).

- 165.Lioubimtseva, E., Henebry, G.M. Climate and environmental change in arid Central Asia: Impacts, vulnerability and adaptations// Journal of Arid Environments. 2009. 73(11).P.963-977.
- 166.Wagner, S., Hoelzle, M. Study 4. 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//FAO. 2010. P. 112-134.
- 167.Normatov I. Sh., Anderson R., Karimzoda A., Normatov A. Conservation and protection of the Central Asia region highlands water resources is the key to the future development of Agriculture and Food security// Intern. J. Sustainable development of Mountain territories, 2022, V.13. N4 (50), P.469-475.