

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр
Российской академии наук»

На правах рукописи



ДРЕЕВА ФАТИМА РОБЕРТОВНА

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В
ГОРНЫХ РЕКАХ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ
ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1.6.21. Геоэкология (географические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Нальчик – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»

Научный руководитель: **Бакаева Елена Николаевна**
доктор биологических наук
Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Гидрохимический институт»,
ведущий научный сотрудник

Официальные
оппоненты: **Даувальтер Владимир Андреевич,**
доктор географических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки «Федеральный
исследовательский центр «Кольский научный
центр Российской академии наук», Институт
проблем промышленной экологии Севера,
главный научный сотрудник

Савенко Алла Витальевна,
доктор геолого-минералогических наук,
Московский государственный университет имени
М.В. Ломоносова, Геологический факультет,
ведущий научный сотрудник

Защита диссертации состоится **27 декабря 2023 года в 15:00** на заседании диссертационного совета ЮФУ801.01.11 по географическим наукам на базе Института наук о Земле Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, к. 201.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им. Ю.А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 21Ж и на сайте Южного федерального университета <https://hub.sfedu.ru/diss/show/1319431/>.

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Отзыв на автореферат в 2-х экз. (с указанием даты, полностью ФИО, учёной степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса, телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, к. 305, ученому секретарю диссертационного совета ЮФУ801.01.11 Решетняк О.С., а также в формате pdf на e-mail: osreshetnyak@sfedu.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Решетняк Ольга Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Одним из важнейших показателей качества природных вод является их микроэлементный состав. Хотя в большинстве случаев микрокомпоненты содержатся в природных водах в весьма малых количествах (Никаноров, 2008), некоторые из них способны оказать негативное воздействие на живые организмы, в том числе, мутагенное (Реутова и др., 2011; Martyn et al., 1989; Flaten, 2001; Kawahara et al., 2011; Shugalei et al., 2013; Uriu-Adams et al., 2005). Из-за способности накапливаться в экосистемах и живых организмах и оказывать токсичное действие на них даже после прекращения поступления, некоторые из микроэлементов (МЭ) относятся к приоритетным загрязнителям, содержание которых в воде строго нормируется. В то же время, при недостаточном поступлении ряда микропримесей в организм человека или животных могут возникнуть заболевания, вызванные их дефицитом (такие, как эндемический зоб) и нарушения обмена веществ (Hummel et al., 2007; De Flora et al., 1990). В воде содержатся растворимые формы МЭ, которые способны к активной миграции, а значит, наиболее легко усваиваются живыми организмами. Именно поэтому необходимо контролировать их содержание в природных водах.

Существует общепринятое мнение, что в высокогорных ледниках сосредоточены запасы «кристально чистой воды», а вода в реках, которые берут от них начало, является эталоном качества. Как правило, воды в таких реках являются ультрапресными, а исследование микроэлементного состава вод считают нецелесообразным, так как окружающая среда в высокогорье почти не испытывает антропогенной нагрузки. При этом в складчатых областях зачастую бывает повышен естественный геохимический фон многих МЭ, что не может не сказаться на составе природных вод. Одним из таких регионов является и Центральный Кавказ, а именно его западная часть, которая расположена в пределах Кабардино-Балкарской Республики (КБР). Здесь встречается множество проявлений рудных полезных ископаемых (Лаврищев и др., 2011) и выходов глубинных подземных вод с аномальным составом (Реутова и др., 2017а), происходит выпадение загрязняющих веществ (ЗВ) из атмосферы и накопление их в ледниках, сток с которых питает большинство рек и ручьев исследуемой территории (Керимов и др., 2018). Всё это приводит к повышенному содержанию МЭ в природных водах даже в зонах, свободных от техногенной нагрузки.

Для водоснабжения населения горной территории КБР и туристического кластера «Курорт Эльбрус» используют как подземные

источники, так и воду из небольших поверхностных рек и ручьев без их дополнительного обследования, и единственным этапом водоподготовки которых может быть очистка от механических примесей путем отстаивания. Оценка качества природных вод с позиции загрязненности их микроэлементами в данном регионе также не проводилась. Кроме того, различные источники питания (с участием и без участия талых вод ледников, далее по тексту «ледниковые» и «неледниковые» реки) рек региона, большое разнообразие факторов, оказывающих влияние на состав вод, и их различных сочетаний позволяет выявить некоторые закономерности формирования микроэлементного состава речных вод в горной зоне КБР. Все это обуславливает актуальность данного исследования.

Степень разработанности проблемы. Первые исследования состава природных вод на территории КБР начали проводить еще в начале XX века (Балкаров и др., 1960). Регулярные наблюдения за химическим составом рек бассейна Терека стали проводиться в 40-е годы XX века (Панов и др., 2015), но использовались ныне устаревшие методы, не позволяющие определять низкие и следовые концентрации различных примесей. На современном этапе исследования содержания микропримесей в реках Кабардино-Балкарии носили, как правило, эпизодический характер. Зачастую были связаны с оценкой влияния деятельности горнопромышленного предприятия на компоненты окружающей среды (Хаустов и др., 2012), с отдельными водными объектами (Кучменова и др., 2021) или включали ограниченный перечень компонентов (Жинжакова и др., 2017). Наиболее подробно содержание микроэлементов в природных водах Кабардино-Балкарии на протяжении многих лет изучали в Высокогорном геофизическом институте, однако створы наблюдения находились на наиболее крупных реках региона достаточно далеко от истоков на территориях с высокой степенью освоенности (Реутова и др., 2015а), что в итоге не позволяло однозначно определить источники поступления ЗВ и выявить особенности формирования микроэлементного состава речных вод КБР от самых истоков. Кроме того, ранее не предпринималось никаких попыток построить карты распределения микроэлементов в реках региона и оценить комплексную загрязненность МЭ вод региона исследования на основе общепринятой методики. Наши исследования направлены на восполнение этих пробелов.

Цель исследования. Выявить особенности распределения микроэлементов в водах рек горной части Кабардино-Балкарии под влиянием природных и антропогенных источников их поступления.

Задачи исследования.

1. Охарактеризовать источники природного и антропогенного

поступления микроэлементов в речные воды горной территории Кабардино-Балкарии.

2. Изучить содержание ряда микроэлементов (Al, Mo, Cu, Zn, Mn, Ni, Cr, Pb, Cd, Ag) и выявить особенности их распределения в водах горной части бассейнов рек Малка, Баксан, Чегем и Черек.

3. Оценить степень загрязнённости микроэлементами вод горных рек КБР от зоны формирования до выхода на предгорную равнину.

4. Составить карты распределения отдельных микроэлементов в реках Кабардино-Балкарской Республики с использованием ГИС-технологий.

Объект исследования. Главные горные реки КБР (Малка, Баксан, Чегем и Черек) и их притоки.

Предмет изучения. Особенности распределения микроэлементов в речных водах горной части КБР.

Научная новизна. Получены новые данные по распределению МЭ в водах главных рек КБР от высокогорья до выхода на предгорную равнину, испытывающих влияние природных и антропогенных факторов. Впервые установлен микроэлементный состав вод малых ледниковых и неледниковых рек высокогорной части КБР, формирующих главные реки региона исследования. Выявлены точечные природные источники поступления МЭ в горные реки. Впервые проведена комплексная оценка загрязнённости МЭ вод бассейна р. Баксан от зоны формирования до выхода на предгорную равнину.

Теоретическая значимость. Впервые получен обширный массив данных по содержанию Al, Mo, Cu, Zn, Mn, Ni, Cr, Pb, Cd и Ag в речных водах горной части бассейнов рек Малка, Баксан, Чегем и Черек. Выявлены особенности пространственного распределения МЭ в горных реках КБР. Проведена оценка загрязнённости микроэлементами вод горных рек бассейна р. Баксан от зоны формирования до выхода на равнину. Выделены природные и антропогенные источники поступления МЭ в речные воды бассейнов основных рек КБР.

Практическая значимость. Результаты исследований использованы при подготовке отчётов по темам научно-исследовательских работ, проводимых в Центре географических исследований Кабардино-Балкарского научного центра РАН (ЦГИ КБНЦ РАН) в 2013-2021 годах. Подготовлен комплект карт распределения МЭ в ледниковых и неледниковых реках горной части КБР и разработана структура базы данных, используемой для их построения. Материалы, полученные в ходе подготовки диссертации, использованы при разработке программы дополнительного образования детей, реализуемой в объединении «Геоэкология» Дворца творчества детей и молодежи в г. Нальчик. Основные положения и выводы работы

использовались при чтении курса лекций по экотоксикологии в Институте Наук о Земле ЮФУ.

Методология и методы исследования. В работе использовались описательный, сравнительный, картографический, экспедиционный, географо-гидрологический, геоэкологический методы, химического и математического анализа, статистической обработки и моделирования, для реализации которых использованы программы MS Excel и Golden Software Surfer. Определение содержания растворимых форм МЭ выполнялось методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией. Расчет оценки загрязненности водных объектов выполнялся на основе РД 52.24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям» с использованием свободного перечня загрязнителей, который позволяет использовать любой набор ингредиентов при расчетах уровня загрязненности.

Защищаемые положения.

1. Основными природными источниками поступления микроэлементов в горные реки Кабардино-Балкарии являются подземные пресные и минеральные воды, дренируемые горные породы, слагающие территории водосбора, антропогенными - Тырныаузский вольфрамо-молибденовый комбинат (ТВМК) и его отдельные объекты.

2. Пространственное распределение двух групп микроэлементов в горных реках Кабардино-Балкарии от высокогорья к низкогорью в разных бассейнах имеет общие черты и особенности, которые для отдельных элементов и бассейнов вызваны изменением гидрохимических условий и наличием природных и антропогенных источников поступления. Первая группа микроэлементов (Al, Mn, Pb) имеет тенденцию к снижению концентраций по течению, вторая, подавляющая по числу элементов (Mo, Ni, Cr, Cu, Zn, Ag, Cd), – хаотичное распределение.

3. Особенностью реки Баксан является одинаково высокая степень загрязнённости микроэлементами («грязные» – 4 «а», «б»), как в высокогорье, так и в средне- и низкогорье, обусловленная разными источниками поступления загрязнителей - природными и антропогенными соответственно.

Фактический материал. Диссертационная работа основана на оригинальном материале, полученном автором в ходе полевых работ и лабораторных исследований, проводимых Центром географических исследований Кабардино-Балкарского научного центра РАН по темам «Исследование природных и техногенных загрязнителей в различных

ландшафтных условиях и разработка генетических методов их биоиндикации» (2013-2015 гг.), «Исследование закономерностей формирования и динамики содержания микропримесей в поверхностных водах горной зоны Центрального Кавказа» (2016-2018 гг.) и «Исследование динамики состава природных вод Северного Кавказа в зависимости от высотной зональности и биоиндикация влияния условий высокогорья на живые организмы» (2019-2021 гг.). Всего отобрано более 700 проб воды в 175 створах, в том числе в бассейнах р. Малка 32 створа, р. Баксан – 75, р. Чегем – 29 и р. Черек - 39. В пробах выполнялось измерение содержания 10 микроэлементов (Ag, Cd, Pb, Zn, Mn, Cu, Ni, Cr, Mo и Al). Всего было выполнено более 20000 измерений.

Соответствие паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 1.6.21. Геоэкология:

1. Изучение состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов.

5. Природная среда и индикаторы ее изменения под влиянием естественных природных процессов и хозяйственной деятельности человека (химическое и радиоактивное загрязнение биоты, почв, пород, поверхностных и подземных вод), наведенных физических полей, изменения состояния криолитозоны.

Степень достоверности и апробация результатов. Обширный фактический материал, лежащий в основе исследования, полученный в ходе собственных полевых и лабораторных исследований с применением установленных нормативными документами методик, а также современные высокоточные приборы и методы определения содержания МЭ в воде, использованные в работе, позволяют говорить о достоверности полученных результатов.

Основные результаты исследования были представлены на Международных и Всероссийских конференциях: «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод», г. Ростов-на-Дону (2015 и 2020); «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов», г. Москва (2015); «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» (2016, 2020, 2021, 2022); «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий», г. Майкоп (2019, 2023); «Изучение водных и наземных экосистем: история и современность», г. Севастополь (2021); «Ферсмановская научная сессия» (2023) и др.

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликовано 44 научные работы, в том числе 3 в журналах, индексируемых в международных базах Web of Science и Scopus, 7 - в журналах из перечней ЮФУ и ВАК, 1 монография и 33 работы в рецензируемых журналах, тематических сборниках трудов и материалах международных и всероссийских конференций, совещаний.

Личный вклад автора. Автор лично участвовал во всех этапах выполнения работы, включая участие в 30 экспедициях в горные районы Кабардино-Балкарии для отбора проб, их подготовке и определении микроэлементного состава вод в лабораторных условиях на приборе МГА-915. Проведена систематизация и анализ полученных данных, на основе которых выполнена оценка загрязненности р. Баксан и ее притоков МЭ. Лично автором разработан подход к картографированию полученной гидрохимической информации и на его основе построен комплект карт по распределению МЭ в бассейнах рек КБР. Автором совместно с научным руководителем обоснована актуальность темы диссертации, определены цель и задачи исследования, выполнена интерпретация результатов.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и 2 приложений. Изложена на 156 страницах, проиллюстрирована 21 таблицей и 38 рисунками. Список литературы состоит из 137 наименований, из них 11 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю – доктору биологических наук Бакаевой Елене Николаевне за поддержку и всестороннюю помощь в подготовке диссертационной работы, своим коллегам – сотрудникам Центра географических исследований КБНЦ РАН, особенно своим соавторам Реутовой Нине Васильевне и Реутовой Татьяне Васильевне, совместные исследования с которыми внесли неоценимый вклад в выполнение диссертационного исследования на всех его этапах, а также сотрудникам кафедры геоэкологии и прикладной геохимии Института наук о Земле Южного федерального университета и лично профессору Закруткину Владимиру Евгеньевичу за советы и консультации при написании диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГИОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Приведена общая физико-географическая характеристика района исследования, описаны главные реки региона, образующие независимые

бассейны водосборов в горной зоне. Описана история изучения микроэлементного состава природных вод на территории исследования и современная система мониторинга качества вод горных рек КБР. На современном этапе изучением содержания микроэлементов в реках КБР занимается целый ряд авторов (Хаустов, Дубяга, 2012; Реутова и др., 2015; Винокуров и др., 2016; Жинжакова и др., 2017; Газаев и др., 2017; Керимов, Рототаева, 2018; Ермаков и др., 2020; Атабиева и др., 2021; Алита и др., 2021; Шилькрот и др., 2021 и др.). Однако большинство из этих работ были связаны с изучением влияния ТВМК на окружающую среду, с исследованием отдельных водных объектов или рек равнинной части региона, где водотоки разбиваются на рукава и протоки, перемешиваются, а также испытывают интенсивную антропогенную нагрузку. Рассмотрение степени изученности проблемы позволило выявить пробелы, на восполнение которых направлена данная работа.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дано описание сети наблюдений и расположение пунктов отбора проб воды (рисунок 1), методики отбора, подготовки и анализа проб. Измерение содержания растворимых форм Ag, Cd, Pb, Zn, Mn, Cu, Ni, Cr, Mo и Al выполнялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией на приборе МГА-915 в соответствии с утвержденной методикой (Количественный химический анализ..., 2013).

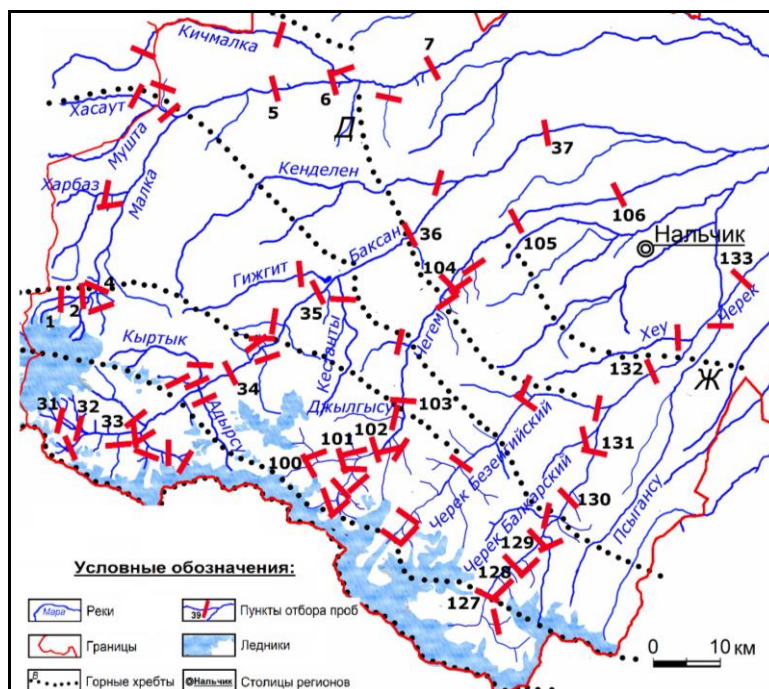


Рисунок 1 – Карта-схема пунктов отбора проб воды в горных реках Кабардино-Балкарии

Проведена статистическая обработка полученных результатов с использованием программ Excel и QGIS 3.16, вычислены среднеголетние концентрации МЭ в каждом пункте наблюдения. На их основе были построены таблицы с минимальными/средними/максимальными уровнями содержания определяемых МЭ в исследуемых главных реках и их бассейнах в целом, а также графики распределения МЭ в главных реках региона и их ледниковых и неледниковых притоках первого порядка.

Кроме того, полученные данные использовались при оценке загрязнённости природных вод реки Баксан и ее притоков по содержанию 10 микроэлементов. Расчеты выполнялись на основе РД 52.24.643-2002 с использованием свободного перечня загрязнителей, который позволяет использовать любой набор ингредиентов для сравнения степени загрязненности отдельных рек и пунктов наблюдений, определения качества воды водных объектов по определенному набору показателей (частные оценочные баллы, удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ), критические показатели загрязненности (КПЗ), класс и разряд качества и др.) и выделение приоритетных ЗВ.

Для построения карт, отображающих распределение МЭ в природных водах горной части КБР, была использована геоинформационная система Golden Software Surfer, которая позволяет строить различные типы карт при помощи заложенных в неё алгоритмов интерполяции и создавать цифровые модели поверхности по неравномерно распределённым в пространстве данным (Силкин, 2008). Для успешной работы в программе Golden Software Surfer была собрана первичная база данных в программе Excel по содержанию различных примесей в исследуемых водах с указанием характеристик пунктов отбора и самих водных объектов. Основой при создании базового слоя - карты гидрографической сети — послужила карта Кабардино-Балкарии (масштаб 1:270000).

ГЛАВА 3. ИСТОЧНИКИ ПРИРОДНОГО И АНТРОПОГЕННОГО ПОСТУПЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ГОРНЫЕ РЕКИ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

На основе литературных данных и результатов собственных исследований приведена характеристика основных источников поступления МЭ в горные реки КБР. Выявлено, что микроэлементный состав горных рек Кабардино-Балкарии в значительной мере определяется влиянием дренируемых горных пород, которые отличаются высокой степенью мозаичности и считаются потенциально пригодными для добычи целого ряда

металлов (Cu, Zn, W, Mo, Pb, Sr и др.). При этом высокие концентрации того или иного МЭ в исследуемых реках вызваны не только высоким содержанием в дренируемых породах или отдельными геохимическими аномалиями, но и внешними или внутренними факторами водной миграции.

Заметное влияние на пространственное распределение МЭ также оказывают источники пресных и минеральных подземных вод. Большинство источников содержат значительно более низкие концентрации МЭ в сравнении с кларками подземных вод. Выявлено, что индикаторным элементом для пресных вод верховьев рек Баксан и Черек и осевой зоны Скалистого хребта является Мо, а Mn совместно с Cu, Cr, Ni, Zn – для минеральных железистых вод типа «нарзан». В слабоминерализованных минеральных источниках без примесей железа помимо Mn и Zn в качестве индикаторного дополнительно может выступить Ni.

Основным антропогенным источником поступления МЭ, оказывающим значительное влияние на распределение Мо в бассейне р. Баксан, оказался ТВМК, который не работает 20 лет. С объектов ТВМК (хвостохранилища, отвалы вскрышных пород, подземные выработки и карьеры) Мо поступает в р. Баксан в основном с водами притоков первого порядка (р. Камыксу, ручьи Большой и Малый Мукулан) ниже 36-го км по течению, вследствие чего его концентрации увеличиваются в нижерасположенных пунктах в 7-10 раз (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание Мо в р. Баксан и водных объектах в районе Тырныаузского вольфрам-молибденового комбината (мкг/л).

№ пункта	Местоположение пункта	Мо
34	Р. Баксан, 36-й км, выше объектов ТВМК	0,70
85	Руч. Большой Мукулан	729,67
87	Руч. Малый Мукулан	1263,09
255	Руч. «Рудник», исток	550,50
254	Руч. «Рудник», устье	568,44
256	Р. Камыксу (Тырныаузу), исток	0,44
257	Р. Камыксу, выше штолен	38,12
259	Сток из штольни	195,72
88	Р. Камыксу, устье	90,07
35	Р. Баксан, 60-й км, выше р. Гижгит и хвостохранилища	4,87
90	Р. Гижгит, выше хвостохранилища	0
89	Р. Гижгит, устье, ниже хвостохранилища	1,46
91	Былымское оз., хвостохранилище	20,47
93	Малый ост. пруд хвостохранилища	1197,96
36	Р. Баксан, 77 км, ниже объектов ТВМК	6,84
	ПДК _{рыб.хоз.}	1

ГЛАВА 4. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РЕЧНЫХ ВОДАХ ГОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ КБР

Для всех бассейнов горных рек Кабардино-Балкарии характерны следовые количества Ag и Cd; случаи повышения концентраций Mn, связанные с поступлением минеральных вод; равномерное распределение Ni для бассейнов всех рек, однако для бассейна р. Баксан свойственны более высокие его концентрации (до 25,0 мкг/л) (таблица 2). Распределение и содержание других МЭ в водах разных бассейнов рек, напротив, существенно различается.

Таблица 2 - Содержание микроэлементов в водах главных рек горной части Кабардино-Балкарской Республики*, мкг/л.

Эл-ты	Р.Малка	Р.Баксан	Р.Чегем	Р.Черек
Ag	$\frac{0,07 \div 0,30}{0,15}$	$\frac{0,21 \div 0,60}{0,32}$	$\frac{0,10 \div 0,57}{0,25}$	$\frac{0,09 \div 0,87}{0,37}$
Cd	$\frac{0,02 \div 0,06}{0,04}$	$\frac{0,03 \div 0,10}{0,06}$	$\frac{0,03 \div 0,05}{0,04}$	$\frac{0,02 \div 0,07}{0,04}$
Mn	$\frac{8,43 \div 37,83}{17,7}$	$\frac{5,45 \div 9,18}{7,47}$	$\frac{4,35 \div 21,57}{11,7}$	$\frac{7,71 \div 22,1}{12,56}$
Ni	$\frac{0,5 \div 2,3}{1,3}$	$\frac{1,5 \div 25,0}{6,4}$	$\frac{0,5 \div 1,6}{1,0}$	$\frac{1,1 \div 5,4}{2,5}$
Al	$\frac{28,1 \div 247,2}{143,7}$	$\frac{148,4 \div 738,7}{290,8}$	$\frac{310,0 \div 916,2}{497,6}$	$\frac{51,5 \div 528,9}{284,2}$
Zn	$\frac{9,3 \div 77,2}{33,28}$	$\frac{4,5 \div 26,1}{19,3}$	$\frac{4,5 \div 23,4}{13,4}$	$\frac{11,0 \div 46,7}{23,5}$
Mo	$\frac{0,26 \div 0,63}{0,42}$	$\frac{0,22 \div 6,06}{2,43}$	$\frac{0,49 \div 0,95}{0,71}$	$\frac{0,3 \div 1,85}{1,07}$
Pb	$\frac{0,43 \div 1,76}{1,09}$	$\frac{0,82 \div 1,38}{1,12}$	$\frac{0,74 \div 6,37}{1,92}$	$\frac{0,66 \div 6,33}{2,07}$
Cr	$\frac{0,6 \div 1,6}{1,1}$	$\frac{0,5 \div 0,7}{0,6}$	$\frac{0,5 \div 2,6}{1,4}$	$\frac{0,6 \div 1,8}{1,1}$
Cu	$\frac{1,47 \div 3,78}{2,71}$	$\frac{2,12 \div 6,52}{4,51}$	$\frac{1,06 \div 3,87}{2,33}$	$\frac{1,56 \div 5,11}{2,89}$

*В числителе - $C_{\min} \div C_{\max}$; в знаменателе – $C_{\text{ср}}$

Наибольшие концентрации Al в водах ледниковых рек зон формирования рек Малка (до 330 мкг/л), Баксан (до 1200 мкг/л) и Чегем (до 1000 мкг/л) связаны с наличием Эльбрусского и Верхне-Чегемского вулканических центров. Увеличение содержания Al в р. Черек в низкогорной зоне до 530 мкг/л обусловлено возникновением гидрохимических условий, благоприятных для его активной миграции.

Наименьшие концентрации Zn характерны для бассейна р. Чегем (в реке - до 16, в притоках – до 30 мкг/л). Воды бассейнов рек Малка (в реке до 77, в притоках до 63 мкг/л), Баксан (в реке до 26 мкг/л, в притоках 60 и более)

и Черек (в реке до 47, в притоках – до 140 мкг/л) содержат более высокие концентрации Zn. Такие уровни содержания Zn в водах региона обусловлены геохимическими особенностями дренируемых пород.

Наименьшее содержание Mo ($0,2 - 1,0$ мкг/л) характерно для бассейнов рек Малка и Чегем. Высокое содержание Mo в нижних створах реки Баксан ($4,4-6,1$ мкг/л) связано с поступлением вод притоков, загрязненных в результате деятельности ТВМК. В бассейне р. Черек повышение (до $1,9$ мкг/л) содержания Mo в среднегорной зоне связано с поступлением подземных, в т. ч. и карстовых вод, обогащённых Mo (рисунок 2).

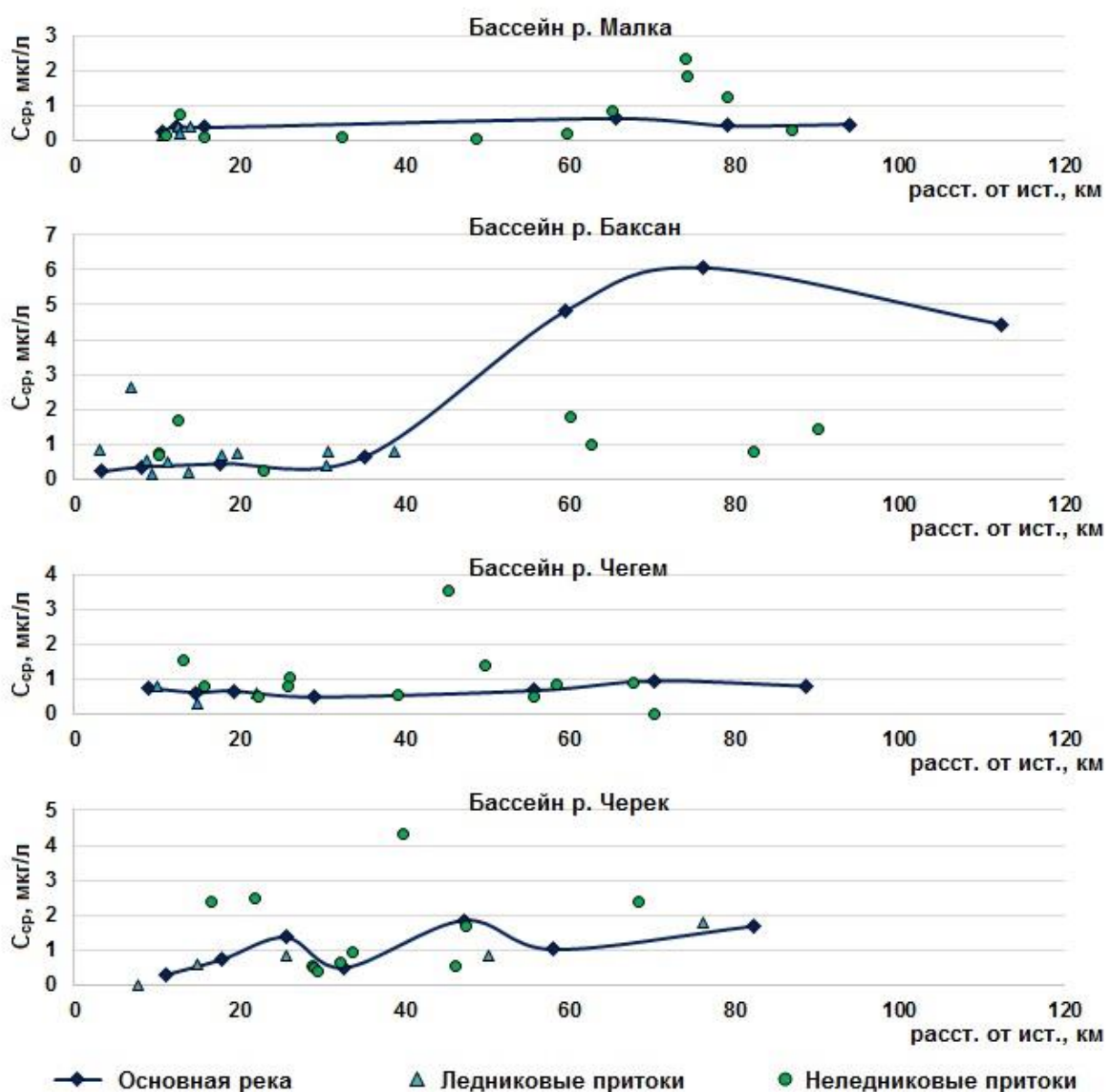


Рисунок 2 – Изменение концентраций Mo по течению в основных реках КБР (◆) и содержание Mo в их ледниковых (▲) и неледниковых (●) притоках первого порядка

В верховьях рек Черек и Чегем фиксируется скачок концентраций Pb до 8 мкг/л, связанный с геохимическими особенностями дренируемых пород. Ниже по руслу этих рек концентрации Pb значительно (почти в 8 раз) снижаются и находятся на уровне (0,7-1,5 мкг/л) сравнимым с бассейнами рек Баксан и Малка.

В реках Малка, Баксан и Черек Cr распределен примерно равномерно, и его концентрации варьируют в пределах от 0,5 до 0,7 мкг/л (р. Баксан) и от 0,6 до 1,6-1,8 мкг/л (реки Малка и Черек соответственно). Для р.Чегем характерен более широкий диапазона изменения концентраций Cr по течению (от 0,5 до 2,6 мкг/л), и при этом проявляется тенденция к снижению концентраций от верхнего к нижнему створу.

Для рек Баксан, Чегем и Черек закономерности по увеличению или уменьшению содержания меди от истока к замыкающему створу не наблюдается. В то время как в водах р. Малка выявлено повышение концентраций Cu от верхнего к нижним створам, что связано с поступлением ее с водами неледниковых притоков в среднегорной зоне, которые берут начало в районе с высоким содержанием Cu в дренируемых породах. При этом, диапазоны изменения концентраций Cu в реках Малка, Чегем и Черек примерно одинаковы (почти все пункты от 1,1 до 5,1 мкг/л). В р. Баксан концентрации Cu несколько выше и достигают 6,5 мкг/л.

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ГОРНЫХ РЕК КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ НА ПРИМЕРЕ БАСЕЙНА Р. БАКСАН

Содержание в горных реках целого ряда МЭ, поступающих из природных и антропогенных источников, концентрации которых регулярно превышают допустимые нормы, вызывает необходимость проведения оценки загрязненности рек региона микроэлементами. В качестве примера была выбрана р. Баксан, так как ее бассейн испытывает наибольшую антропогенную нагрузку. Оценка проводилась на основе РД 52.24.643-2002 с выделением ряда показателей загрязненности.

Наибольшие значения удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) были отмечены в пунктах отбора на р. Баксан на 36-м, 60-м и 113-м километрах (4,82-5,24), а также в высокогорных ледниковых притоках – р. Гарабаши (4,85) и р. Адылсу (4,89) (рисунок 3). Если река Баксан в нижних пунктах оказалась загрязнена в результате антропогенной деятельности, то загрязнение притоков в высокогорной зоне носит природный характер. В р. Гарабаши, которая полностью свободна от

антропогенной нагрузки, характерные загрязнители поступают с талыми потоками с ледника Гарабаши на склоне Эльбруса и мощным выходом подземных вод с большим расходом воды (водопад Девичьи Косы), в котором часто наблюдается превышение ПДК_{рыб.хоз.} по нескольким металлам (Al, Cu, Mo). На реке Адылсу расположено несколько турбаз и палаточных лагерей, которые функционируют только летом, но даже тогда не бывают заполнены. При этом в ущелье встречается множество выходов подземных вод, в которых отмечаются повышенные концентрации некоторых микроэлементов (Реутова Н. В. и др., 2016). Несколько отличался от прочих исследованных объектов пункт, расположенный на р. Донгуз-Орун в районе поляны Чегет, являющейся центром туризма на протяжении нескольких десятилетий. УКИЗВ здесь заметно ниже прочих (3,06), что позволяет считать этот объект наименее загрязненным. Все прочие пункты оказались довольно близки по значениям УКИЗВ (3,22-4,52).

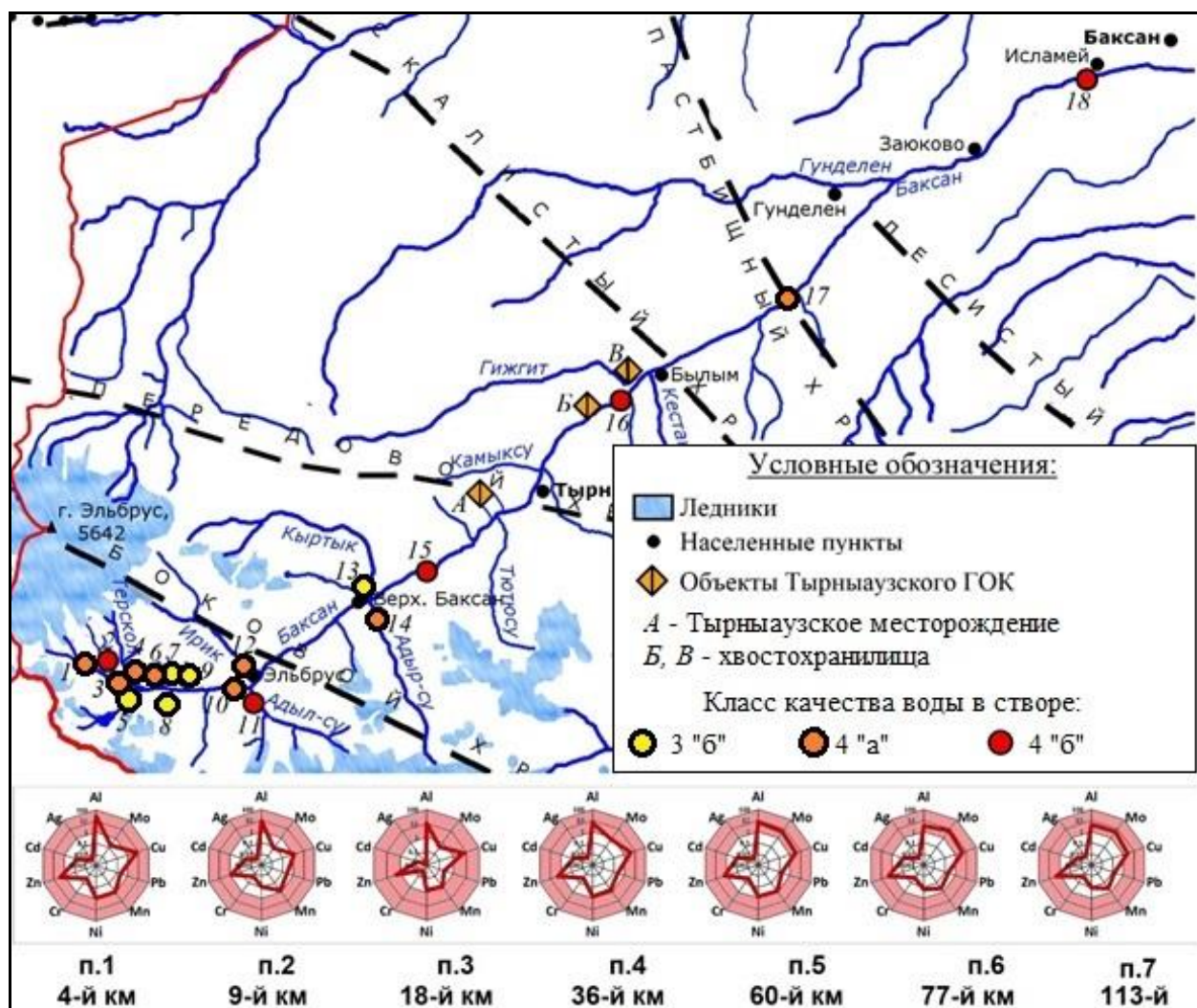


Рисунок 3 – Загрязненность р. Баксан и ее притоков микроэлементами

В соответствии с предлагаемой методикой классификацией, исследуемые воды относятся к «очень загрязненным» (3 «б») и «грязным» (4 «а»), однако наличие одного или двух критических показателей загрязненности (КПЗ) для большинства пунктов влияет на итоговую характеристику загрязненности. Во всех пунктах, за исключением р. Когутай и р. Байдаево, в качестве КПЗ выступает Al, к которому иногда добавляется Mo или Zn. Mo изменяет класс качества воды в нижних пунктах р. Баксан на 36-м, 60-м и 113-м км и в р. Гарабаши, а Zn – в реке Адылсу. С учетом коэффициентов запаса k, воды в пунктах наблюдений стали относиться к 3 «б» - 4 «б» классам качества. Так, пункты 2, 11, 15, 16 и 18, где отмечались наибольшие значения УКИЗВ, стали относиться к 4 «б» классу, а в пункте наблюдения 3 на 9-м км р. Баксан, класс качества воды изменился с 3 «б» на 4 «а». По итогам проведенной оценки наиболее загрязненными микроэлементами оказались воды реки Баксан на 36-м, 60-м и 113-м километрах, р. Адылсу и р. Гарабаши с качественной характеристикой, а наименее – р. Донгуз-Орун.

Воды реки Баксан и ее притоков оказались заметно загрязнены микроэлементами. Превышения ПДК_{рыб.хоз.} отмечаются по Al, Cu, Zn, Mo, Mn и Ni. Воды р. Баксан во всех пунктах наблюдения оказались «грязными». Характерными загрязнителями с различным уровнем загрязненности по всем пунктам оказались Al, Cu и Zn, а в нижних пунктах добавился Mo. В притоках воды оказались «очень загрязненными» и «грязным», а перечень характерных загрязнителей включает 5 микроэлементов (Al, Cu, Zn, Mo, Mn). Критическим показателем загрязненности, способным изменить класс качества воды, почти во всех исследуемых водотоках оказался Al. В некоторых пунктах в качестве КПЗ дополнительно выступают Mo или Zn. Источники загрязнения вод реки Баксан и ее основных притоков имеют как антропогенное, так и природное происхождение, причем в некоторых случаях природные источники загрязнения сопоставимы по степени воздействия с антропогенными.

ГЛАВА 6. СОЗДАНИЕ КАРТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РЕКАХ ГОРНОЙ ЧАСТИ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

Большое разнообразие водных объектов, сильно различающихся условиями формирования, составом, происхождением и находящихся на относительно небольшой территории, потребовало поиска собственного подхода при картографировании полученных сведений о микроэлементном составе вод горных рек КБР. Наиболее наглядным представляется

построение отдельных карт для каждой группы рек или сочетание различных способов изображения. При создании сеточных файлов были опробованы различные наиболее используемые в науках о Земле алгоритмы интерполяции данных. В результате был выбран метод естественных окрестностей, с использованием которого были построены карты распределения МЭ в ледниковых и неледниковых реках горной части КБР (рисунок 4).

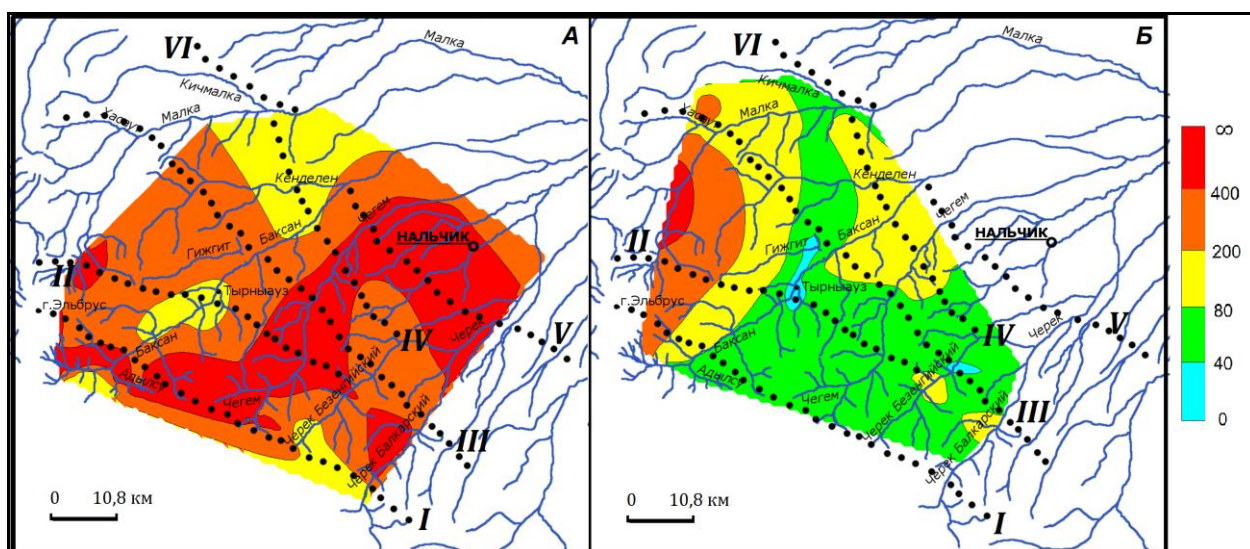


Рисунок 4 – Карта распределения алюминия в ледниковых (А) и неледниковых (Б) реках КБР

ВЫВОДЫ

1. Основным природным источником поступления микроэлементов (Al, Cu, Zn, Cr, Cd, Ag, Ni) в реки горной части КБР являются дренируемые горные породы, слагающие бассейны водосбора. Заметный вклад в распределение микроэлементов в горных реках вносят отдельные источники пресных и минеральных подземных вод. В качестве индикаторных элементов для некоторых пресных источников выступают Mo, Zn, для минеральных - Mn, Zn, Cu, Cr, Ni. Антропогенное влияние на микроэлементный состав рек связано с поступлением Mo от ТВМК и его отдельных объектов.
2. Поверхностные воды горной зоны Кабардино-Балкарской Республики значительно обогащены микроэлементами относительно среднего состава речных вод мира (Mo до 730 раз; Ag до 27 раз; Al до 24 раз; Ni до 13,6 раз; Zn до 7 раз; Pb до 6,5 раз; Mn до 4,5 раз; Cr до 4 раз; Cu до 1,8 раз). При этом, воды главных рек КБР отличаются по уровням содержания микроэлементов. Река Малка обогащена марганцем (до 38 мкг/л) и имеет наиболее низкие концентрации молибдена (не более 0,6 мкг/л). В р. Баксан относительно

других рек отмечаются максимальные концентрации никеля (до 25 мкг/л), молибдена (до 6,1 мкг/л) и меди (до 6,5 мкг/л) и наименьшие - марганца (не более 9,2 мкг/л). Воды р. Чегем наиболее обогащены алюминием (до 920 мкг/л). В главных реках концентрации хрома, свинца, цинка, кадмия и серебра близки по значениям.

3. По выявленным особенностям пространственного распределения микроэлементов в горных реках КБР от высокогорья к низкогорью выделено две группы. *Первая* группа включает микроэлементы (алюминий, марганец, свинец), имеющие тенденцию к снижению концентраций от высокогорья к низкогорью. Эта тенденция нарушается резким повышением в реке Черек концентрации алюминия в одном пункте, связанным с изменением гидрохимических условий миграции, в реке Малка – хаотичным распределением свинца по течению, обусловленным наличием геохимической аномалии. *Вторая*, подавляющая по количеству элементов, группа включает микроэлементы (молибден, никель, хром, медь, цинк, серебро и кадмий) имеющие хаотичное распределение по течению.

4. Воды рек бассейна р. Баксан по загрязнённости микроэлементами относятся к «очень загрязнённым» (3 «б») и «грязным» (4 «а» и 4 «б»). К числу характерных загрязнителей относятся Al, Cu, Zn, Mo, Mn. Источниками природного загрязнения речных вод бассейна р. Баксан в высокогорье служат притоки 2-го порядка подземного происхождения (водопад Девичьи косы на склоне Эльбруса). Источниками антропогенного загрязнения являются реки и ручьи, расположенные в зоне деятельности ТВМК. При этом природные источники загрязнения по степени воздействия сопоставимы с антропогенными.

5. Особенности горных рек КБР, имеющих разный тип питания, формирующихся в сложных условиях под влиянием множества факторов, но при этом расположенных на компактной территории, требуют применения индивидуальных подходов при картографировании данных о содержании микроэлементов в программе Golden Software Surfer. Основным является построение отдельных карт для каждой группы рек или сочетание разных средств изображения.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

Всего по теме диссертации опубликовано 44 научные работы. Далее приведены основные работы:

Монография

1. Геоэкологические исследования на территории Кабардино-Балкарской Республики за период с 2012 по 2018 годы / [Министерство науки и высшего образования, ФГБНУ "Федеральный научный центр "Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук" ; под общей редакцией Е.В. Кюль]. Т. 2 : Пространственное распределение примесей в водах бассейнов главных рек Кабардино-Балкарской Республики : тематический том / Н. В. Реутова, Т. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева**. – Нальчик : КБНЦ РАН, 2019. - 165 с.

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science

2. Features of aluminum concentrations in rivers of the mountain zone of the Central Caucas / N. V. Reutova, T. V. Reutova, **F. R. Dreeva**, A. M. Khutuev, A. A. Kerimov // Russian Journal of General Chemistry. – 2018. – Vol. 88, No 13. – P. 2884-2892. – DOI 10.1134/S1070363218130091.
3. Reutova, T. V. Pollutant Concentrations in Mountain River Waters in the Upper Baksan Area (Prielbrus'e National Park) and Their Seasonal Variations / T. V. Reutova, **F. R. Dreeva**, N. V. Reutova // Water Resources. – 2018. – Vol. 45, No 1. – P. 120-126. – DOI 10.1134/S0097807818010153.
4. Микроэлементный состав поверхностных вод бассейна реки Малка и геохимические особенности региона / Н. В. Реутова, Т. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева**, А. М. Хутуев // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11, № 3. – С. 172-184. – DOI 10.46698/VNC.2021.20.60.014.

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в Перечни рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК

5. Дреева, Ф. Р. Динамика тяжелых металлов в гидрографической системе озера Донгуз-Орунколь / **Ф. Р. Дреева**, Т. В. Реутова, Н. В. Реутова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2016. – № 4(72). – С. 37-42.
6. Динамика содержания цинка в водах основных рек Центрального и Западного Кавказа в зависимости от абсолютной высоты расположения створов / Н. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева**, Т. В. Реутова, А. М. Хутуев // Известия Дагестанского государственного педагогического университета.

Естественные и точные науки. – 2020. – Т. 14, № 1. – С. 106-111. – DOI 10.31161/1995-0675-2020-14-1-106-111.

7. Микроэлементный состав водных объектов бассейна реки Адылсу / Н. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева**, Т. В. Реутова, А. А. Керимов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2016. – № 2(70). – С. 53-57.

8. Реутова, Н. В. Микроэлементный состав малых рек ледникового происхождения на примере реки Терскол / Н. В. Реутова, Т. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева** // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2017. – № 1(75). – С. 75-79.

9. Химический состав родниковых вод высокогорной и среднегорной зоны КБР / Н. В. Реутова, Т. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева**, А. А. Керимов, А. М. Хутуев // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2017. – № 2(76). – С. 83-89.

10. Реутова, Т. В. Динамика содержания основных микроэлементов в ледниковых реках Центрального Кавказа / Т. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева**, Н. В. Реутова // Вода: химия и экология. – 2015. – № 4(82). – С. 3-9.

11. Реутова, Т. В. Природное и антропогенное загрязнение молибденом водных объектов Центрального Кавказа и его биоиндикация / Т. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева**, Н. В. Реутова // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2018. – № 2. – С. 51-60. – DOI 10.7868/S0869780318020059.

Работы, опубликованные в прочих научных изданиях

12. Гидрохимические аномалии в водных объектах национального парка "Приэльбрусье" / Т. В. Реутова, Н. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева**, А. М. Хутуев, А. А. Керимов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – № 6(110). – С. 144-157. – DOI 10.35330/1991-6639-2022-6-110-144-157.

13. Дреева, Ф. Р. Динамика содержания алюминия в основных реках Центрального Кавказа при изменении абсолютных высот / **Ф. Р. Дреева**, Н. В. Реутова, Т. В. Реутова // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод : сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования Гидрохимического института. Ч. 1. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 44-48.

14. Дреева, Ф. Р. К вопросу о системе мониторинга водных ресурсов Кабардино-Балкарской Республики / **Ф. Р. Дреева** // Устойчивое развитие: проблемы, концепции, модели : материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 75-летию председателя ФГБНУ "Федеральный научный центр "Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук", доктора технических наук, профессора

П. М. Иванова, Нальчик, 16-19 мая 2017 г. – Нальчик : КБНЦ РАН, 2017. – С. 129-132.

15. Дреева, Ф. Р. Микроэлементы в поверхностных водах на склонах Эльбруса / **Ф. Р. Дреева**, Н. В. Реутова, Т. В. Реутова // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН – 2023. – № 20. – С. 355-362. – Режим доступа: <http://geoksc.apatity.ru/fersman/FNS.2023.20.046.pdf> (дата обращения 28.09.2023)

16. Дреева, Ф. Р. Особенности содержания тяжелых металлов в поверхностных водах горной части Центрального Кавказа (на примере Кабардино-Балкарской Республики) / **Ф. Р. Дреева**, Т. В. Реутова, Н. В. Реутова // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов : труды Четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием, Москва, 15-18 сентября 2015 г. – Москва : ИВП РАН, 2015. – С. 150-152.

17. Дреева, Ф. Р. Оценка загрязненности реки Баксан (Центральный Кавказ) и ее притоков микроэлементами / **Ф. Р. Дреева**, Н. В. Реутова, Т. В. Реутова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2019. – № 5(91). – С. 38-46. – DOI 10.35330/1991-6639-2019-5-91-38-46.

18. Дреева, Ф. Р. Решение задач картографирования гидрохимической информации с помощью геоинформационной системы Surfer / **Ф. Р. Дреева**, Н. В. Реутова, Т. В. Реутова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2018. – № 5(85). – С. 12-17.

19. Дреева, Ф. Р. Тяжелые металлы в озерах Кабардино-Балкарской Республики / **Ф. Р. Дреева** // Перспектива – 2015 : материалы международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 4 т. Т. 2. – Нальчик : Кабардино-Балкарский государственный университет, 2015. – С. 24-27.

20. Картографирование гидрохимической информации с использованием ГИС-технологий / **Ф. Р. Дреева**, Н. В. Реутова, Т. В. Реутова, А. М. Хутуев // Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий : материалы V Международной научно-практической конференции, [Республика Адыгея г. Майкоп, 20-24 мая 2019 г.]. Ч. 1. – Майкоп : Кучеренко В. О., 2019. – С. 158-165.

21. Микроэлементы в поверхностных водах бассейна реки Чегем / Н. В. Реутова, Т. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева**, А. М. Хутуев // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2019. – № 5(91). – С. 57-63. – DOI 10.35330/1991-6639-2019-5-91-57-63.

22. Микроэлементы в природных водах Центрального Кавказа от высокогорной до низкогорной зоны / **Ф. Р. Дреева**, Н. В. Реутова, Т. В.

- Реутова, А. М. Хутуев // Ландшафтная география в XXI веке : материалы Международной научной конференции "Третьи ландшафтно-экологические чтения, посвященные 100-летию со дня рождения Г. Е. Гришанкова", Симферополь, 11-14 сентября 2018 г. / Международная ассоциация ландшафтной экологии, Российское отделение Международной ассоциации ландшафтной экологии [и др.] ; редакционная коллегия: Позаченюк Е. А., Петлюкова Е. А., Табунщик В. А. – Симферополь : Ариал, 2018. – С. 315-317.
23. Основные результаты гидрохимических исследований в Центре географических исследований Кабардино-Балкарского научного центра / **Ф. Р. Дреева**, Н. В. Реутова, Т. В. Реутова, А. М. Хутуев, А. А. Керимов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2021. – № 2(100). – С. 105-116. – DOI 10.35330/1991-6639-2021-2-100-105-116.
24. Особенности химического состава поверхностных вод национального парка "Приэльбрусье" / Н. В. Реутова, Т. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева**, А. М. Хутуев, А. А. Керимов // Биота и среда заповедных территорий. – 2020. – № 4. – С. 95-113. – DOI 10.25808/26186764.2020.58.10.006.
25. Потенциально токсичные элементы в поверхностных водах бассейна реки Черек Безенгийский / Н. В. Реутова, Т. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева**, А. М. Хутуев // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – № 5(109). – С. 105-115. – DOI 10.35330/1991-6639-2022-5-109-105-115.
26. Реутова, Н. В. Особенности формирования микроэлементного состава водотоков, формирующих исток реки Баксан, в период летнего паводка / Н. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева**, Т. В. Реутова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2015. – № 5(67). – С. 70-75.
27. Реутова, Н. В. Сравнительная характеристика микроэлементного состава рек, берущих начало со склонов Эльбруса / Н. В. Реутова, Т. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева** // Экологическая химия. – 2019. – Т. 28, № 6. – С. 318-325.
28. Реутова, Т. В. Пространственное распределение концентраций токсичных тяжелых металлов в речных водах горной зоны Кабардино-Балкарской Республики / Т. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева**, Н. В. Реутова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2014. – № 6(62). – С. 99-104.
29. Реутова, Т. В. Сравнительная гидрохимическая характеристика водных объектов карстового происхождения в Кабардино-Балкарской Республике / Т. В. Реутова, **Ф. Р. Дреева**, Н. В. Реутова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2020. – № 5(97). – С. 127-135. – DOI 10.35330/1991-6639-2020-5-97-127-135.