

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Х.М. БЕРБЕКОВА»

На правах рукописи



ШАМАРИНА МАРИНА АНАТОЛЬЕВНА

**ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕКИ МАЛКА**

Специальность – 1.6.12. Физическая география и биогеография,
география почв и геохимия ландшафтов

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
Кондратьева Наталия Владимировна
доктор географических наук, доцент

Нальчик – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ	13
1.1. Речные бассейны, как объект ландшафтных исследований	13
1.2. Гидрохимическая изученность и экологический мониторинг бассейна реки Малка	17
ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ БАССЕЙНА РЕКИ МАЛКА	25
2.1. Географическое положение	25
2.2. Геолого-геоморфологические и литологические факторы	31
2.3. Климатические факторы	36
2.4. Почвенно-растительный покров и фауна	37
2.5. Характеристика ландшафтов бассейна реки Малка	43
ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	48
3.1. Методика расчета морфологических параметров (измерителей) русловых процессов	48
3.2. Исходные данные для исследования термического и гидрологического режимов	50
3.3. Структура и методы геохимических исследований	51
3.4. Структура и методы гидрохимических исследований	55
3.5. Методика расчета стока, модуля стока и нарушенности гидрохимического режима	61
3.6. Картографический метод и картографирование	65
ГЛАВА 4. ОСОБЕННОСТИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ РЕКИ МАЛКА	66
4.1. Формирование русловых форм рельефа в пойме реки Малка	66
4.2. Определение параметров меандрирования русла реки Малка	71
ГЛАВА 5. ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО И ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ БАССЕЙНА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ МАЛКА	78
5.1. Влияние климатических изменений на температуры воздуха и речной воды .	78

5.2. Трансформация уровенного и водного режимов реки Малка в нижнем течении	91
ГЛАВА 6. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАССЕЙНА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ МАЛКА.....	109
6.1. Химический состав аллювиальных отложений	109
6.2. Пространственно-временная динамика основных гидрохимических показателей	112
6.3. Пространственно-временная динамика концентраций и стока главных анионов.....	128
6.4. Пространственно-временная динамика концентраций и стока биогенных веществ: нитраты, нитриты, соединения железа	157
6.5. Химический состав подземных вод и их значение в формировании стока главных анионов и биогенных веществ.....	179
6.6. Хозяйственное освоение долинных ландшафтов рек Малка и Баксан	191
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	196
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	198
ПРИЛОЖЕНИЕ	223

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Прогрессирующие глобальные климатические изменения в сочетании с локальной антропогенной трансформацией природных комплексов, не только изменяют естественные ландшафты, но и приводят к изменению химического состава водных объектов. Взаимовлияние и взаимообусловленность глобального и локального отражает термин «глокализация», вошедший в научный оборот в начале XXI века [60]. На территории Российской Федерации многие реки испытывают трансформирующее влияние хозяйственной жизни общества [28, 133, 109]. В связи с этим, в Указе Президента России от 19.04.2017 г. № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года», обозначены приоритетные направления экологической политики нашей страны, включающие оценку состояния водных ресурсов, в том числе речных бассейнов, их охрану и обеспечение рационального водопользования.

Решение водно-экологических проблем невозможно без дальнейшего углубления знаний о влиянии физико-географических факторов на гидролого-гидрохимические особенности рек, особенно в условиях горных территорий, отличающихся сложным сочетанием природных и антропогенных факторов.

Горные хребты являются природными «водонапорными башнями» и обеспечивают водными ресурсами миллионы людей. Однако их гидрологический баланс и возможные будущие изменения речного стока остаются недостаточно изученными из-за сложного взаимодействия между климатом и гидрологическими процессами [216].

Природная вода, климат, рельеф и почвы, тесно взаимосвязаны направленными потоками вещества, образуют ландшафтные системы – наиболее динамичные структурно-функциональные элементы речных бассейнов. Анализ свойств одного из этих компонентов дает информацию о состоянии других [139].

На формирование химического состава природных вод, оказывают влияние природные факторы (прямые и косвенные), а также факторы, связанные с

деятельностью человека. Воздействие прямых природных факторов обусловлено составом почв и горных пород, интенсивностью процесса испарения. К косвенным факторам относят климат и рельеф [128]. Реки способны накапливать и переносить по всей длине водотока, как вещества природного происхождения, так и загрязняющие вещества, попадающие в них в результате хозяйственной деятельности, оказывая влияние на состояние речных экосистем [127]. Определённое влияние на химический состав речных вод оказывают притоки. Химический состав и гидрохимический сток большой реки не являются суммой вкладов отдельных источников [151].

Анализ влияния физико-географических факторов на гидрологические, гидрохимические и геохимические особенности речных бассейнов необходим для изучения ландшафтной организации территории. Исследование химического состава отдельных составляющих речных геосистем позволяет установить пространственные взаимосвязи между ними и закономерности распространения и распределения веществ в природе, оценить влияние естественных природных и антропогенных факторов на формирование стока растворенных веществ.

Наиболее крупным водным объектом, расположенным на территории Кабардино-Балкарской республики, является р. Малка. Бассейн р. Малка является сложной и единой природно-хозяйственной системой со своеобразными особенностями ландшафтной и природно-производственной организации. Резко возросшее со второй половины XX столетия антропогенное воздействие на р. Малка существенно изменило её экологическое состояние, что фиксируется снижением биопродуктивности, химическим загрязнением, развитием водно-эрозионных процессов и т.д. [67-69].

Территория бассейна нижнего течения р. Малка особенно подвержена влиянию природных и антропогенных факторов, так как здесь впадает самый большой приток первого порядка р. Баксан, расположено месторождение подземных вод, ведется интенсивная сельскохозяйственная деятельность, работают промышленные и перерабатывающие предприятия, имеются объекты транспортной инфраструктуры.

Тенденции развития негативных процессов и явлений, вызванных глобальными климатическими изменениями в сочетании с растущей антропогенной нагрузкой на бассейн р. Малка обуславливают актуальность проведения разносторонних исследований необходимых при решении задач, связанных с совершенствованием системы природопользования и оптимизацией ландшафтно-экологической обстановки на исследуемой территории.

Степень разработанности темы исследования. Теоретической базой для применения комплексного подхода к изучению влияния физико-географических факторов на особенности речного бассейна послужили работы известных отечественных ученых: В.Б. Сочавы, А.Г. Исаченко, В.А. Шальнева, Н.Л. Беручашвили. Основой для изучения особенностей процессов формирования русловых форм рельефа и меандрирования в пойме р. Малка послужили работы Р.С. Чалова, А.В. Чернова. Исследование особенностей влияния температурного режима на функционирование природных геосистем базируется на работах Л.К. Давыдова, Ю.А. Федорова, А.Н. Гуни, В.А. Дмитриевой, В.А. Селезнева. Оценка воздействия климатических и гидрологических изменений на состояние речных бассейнов базируется на работах В.И. Данилова-Данильяна, Ж.В. Кузьминой, С.С. Шинкаренко, С.А. Барталева, А.Н. Берденгалиевой, А.А. Выприцкого, Д.А. Солодовниковой, М.Л. Маркова.

Характеристика ландшафтно-гидрологической организации бассейнов рек с учетом антропогенного фактора базируется на результатах исследований П.А. Кипкеевой, Я.В. Волосухина, Т.В. Иванковой, Д.В. Черных, Л.К. Казакова, Е.Ю. Колобовского, А.П. Хаустова. Первые сведения о наблюдениях за гидрохимическим режимом рек Северного Кавказа, появившиеся в начале XX века, содержатся в работах Б.Л. Гржегоржевского, Г.Е. Немерюка, А.О. Алекина. В числе первых исследователей гидрохимического состава рек Кабардино-Балкарии были ученые Кабардино-Балкарского государственного университета, работы которых начали проводиться с 60-х годов прошлого столетия: А.Ч. Казанчев, И.Г. Дружинин, Ф.Б. Мирзова, Г.И. Кумыков. Дальнейшее развитие исследования геоэкологических условий формирования химического состава рек

КБР получили в работах ученых КБГУ: Л.З. Емузовой, С.И. Шагина, О.О. Даховой. Исследованиям геохимических особенностей бассейнов рек КБР посвящены совместные исследования ученых КБГУ, ИГЕМ РАН, ВНЦ РАН, МГУ и ЮФУ: А.Г. Гурбанова, О.А. Гурбанова, С.Ф. Винокурова, О.А. Богатиков, А.Б. Лексина, В.М. Газеева, Л.Е. Цукановой, А.В. Шевченко. Анализу многолетних данных об уровне минерализации, содержания тяжелых металлов и загрязняющих веществ в водах рек КБР посвящены работы сотрудников Высокогорного геофизического института: Ф.А. Атабиевой, Л.З. Жинжаковой, Е.А. Чередник, А.С. Отаровой, Е.В. Вишневецкой. Исследования по изучению гидрохимических особенностей водных объектов Северного Кавказа проводились учеными Центра географических исследований Кабардино-Балкарского научного центра РАН: Н.В. Реутовой, Ф.Р. Дреевой, Т.В. Реутовой, А.М. Хутуевым, А.А. Керимовым. Результаты исследования химико-токсикологического состояния воды в реках региона представлены в работах ученых Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова: А.Б. Иттиева, М.Б. Биттирова, М.Х. Казанчева, М.К. Курмановой, Н.М. Мирзоевой, А.В. Атабиева.

Изучение особенностей пространственно-временной динамики основных гидрохимических показателей, главных ионов и основных биогенных веществ базируется на работах А.О. Алекина, А.М. Никанорова, Ю.А. Федорова, В.А. Брызгало, О.С. Решетняк.

В научной литературе имеется большое количество публикаций посвящённых изучению химического состава рек Малка и Баксан в верхнем течении, а также оценке их загрязнённости тяжёлыми металлами и соединениями азота на всём протяжении. Вместе с тем, природные комплексы р. Малка в нижнем течении изучены мало, практически отсутствуют работы, основанные на системном подходе, направленном на изучение закономерностей трансформации термического, гидрологического, гидрохимического режимов, что определяет актуальность данного исследования.

Цели и задачи. *Целью исследования* является анализ влияния физико-географических факторов на гидролого-гидрохимические особенности р. Малка в современном периоде.

Для достижения поставленной цели решались следующие *задачи*:

- охарактеризовать физико-географические факторы бассейна р. Малка;
- исследовать процессы формирования русловых форм рельефа и выявить особенности меандрирования русла р. Малка;
- проанализировать трансформацию термического и гидрологического режимов на территории бассейна нижнего течения р. Малка;
- исследовать пространственно-временную динамику основных гидрохимических показателей воды, концентраций и стока главных анионов (гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды) и основных биогенных веществ (нитраты, нитриты, соединения железа), провести анализ антропогенной изменчивости химического стока в нижнем течении р. Малка;
- установить химический состав вод подземного месторождения расположенного на территории бассейна нижнего течения р. Малка, и выявить их роль в формировании химического стока;
- создать серию цифровых тематических карт участка р. Малка в нижнем течении, отражающих сезонную и пространственную изменчивость модуля стока, и демонстрирующих территориальную дифференциацию структуры модуля стока главных анионов и биогенных веществ.

Объект исследования – бассейн р. Малка.

Предмет исследования – динамика русловых процессов на всем протяжении реки, а также климатических изменений, термического, гидрологического и гидрохимического режимов на территории бассейна нижнего течения р. Малка.

Научная новизна. Впервые:

- определены морфологические параметры русловых процессов, позволяющие проследить динамику меандрирования русла р. Малка с 1877 г.;

- выявлено влияние климатических изменений на современные тенденции в динамике температур воздуха и воды на территории бассейна нижнего течения р. Малка;
- на основании анализа многолетней годовой и внутригодовой динамики изменения расходов воды р. Малка, как в верхнем, так и в нижнем течении, установлена взаимосвязь гидрологического режима реки с климатическими изменениями;
- на основании собственных данных полученных в результате синхронно выполненной в период с 2015 по 2023 гг. гидрохимической съемки рек Малка и Баксан в нижнем течении, исследована пространственно-временная динамика основных гидрохимических показателей, концентраций и стока главных анионов и биогенных веществ;
- исследован химический состав подземных вод на пойменном участке р. Малка в нижнем течении и определено их значение в формировании стока главных анионов и биогенных веществ.

Теоретическая значимость. Для р. Малка расширены и углублены знания о: закономерностях протекания русловых процессов; динамике изменений местного климата; особенностях термического, гидрологического и гидрохимического режимов.

Практическая значимость. Полученные в работе результаты могут быть использованы научно-исследовательскими, проектными и природоохранными организациями для разработки мероприятий по оптимизации экологического состояния бассейна нижнего течения р. Малка. В рамках диссертации создано 8 тематических карт, которые могут применяться для выявления источников негативного воздействия на состояние пойменных геосистем р. Малка, и наглядно показывают сезонно-территориальное распределение химического стока рек Малка и Баксан. Материалы диссертации используются в учебном процессе Кабардино-Балкарского государственного университета по направлению подготовки 05.03.02 – География, в преподавании дисциплин: Ландшафтоведение,

Гидрология, Основы природопользования, Экологический мониторинг, ГИС в географии.

Методология и методы исследования. *Методология* исследования базируется на основных положениях учения о геосистемах с применением бассейнового, ландшафтно-гидрохимического, геолого-геоморфологического и ландшафтно-экологического подходов. При выполнении диссертации использованы *методы*: описательный, сравнительного анализа, математико-статистический, картографический, линейной тенденции, географической интерполяции. Гидрохимические исследования проводили с применением стандартных методик. Тематические карты построены с применением ГИС Аксиома. *Фактический материал*: собственные данные гидрохимической съемки рек Малка и Баксан в нижнем течении за 2015-2023 гг. и подземных вод за 2023 г.; открытые данные о температуре воздуха по метеостанции Прохладный за 2006-2023 гг. и о температуре воды р. Малка по гидропосту ст. Прохладная за 2018-2023 гг.; данные о среднесуточных расходах воды р. Малка полученные на гидропостах с. Каменноостское и ст. Прохладная, предоставленные отделом гидрологии ВГИ (г. Нальчик).

Положения, выносимые на защиту:

1. В верхнем течении реки Малка, сложенном интрузивными горными породами, русловые процессы протекают по типу ограниченного меандрирования с преобладанием вертикальной эрозии. В среднем и нижнем течениях, представленных осадочными горными породами, преобладает свободное меандрирование и пойменная многорукавность.

2. Среднегодовая температура воздуха за период с 2006-2023 гг. на территории бассейна нижнего течения р. Малка увеличилась на $0,76^{\circ}\text{C}$, а по сравнению с историческим фоновым периодом (1912-1930 гг.) – на $2,5^{\circ}\text{C}$, в основном за счет роста температуры воздуха в холодный период года, что отразилось на структуре питания реки.

3. Климатические изменения, происходящие в современном периоде на территории бассейна р. Малка, оказывают влияние на водный режим реки,

особенно в нижнем течении, что проявляется в сокращении среднегодовых расходов на 4% и уменьшении амплитуд расходов.

4. Значимым фактором, определяющим динамику химического стока р. Малка, является приток р. Баксан, который привносит в среднем 60-80% от общего стока гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов, нитратов, нитритов и соединений железа. Доля антропогенной составляющей в стоке р. Малка по сульфатам составляет 16%, хлоридам – 43%, соединениям железа – 60%.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждается большим объемом используемого в работе фактического материала, в том числе полученного в экспедиционных исследованиях, применением стандартных лабораторных методов оценки качества воды, современного лабораторного оборудования и программного обеспечения.

Результаты докладывались на 13 научных и научно-практических конференциях, 10 из которых имели международный статус: XIII, XV, XIX Большой географический фестиваль (Санкт-Петербург, 2017, 2019, 2023 гг.); Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Перспектива (Нальчик, 2017, 2019, 2020, 2021 гг.); Международная научно-практическая конференция LXXIII, LXXIV Герценовские чтения. География: развитие науки и образования (Санкт-Петербург, 2020, 2021 гг.); III Международная научно-практическая конференция: Современные проблемы биологии и экологии (Махачкала, 2021 г.); Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием: Водные ресурсы в условиях глобальных вызовов: экологические проблемы, управление, мониторинг (Ростов-на-Дону, 2023 г.), X ежегодная научно-практическая конференция СКФУ: Актуальные проблемы наук о Земле (Ставрополь, 2023 г.), III Международная научно-практическая конференция: Географические проблемы развития стран и регионов (Ставрополь, 2024 г.).

Научные публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 19 работах, из них 6 статей в изданиях из перечня ВАК, в том числе 5 работ в

изданиях категории К2 рекомендованных ВАК в области 1.6. Науки о Земле и окружающей среде, 13 работ опубликованы в сборниках конференций.

Личный вклад автора состоит в: постановке цели и задач исследования, формулировке основных положений, выносимых на защиту, выборе и реализации методов решения поставленных задач, организации и проведении мониторинговых исследований, участии в анализе гидрохимических показателей, проведении расчетов, обобщении полученных данных, создании картографических материалов, подготовке к публикации статей и тезисов конференций. Все научные и прикладные результаты диссертации получены автором лично. Формулировка выводов выполнена самостоятельно в тесном взаимодействии с научным руководителем.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем работы составляет 227 страниц текста, включая 92 рисунка и 65 таблиц. Список литературы содержит 216 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

Соответствие паспорту специальности. Работа соответствует паспорту научной специальности 1.6.12. Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов: п. 2. Структура, функционирование, динамика ландшафтов; п. 9. Геохимия ландшафтов и гидрохимия ландшафтов.

ГЛАВА 1. НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ

1.1. Речные бассейны, как объект ландшафтных исследований

Бассейн реки – часть земной поверхности, включая толщу почво-грунтов, откуда происходит сток воды в отдельную реку или речную систему. Бассейн каждой реки включает в себя поверхностный и подземный водосборы. Поверхностный водосбор представляет собой участок земной поверхности, с которого поступают воды в данную речную систему или отдельную реку. Подземный водосбор образуют толщи почво-грунтов, из которых вода поступает в речную сеть [130].

Для описания закономерного сочетания взаимосвязанных компонентов природы на определённой территории, связанной с рекой в научной литературе часто используется понятие о природно-территориальном комплексе реки. Природно-территориальный комплекс (ПТК) – это пространственно-временная система географических компонентов, взаимообусловленных в своем размещении и развивающихся как единое целое [98].

Подчеркивая необходимость обеспечения системного подхода в физической географии, В.Б. Сочава, взамен понятия ПТК ввел термин геосистема, определив её как земное пространство всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с космической средой и человеческим обществом [156].

А.В. Чернов отмечает необходимость комплексного подхода при изучении речных геосистем: «Пойму и русло рек необходимо рассматривать в комплексе, в единой геосистеме «русло-пойма», так как процессы, в них протекающие, взаимосвязаны, географические объекты или комплексы низшего ранга (подсистемы), возникающие в результате этих процессов, влияют друг на друга в прямой и обратной связи» [175].

Природные комплексы, расположенные на территории речных долин, включающие русло реки и её пойму, представляют собой пойменно-русловые комплексы (ПРК) [175]. Они создаются русловыми процессами, которые вместе с процессами, происходящими на поймах, определяют и основные особенности их функционирования. Понимание роли антропогенных факторов в формировании современных пойменно-русловых комплексов (ПРК) речной долины становится необходимой задачей [57].

Важнейшей категорией природно-территориальных комплексов являются речные долины [180]. Речные долины представляют собой очень сложную, разветвленную и в то же время связанную между собой единую систему ландшафтов [1]. Долины рек обычно отличаются по своей морфологии от окружающих их склоновых ландшафтов, они находятся в постоянном сукцессионном процессе. Ландшафты речных долин представляют собой сложный объект изучения и классификации, в связи со сложной морфологической дифференциацией [158]. Долинно-речным ландшафтам не присвоено место в единой классификации ландшафтов Земли [156].

В вопросах выделения долинных природно-территориальных комплексов прослеживается два основных направления: индивидуальное и типологическое [1]. Индивидуальное направление ландшафтоведения рассматривает долину реки не как отдельный ландшафт, а как территорию, сочетающую отдельные ландшафты [97, 180]. Представители типологического направления относят речные долины к гидроморфным и субгидроморфным типам ландшафтов [22, 24]. Морфология, пространственная дифференциация и эволюция пойменных ПТК, зависят от русловых процессов и гидрологического режима реки [160].

Поймы рек – это особые природно-территориальные комплексы, в которых происходит накопление и перенос водных масс, растворённых и твердых веществ. Одним из направлений исследования речных природно-территориальных комплексов, является экологическое. Авторы работы [214] отмечают, что исследование речных пойм в условиях горного ландшафта имеет большое экологическое значение. Гравелистые ложа пойм рек в горных ландшафтах

концентрируют в себе разнообразие местообитаний, пищевых циклов, продуктивности биоты и межвидовых взаимодействий. Известно, что речные русла и пойменные местообитания, используемые водными организмами, поддерживаются гидрологическими режимами, мобилизующими донные отложения (наносы) гравелистого ложа. Пойменные геосистемы являются связующими звеньями, где происходит взаимодействие между водными и наземными видами. Установлено что, поймы рек несоразмерно мало защищены в местах жизнедеятельности людей. Структурные изменения пойм, такие как прокладка автомобильных и железных дорог, жилищное строительство и гидрологические изменения, связанные с устройством плотин гидроэлектростанций или водохранилищ, имеют серьезные последствия, нарушая разнообразие и продуктивность местообитаний организмов в пойменных областях, ограничивая биоразнообразие не только водных, но и наземных видов. Для эффективности усилий по сохранению ледниковых горных ландшафтов, обеспечивающих существование самого широкого разнообразия организмов, необходима смена парадигмы, в которой поймам рек с гравийным руслом должно быть отведено центральное место с приоритетом сохранения ими восстановления их структур и процессов по всей длине и ширине.

Для характеристики ландшафтно-гидрологической организации бассейнов рек с учетом антропогенного воздействия, в условиях дефицита гидрометеорологической информации, о котором можно говорить применительно к большинству речных бассейнов, применяется ландшафтно-гидрологический подход [118]. Применение такого подхода целесообразно для прогнозирования и предотвращения негативных последствий опасных природных явлений, возникающих в бассейнах рек [107].

Авторы обзорной статьи [210] однозначно указывает на необходимость учета региональных природных особенностей химического состава природных вод при оценках состояния и степени техногенного загрязнения поверхностных вод, а также при разработке природоохранных нормативов их качества.

Авторы работы [137] к речным ландшафтам относят ландшафты бассейна реки. При этом, в зависимости от цели исследования, можно использовать несколько моделей речных ландшафтов: морфологическую, парагенетическую, парадинамическую, эоцентрически-сетевую, бассейновую.

Особое внимание уделяется исследованию ландшафтно-гидрологических комплексов малых рек, имеющих важное природообразующее и экологическое значение [154, 163]. Одним из ключевых понятий при изучении эколого-гидрологической специфики малых рек на основе ландшафтно-гидрологического подхода является классическое представление о реках как о парагенетических геосистемах (ПГС) бассейнового типа – устойчивых геосистемных сопряжениях, сформированных и объединенных однонаправленными вещественно-энергетическими потоками [101]. Изучением долин малых рек, являющихся частью культурного ландшафта занимался Е.Ю. Колобовский [111].

Авторы работы [105] для определяется суммарного стока с поверхности водосбора малых рек на основе балансового метода, вводят понятие стокоформирующего комплекса (СФК), – это часть водосбора, представленная совокупностью природных компонентов, характеризующихся относительной однородностью и определяющих параметры гидрологического цикла на данной территории.

В работе [171] выявлена межгодовая и межсезонная изменчивость гидрохимических и гидрологических показателей в нижнем створе бассейна малой реки зависящая от ландшафтной структуры бассейна в целом.

Ландшафтно-геохимическая контрастность бассейнов малых рек и направление их гидрохимической трансформации обусловлены соседством природных и природно-антропогенных факторов [2].

В работе [23] речной сток как геоэкологический индикатор применительно к бассейнам малых рек. Индикационная роль водного стока рек обусловлена тесной связью с ландшафтными условиями водосборов, которые в свою очередь испытывают влияние хозяйственной деятельности.

В рамках геолого-геоморфологического направления изучения ландшафтов речных долин исследуются эрозионные и русловые процессы. В работе [211] приводятся сведения о строении, вещественном составе и геохимических особенностях руслового аллювия равнинных рек, образующегося в природных условиях, описывает эрозионно-аккумулятивные процессы, играющие основную роль в формировании твердого стока и отложений рек.

Ландшафтно-гидрохимический подход предполагает комплексное изучение геосистем с учетом растворимости и миграционной способности токсичных соединений [169].

Исследованию устойчивости речных природно-территориальных комплексов посвящена работа [75], в которой отмечается, что при оценке состояния природно-территориального комплекса среди ведущих компонентов, первостепенную роль играют речные системы.

1.2. Гидрохимическая изученность и экологический мониторинг бассейна реки Малка

Интенсивное хозяйственное освоение речных ресурсов обусловило необходимость получения объективной информации о пространственно-временных изменениях в гидрохимическом режиме рек, с целью прогнозирования их состояния и рационального использования.

В нашей стране регулярный мониторинг состояния речных объектов проводится с 20-х г. XX века. В 1921 году в Новочеркасске был создан Гидрохимический институт (ГХИ), позднее гидрохимические лаборатории были созданы во многих научных учреждениях и организациях [205].

Начало систематических наблюдений за химическим составом поверхностных вод Северного Кавказа относится ко второй половине 30-х годов XX века. Первая гидрохимическая характеристика рек Северного Кавказа появляется в «Справочнике по водным ресурсам СССР» опубликованном в 1936 году [157]. Результаты систематических гидрохимических наблюдений за водами

рек начали публиковаться в «Гидрологических ежегодниках» и «Гидрологических бюллетенях». Впервые районирование рек Северного Кавказа по качественному составу вод осуществил О.А. Алекин в 1948 году [4].

Влияние таких природных факторов, как геологическое строение территории, тип питания, географическое положение, на гидрохимический состав рек бассейна Терека, в том числе рек Малка и Баксан, в своей работе, одним из первых представил Г.Е. Немерюк [126].

В числе первых исследователей гидрохимического состава рек Кабардино-Балкарии были ученые Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова. Основным речным бассейном Кабардино-Балкарии является бассейн р. Малка. В числе факторов оказывающих влияние на состав вод р. Малка указываются подземные воды, выпадающие осадки, биохимические процессы, выщелачивание и выветривание горных пород. В качестве источника большого количества элементов, поступающих в речные воды указываются руды, содержащие Ni, Co, Mn, Ti, V, Pb, Zn, Sn, Cu, Au, Ag, Zr, Sr, Ga, As, K, Na, Ba, Al, Si, Mg, S, P, C, Cl [102]. При исследовании распределения поверхностных и подземных вод в высокогорной части КБР, установлена взаимосвязь минерализации и гидрохимического состава рек с литологическим составом горных пород, рельефом местности и особенностями почв [103].

В статье [76] рассматриваются природные факторы, определяющие геоэкологические условия формирования углекислых минеральных вод в северном Приэльбрусье, в бассейне р. Малка. Авторами установлено, что формирование минеральных источников Джылы-Су – результат геосистемного развития Северного Приэльбрусья: тектонического, геологического, гидрологического, климатического и ландшафтного. Зона Передового хребта с районом Джылы Су характеризуется преобладанием углекислых вод с минерализацией 1,0 – 2,4 г/л гидрокарбонатного магниево-кальциевого и натриево-кальциевого состава.

В статье [178] представлены результаты изучения радиоактивности вод горных рек Кабардино-Балкарской Республики с помощью детектора NaI в

низкофоновой защите. Образцы вод брались из рек Баксанского, Черекского ущелий и р. Малка. Исследования показали, что уровни радиации оказались в пределах нормы, установленной для питьевой воды.

В статье [62] представлены результаты изучения факторов, оказывающих существенное влияние на экогеохимическое состояние аквальных ландшафтов реки Баксан, являющейся притоком первого порядка р. Малка. Отмечается повышенное содержание в воде исследуемого объекта Al, Fe, Mn, Cu обусловленное наличием полиметаллических руд на всей водосборной площади. Существенное влияние на экосистему р. Баксан оказывают сточные воды очистных сооружений г. Баксан, которые значительно ухудшают экологическое состояние данной реки.

Сотрудниками КБГУ совместно с учеными ИГЕМ РАН, ВНИЦ РАН, МГУ и ЮФУ выявлена отчетливая тенденция, заключающаяся в постоянном увеличении поступления в воду р. Баксан из водотоков, дренирующих рудные карьеры, вспомогательные горные выработки и хвостохранилища ТВМК металлов и металлоидов: Li, Be, B, Si, S, V, Mn, Fe, Co, Zn, As, Y, Mo, Cd, Sb, W, Tl, Al, Ba, Bi [56]. На территории бассейна р. Малка расположены свинцово-цинковое месторождение, находятся кварцевые и кварцево-сульфидные залежи и железо-хромоникелевых руды.

Сотрудниками Высокогорного геофизического института в работах [7, 12, 13, 15] проанализированы многолетние данные об уровне содержания тяжелых металлов в воде рек бассейна Терека в пунктах наблюдений, расположенных в предгорной зоне Центрального Кавказа. Установлено, что загрязнение речных вод соединениями тяжелых металлов происходит в период паводка. Состав рек, истоками которых являются ледники высокогорной зоны, в значительной мере определяется процессами выщелачивания или химического выветривания горных пород.

В работах [9, 14] рассматривается изменчивость минерализации воды рек Центрального Кавказа (Малка, Баксан, Черек, Урух, Терек, Чегем) в среднем и нижнем течении. Установлено, что в зимнюю межень, в связи с преобладанием

грунтовой составляющей в питании рек, пространственная изменчивость минерализации по направлению от истока к устью не велика, в отличие от периода летнего половодья. В работе [11] представлены данные полученные сотрудниками Высокотермического геофизического института при изучении минерализации воды рек бассейна р. Терек в 2021 году. Установлено, что значительное влияние на минерализацию изучаемых водных объектов в летний период оказывают склоновые процессы. Реки Малка и Баксан, впадающие в Терек, оказывают значительное влияние на его минерализацию.

В статье [10] сделан вывод, что постоянное превышение ПДК_{рх} по соединениям молибдена, марганца в воде рек Баксан и Малка имеет, природный характер, а источником поступления неорганических соединений азота являются смывы с бытовых свалок, фермерских хозяйств и сбросы сточных вод.

В работе [79] представлены ряды распределения макрокомпонентов и соединений азота в водах бассейна Чегем от двух истоков по длине реки. Наблюдается тенденция увеличения минерализации и некоторых показателей от области питания (ледники) до замыкающего створа. Воды Чегема гидрокарбонатные группы кальция, слабоминерализованные, слабощелочные и мягкие по общей жесткости. Отмечается тенденция увеличения концентраций компонентов по течению реки к замыкающему створу.

Достаточно большое количество публикаций Л.З. Жинжаковой с соавторами содержит сведения о загрязнённости вод рек бассейна р. Терек, включая реки Малка и Баксан, соединениями азота. В статьях [77, 83, 85, 86, 88] отмечается, что воды Малки загрязнены тяжелыми металлами и минеральными соединениями азота.

Результаты исследований [78, 82, 84, 87, 91] показывают, что отличительной особенностью рек Центрального Кавказа, имеющих ледниковое происхождение, является повышенное количество загрязняющих веществ в гидрохимическом составе в период межени. На экологическое состояние рек оказывает влияние климатические изменения, способствующие таянию ледников, а, следовательно, и увеличению водного стока, приводящего к усилению эрозии почв. Отмечается

негативное воздействие на экологическое состояние снежного покрова атмосферных осадков, также являющихся источниками загрязнений.

По итогам многолетних наблюдений за состоянием водных экосистем по экологическим классам качества поверхностных вод суши Л.З. Жинжаковой с соавторами, было установлено, что по содержанию загрязняющих веществ реки Баксан, Малка и Терек относятся к водам «загрязненным» и «сильно загрязненным» [81, 92].

В работах [31, 80] представлены результаты исследования воды рек Баксан и Черек, состояние пойм которых испытывает влияние последствий работы Тырныаузского горно-обогатительного комбината. Установлено, что дренажные воды, несущие стоки с антропогенной территории «хвостохранилища» в основное русло реки Баксан несут в себе такие загрязняющие компоненты, как Mo, Mn, Zn, Cu, Cr, Pb.

Центр географических исследований Кабардино-Балкарского научного центра РАН под руководством Н.В. Реутовой проводит регулярные исследования по изучению гидрохимических особенностей водных объектов Северного Кавказа. Выявлены значительные различия в содержании главных ионов и микроэлементов в водных объектах, берущих начало от ледников или в местах выхода подземных вод. Показано, что загрязнение природных вод микроэлементами в высокогорье имеет очаговый характер и в большей мере связано с влиянием подстилающих горных пород. Особенности динамики ионного состава также связаны с изменением типа горных пород при переходе от высокогорной зоны к среднегорью. [73, 143, 145].

Изучением содержания микроэлементов в водных объектах расположенных на территории парка Приэльбрусье занимались авторы работ [74, 144, 147]. Выявлено, что имеет место значительное природное насыщение целым рядом тяжёлых металлов и металлоидов. Выявлены локальные очаги крайне высокого содержания мышьяка в водотоках на склонах Эльбруса, имеющих подземное происхождение. Значительное содержание алюминия, авторы исследования, связывают с деятельностью Эльбрусской неовулканической области.

В работе [72] представлены результаты исследования динамики содержания алюминия в реках горной зоны КБР: Малка, Баксан, Чегем, Черек. Авторы делают вывод, что все исследуемые водные объекты загрязнены алюминием, на содержание которого, в большей степени, оказывает влияние состав дренируемых горных пород, а на миграционную активность - изменения гидрохимических условий.

В статье [146] представлены результаты определения концентраций главных ионов в верхнем течении рек Малка, Баксан, Черек Безенгийский, Чегем и Черек. Установлено, что гидрохимический состав водные объекты на небольшой территории района исследований может отличаться более чем на два порядка. Среди основных водных артерий наиболее высокий уровень содержания всех главных ионов отмечался в р. Малка.

Ученые Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова в работе [100] представили результаты исследования химико-токсикологического состояния воды р. Терек. Выявлено превышение ПДК по содержанию общего железа, цинка, меди, вольфрама, молибдена и нефтепродуктов, обусловленное загрязняющим влиянием р. Малка, несущей воды р. Баксан.

Более полно гидрохимический состав р. Малка представлен в работе [99], в которой вода исследуемого объекта характеризуется как слабощелочная, средней минерализации, «довольно жесткая», с преобладанием в составе сульфатов и гидрокарбонатов. Концентрация металлов превышала ПДК, содержание биогенных веществ в водоёме изменялось в допустимых пределах. Отмечается ухудшение качества воды по мере приближения к устью.

В монографии [208] рассмотрены и проанализированы вопросы формирования химического состава поверхностных и подземных минеральных источников КБР. Их ионно-солевой состав образуется под влиянием протекающих в атмосфере и в других средах химических реакции с участием различных соединений, а также почвенного покрова, климата и структуры горной части.

В статье [104] представлены результаты исследования влияния донных отложений на качество воды двух главных рек – Малка и Терек, установлено, что грунты дна, испытывающие влияние стоков, сбрасываемых промышленными предприятиями, выделяют большое количество биогенных веществ и могут являться источником вторичного загрязнения поверхностных вод.

В работах ученых Кабардино-Балкарского государственного высокогорного природного заповедника [33, 37] представлены многолетние данные о составе воды р. Черек Безенгийский, относящегося к бассейну р. Малка. Установлено, что за 10 лет ионный состав воды в целом менялся незначительно, при этом выявлено увеличение содержания гидрокарбонатов и хлоридов. Обнаружено, что с 2010 года, величина минерализации выросла в 1,5-2 раза.

В работах [38, 89] приведен анализ пространственно-временной динамики макро- и микрокомпонентного состава воды р. Чегем. Вода исследуемого объекта характеризуется как слабощелочная, мягкая, ультрапресная, гидрокарбонатного класса, кальциевой группы.

Результаты исследования минерализации поверхностных вод и ручьев, расположенных на территории Кабардино-Балкарского высокогорного государственного заповедника, представлены в работе [115]. Авторами установлено, что тип питания определяет величину минерализации воды исследуемых водных объектов: максимум наблюдается при подземном питании, наименьшие значения – при питании ледниковыми талыми водами. Выявлено увеличение доли грунтового питания в летнее половодье.

В работах [36, 90] показано, что особенностью речных вод высокогорных рек в период интенсивного таяния ледников и сезонного снега является высокое значение концентраций микроэлементов. Результаты исследований указывают на то, что содержание микроэлементов в водах исследуемых объектов является природным геохимическим и геоморфологическим фоном района исследования.

Результаты исследования содержания железа в ледниковых водах Центрального Кавказа, образующих истоки рек Чегем, Терек, Малка, Баксан, Черек, приведены в работе [35]. Обнаружено, что содержание железа в

поверхностных водах высокогорных водосборов в межень больше, чем в половодье. В виду отсутствия антропогенных факторов воздействия, выявленные концентрации, связаны с растворением подстилающих горных пород, и отражают естественный геохимический фон районов исследования, т.к. геологическое строение бассейнов исследуемых рек сложено кристаллическими сланцами, гранитом, вулканогенными породами, полевым шпатом, гнейсом, амфиболитами, туфам и другими породами, формирующими состав вод в разные фазы водного режима [43].

В результате проведенных сотрудниками Института географии РАН исследований горных рек на территории Кабардино-Балкарии, выявлены различия в их гидрохимическом составе, который является одним из основных индикаторов их экологического состояния. Отмечается негативное воздействие на воды р. Баксан Тырныаузского вольфрамово-молибденового комбината [202].

В работе [203] показано, что основным природным фактором определяющим гидрохимический состав горных рек КБР (Бакан, Терек, Черек, Нальчик, Кенделен), является состав талых ледниковых вод питающих эти реки.

Учеными Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ) РАН исследован микроэлементный химический состав реки Баксан. Установлено, что максимальные концентрации молибдена и других микроэлементов в воде наблюдаются на участке Тырныауз-Былым. Содержание металлов в отфильтрованной части воды р. Баксан не превышает гигиенических нормативов по питьевым водам. Гидрохимические параметры воды р. Баксан заметно возрастают от истоков к устью [65].

Учеными Башкирского государственного университета в статье [132] представлен обзор исследований касающихся содержания ионов хлора в водах рек Северного Кавказа. Отмечается, что основными источниками поступления хлор-ионов в речные воды являются атмосферные осадки и горные породы.

ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ БАССЕЙНА РЕКИ МАЛКА

2.1. Географическое положение

Малка (Балькъ, карач.-балк. Балыкъ суу – «рыбная (богатая рыбой) вода, река») – главный левый приток Терека (рисунок 1). Первая статья, посвященная р. Малка, появляется в энциклопедических источниках в 1805 году: «Малка – река, Кавказской Губернии, впадающая в реку Терек, при ней находится бывший прежде сего Губернский город сея Губернии Екатериноград. Правая сторона сей реки состоит из холмистой, голой, или необросшей лесом подошвы горы; левая же сторона из высокой и сухой равнины происходящей от низпадающей сей горы подошвы» [40].



Рисунок 1 – Река Малка на карте-схеме бассейна реки Терек

Протяжённость р. Малка 210 км. Общая площадь водосбора р. Малка 10 000 км². Без учета наиболее крупного притока, реки Баксан, площадь водосбора

составляет 3 020 км². Максимальная ширина находится на территории Кабардинской наклонной равнины, и составляет 303,63 м, а средняя – 53 м. Бассейн р. Малка охватывает северный склон Бокового хребта, Скалистый, Пастбищный и Лесистые хребты, а в нижнем и среднем течении Кабардинскую наклонную равнину. Длина долины 150 км, ширина в верхней части – 5 км, в средней – 3-10 км и нижней – 10-15 км. Основная часть бассейна р. Малка лежит в зоне с высотами более 1000 м [196]. Большая часть реки протекает по территории Кабардино-Балкарии, небольшой участок в нижнем течении образует границу со Ставропольским краем (рисунок 2).

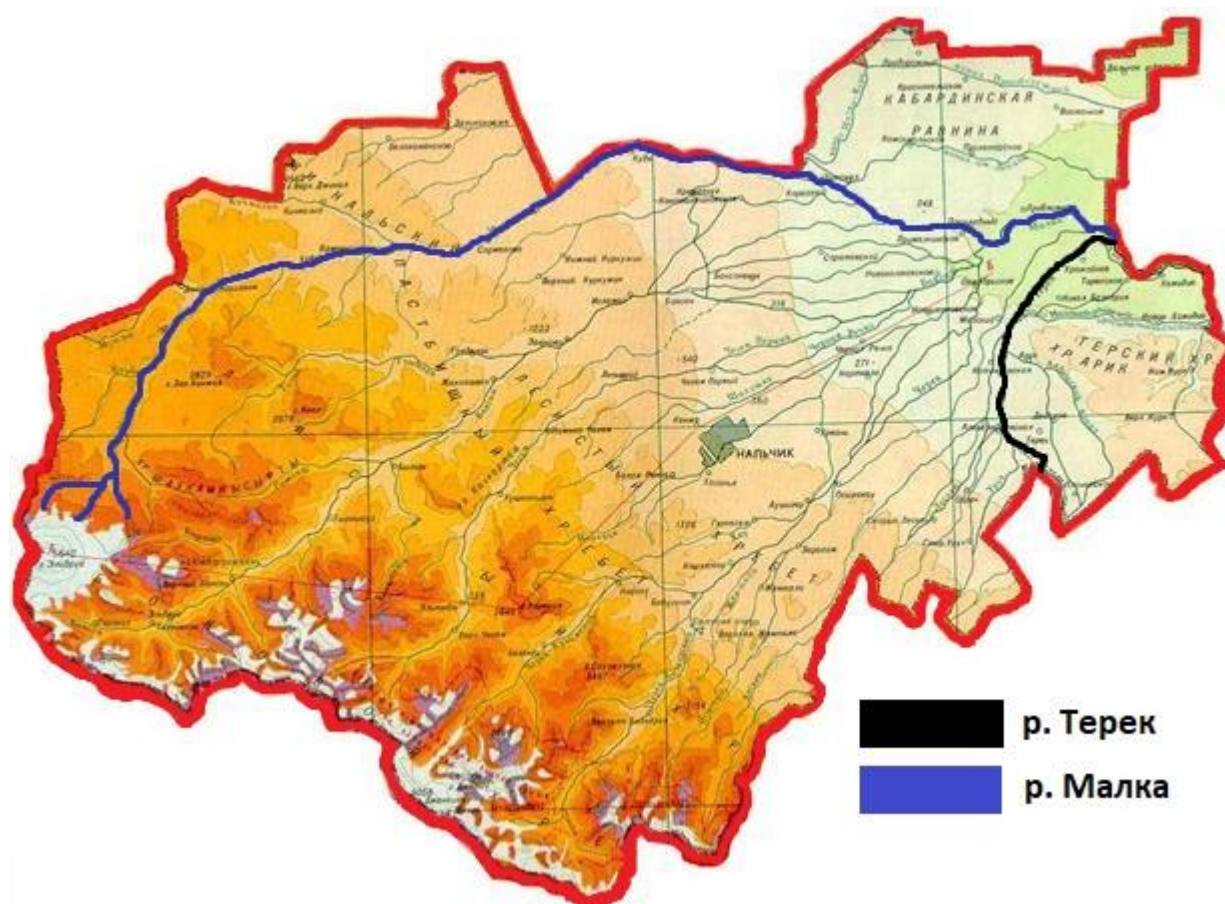


Рисунок 2 – Река Малка на карте Кабардино-Балкарской Республики

В энциклопедическом словаре Брокгауза и Евфрона р. Малка посвящена отдельная статья: «... Малка, река, самый большой приток Терека. Получает начало из ледников северного склона Эльбруса несколькими бурными потоками,

которые в нескольких верстах от ледников Эльбруса сливаются друг с другом. Вблизи этого места река Малка падает с отвесной скалы высотой сажен в 20 или 25, образуя один из самых величественных водопадов всего Кавказа. Недалеко от водопада находятся два больших, очень богатых углекислым газом источника (7800 фт. над ур. моря), имеющих температуру в 18°C.; содержат также железо. Ими пользуются для лечения только жители ближайших аулов. Несколько выше этих источников торчат из земли большие правильные трахитовые столбы, имеющие форму очень острого конуса или пирамиды и достигающие сажен 8 или 10 в высоту. Ниже водопада в реку Малка вливается еще несколько горных речек, вытекающих также из Эльбруса и окруженных очень высокими скалистыми и безлесными горами, а еще дальше в нее же впадают Косаут и Кичь-Малка. Верстах в 15 от устья река Малка выходит уже на плоскость, но и здесь продолжает течь очень быстро. Близ станиц Прохладной в неё впадает большая речка Баксан, а еще немного ниже, около станицы Екатериноградской, сама река Малка вливается в Терек. Вытекая из ледников, окруженных рыхлыми, легко размываемыми вулканическими породами, река Малка несет очень мутную и холодную воду. В низовьях она является уже большой, имеющей несколько десятков сажен в ширину рекой. Длина ее верст 200....» [209].

В истоке р. Малка находится 12 ледников общей площадью 55,96 км² расположенных на Боковом хребте, который здесь представлен массивом Эльбруса и двумя отрогами, отходящими от него. Один из отрогов направлен на север, он не имеет современного оледенения и является водоразделом рек Малка и Кубань. Второй отрог имеет северо-восточное направление. Он известен под названием хребет Шаукам-Сырт. Его главными вершинами являются горы Балыксубаши (3937 м), Ташорунбаши (3770 м) и Шаукамбаши (3700 м). Основные притоки – Баксан и Черек, впадают в Малку практически у самого устья (рисунок 3) [196].

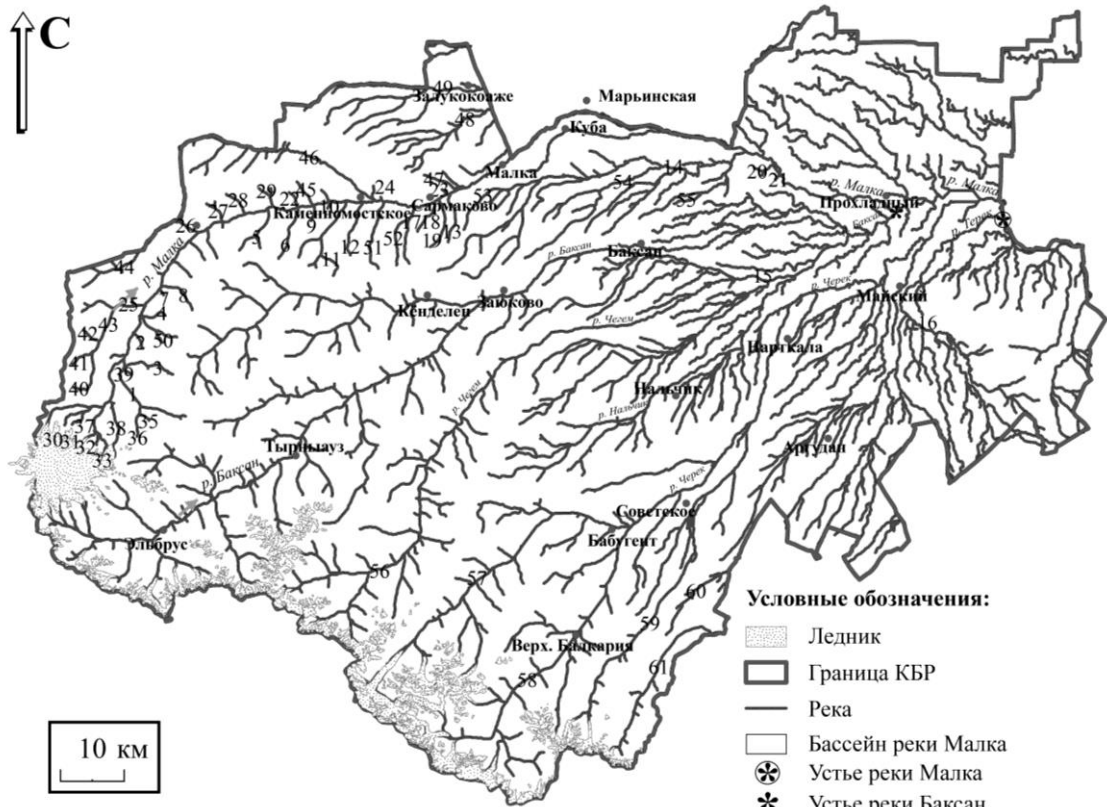


Рисунок 3 – Карта-схема бассейна р. Малка

1 – р. Шаукол, 2 – р. Киччи-Мараллыккол, 3 – р. Уллу-Таллыккол, 4 – р. Тогайкол, 5 – р. Гедмыш, 6 – р. Мозокий, 7 – р. Малая Гатлахуко, 8 – р. Большая Гатлахуко, 9 – р. Дименькол, 10 – р. Гертликкол, 11 – р. Большие Катары, 12 – р. Малые Кутары, 13 – р. Сармако, 14 – р. Куркужин, 15 – р. Баксан, 16 – р. Терек, 17 – р. Большая Экипцоко, 18 – р. Агубекеюко, 19 – р. Худатоко, 20 – р. Янтарка, 21 – р. Шакой, 22 – р. Кызылкол, 23 – р. Тотлестануко, 24 – р. Бжентхалоко, 25 – р. Харбас, 26 – р. Хасаут, 27 – р. Большой Лахран, 28 – р. Лахран, 29 – р. Тазакол, 30 – Ледник Карачул, 31 – Ледник Уллукол, 32 – Ледник Микельчиран, 33 – Ледник Джикаугенкез, 34 – Долина Нарзанов, 35 – р. Карангыкол, 36 – р. Исламчат, 37 – р. Малка, 38 – р. Каракая-Су, 39 – р. Гитче-Талыкол, 40 – р. Артыкчал, 41 – р. Ингушли, 42 – р. Уллукол, 43 – р. Ингушли, 44 – р. Мушта, 45 – р. Рхыкол, 46 – р. Кичмалка, 47 – р. Шелюга, 48 – р. Мокрая Золка, 49 – р. Золка, 50 – р. Уллу-Мараллыккол, 51 – р. Джаманкул, 52 – р. Малое Экипцоко, 53 – р. Куроко, 54 – р. Хатакум, 55 – р. Мокрая Псарыша, 56 – р. Чегем, 57 – р. Черек Безенгийский, 58 – р. Черек Балкарский, 59 – р. Псыгансу, 60 – р. Лескен, 61 – р. Хазнидон.

Форма долины Малки изменчива по течению реки. В верховьях долина относительно открытая. Далее она приобретает форму узкого ущелья. Попадая в продольные котловины и междугорные понижения, становится V-образной, с встречающимися по берегам небольшими участками каменистых пойм. На предгорной равнине долина приобретает трапецеидальную форму. На этом участке пойма реки широкая, двусторонняя. Русло, как правило, разделяется на несколько рукавов, протекающих в крупных галечных берегах. Ширина долины р. Малка варьируется от 0,4 – 0,6 км в верхней части до 2,5 – 3,5 км в устьевой части. Относительная высота дна долины над рекой по мере продвижения к низовьям увеличивается.

Эрозионно-аккумулятивная деятельность реки является основным фактором формирования водных урочищ русла, которые представляют особый класс речных ландшафтов. Они отличаются динамичностью, связанной с сезонными изменениями глубин и скорости течения и непрерывно протекающие динамическими процессами в русловом потоке.

Рельеф поймы р. Малка очень контрастен, такое строение поверхности обуславливает сложность картины затопления поймы и пойменных течений в периоды повышения уровня воды в реке.

Водосбор левобережной и правобережной части реки неодинаков. Площадь левобережной части, расположенной в пределах чередования денудационных комплексов высокогорной осевой зоны, структурно-денудационных комплексов юго-восточной окраины Ставропольского плато и аккумулятивных комплексов равнин Терского краевого прогиба, занимает площадь 512 км².

Деформация берегов четко выраженная. Правобережная часть имеет площадь 9488 км² и проходит по территории куэстов скалистых гор до Кабардинской наклонной равнины.

Речная сеть хорошо развита, но распределение приточности по длине реки характеризуется большой неравномерностью. Бассейн р. Малка включает 27 постоянных водотоков, общая протяжённость которых 686 км.

Количество собственных притоков и протяжённость рек-притоков р. Малка

соответственно составляют: р. Шаукол – 4 притока и протяжённость речной сети 18 км, р. Киччи-Мараллыкол – 2 и 10 км, р. Уллу-Мараллыкол – 3 и 11 км, р. Тогайкол – 2 и 11 км, р. Малая Гатлахуко – 5 и 15 км, р. Большая Гатлахуко – 3 и 11 км, р. Гедмыш – 4 и 12 км, р. Мозокий – 3 и 11 км, р. Дилинол – 2 и 10 км, р. Гертликол – 3 и 11 км, р. Большие Кураты – 7 и 66 км, р. Малые Кураты – 6 и 15 км, р. Большая Экипцоко – 6 и 23 км, р. Агукеюко – 4 и 23 км, р. Худатоко – 2 и 9 км, р. Сармако – 4 и 11 км, р. Куркужин – 5 и 12 км, р. Янтарка – 2 и 7 км, р. Шакой – 3 и 4 км, р. Баксан – 104 и 182 км, р. Харбас – 20 и 134 км, р. Хасаут – 4 и 23 км, р. Лахран – 5 и 20 км, р. Тазакол – 2 и 7 км, р. Рхыкол – 6 и 10 км, р. Бжентхалоко – 3 и 10 км, р. Тотлестануко – 4 и 10 км. К числу самых малых рек, протяжённостью до 25 км относится 88 % притоков, к числу малых рек, протяжённостью от 26 до 100 км, – 4 %, к средним рекам, протяжённостью более 100 км, – 8 %. Длина самых малых водотоков составляет 44 %, малых – 10 %, средних 46 %. Протяжённость главной р. Малка составляет 31 % от суммарной длины всех рек бассейна и 23 % от общей длины гидрографической сети [196].

Отношение протяжённости речной сети к площади бассейна характеризует густоту речной сети бассейна [121]. На густоту речной сети оказывают влияние такие факторы как состав горных пород, количество осадков, растительность и характер её распределения по территории бассейна. Густота речной сети бассейна р. Малка наибольшая в горной части, где достигает 0,5-0,6 км/км², постепенно уменьшаясь к предгорьям до 0,2-0,3 км/км², и менее 0,1 км/км² в устьевой части реки. Заметен контраст густоты речной сети в правобережной и левобережной части речного бассейна, она составляет 0,675 км/км² и 0,351 км/км² соответственно. С правой стороны в р. Малка впадает большинство притоков: Шаукол, Киччи-Мараллыкол, Уллу-Мараллыкол, Тогайкол, Малая Гатлахуко, Большая Гатлахуко, Гедмыш, Мозокий, Дилинол, Гертликол, Большая Кураты, Малая Кураты, Большая Экипцоко, Агубекеюко, Худатоко, Сармако, Куркужин, Янтарка, Шакой и Баксан. Из них наиболее крупные – Баксан и Куркужин. С левой стороны впадают реки: Хасаут, Харбас, Лахран, Тазакол, Рхыкол, Бжентхалоко, Тотлестануко и ряд более мелких водотоков с площадью

водосбора до нескольких десятков квадратных километров. Самый крупный правобережный приток р. Баксан имеет коэффициент густоты речной сети 0,12 – 0,18 км/км². Этот же показатель для наибольших водотоков левобережья составляет 0,5 – 0,8 км/км². В среднем густота речной сети бассейна р. Малка равна 0,44 км/км² [196].

2.2. Геолого-геоморфологические и литологические факторы

Сформировавшаяся речная сеть бассейна Малки – это результат тектонических и эрозионно-аккумулятивных процессов, движения ледников, эвстатических колебаний уровня океанов и морей. Особенности геологического строения района обуславливают очень богатый геохимический состав объектов, образующих бассейн р. Малка. Геологическое строение и геологическая характеристика северного склона главного Кавказского хребта в бассейне р. Малка изучены в А.П. Герасимовым и Б.П. Бархатовым.

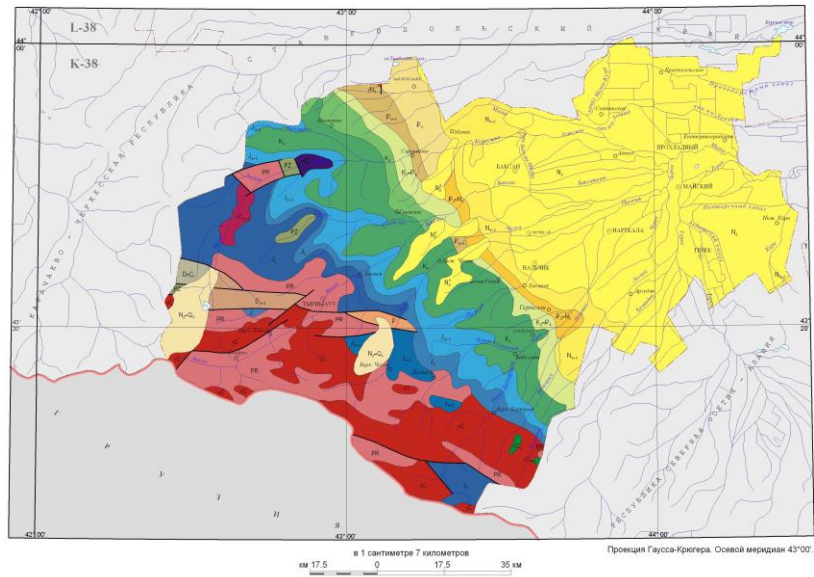
Река Малка при своей деятельности выработала линейные отрицательные формы рельефа – речную долину. Основные элементы речной долины: пойма, речные террасы, склоны [44]. Наиболее характерной чертой геологического строения района является его двухэтажность, заключающаяся в наличии фундамента построенного резко дислоцированными прорывными интрузиями, и лежащим на нем, плавно наклоненном на северо-восток, комплексе осадочных отложений и пород, от верхнего Лейаса до Валанжина. Указанная особенность строения обуславливает развитие, главным образом, структурных форм, и позволяет различать три генетически неодинаковые разновидности рельефа: структурно-денудационный, структурно-эрозионный, скульптурно-эрозионный. Наблюдающиеся в настоящее время формы рельефа и их пространственное размещение позволяют наметить вместе с тем, три типа рельефа: холмисто-балочный рельеф плато, рельеф увалистой рассеченной равнины, горный скалистый рельеф. Выделенные типы рельефа отличается друг от друга генезисом, морфологией [19].

Для склонов современных долин р. Малка и ее притоков характерен горный водно-эрозионный рельеф [76]. Особенно расчлененный эрозионный рельеф наблюдается по долине р. Малка, средняя часть которой состоит в основном из известняковых и глинистых отложений верхний отдел представлен Меловой системой мезозойской группы. Существенно выделяются и участки нижнего отдела, где представлены: песчаник, мергели, глины, туфо-песчаники. Дальше по течению средней Малки идут отложения среднечетвертичного периода. К ним относятся: глины, суглинки, пески, ракушечники, галечники, конгломераты. Нижняя Малка представлена современными отложениями, к ним относят: галечники, пески, глины, известняковые туфы.

На территории бассейна р. Малка встречаются отложения всех геологических систем, начиная от докембрийских до верхнетретичных и четвертичных [54], распознаются осадочные отложения и продукты магматических эффузий и интрузии (рисунок 4).

Ландшафты верховья р. Малка представлены докембрием, который сложен толщами гнейсов, тальковых, хлоритовых, слюдяных, гранатовых амфиболитов, кварцитов, мраморов, песчаников. Достоверных сведений об ископаемых в архее нет. Существование организмов в этот период предполагается на основании наличия карбонатных пород, которые образовались как химическим путем, так и в результате жизнедеятельности известковых водорослей и бактерий. Здесь были распространены сине-зеленые водоросли, образовавшие мощные толщи известняков и доломитов. Встречаются виды: *Collenia*, *Newlandia*, *Osagia*. Они имеют концентрически-пластинчатые, шаровые, клубневидные, цилиндрические, иногда волнисто-слоистые формы. Обнаружены, также, радиолярии, относящиеся к классу корненожек. Это микроскопические, одиночные, редко колониальные, исключительно морские организмы, с кремнистым скелетом.

Кроме того, известны ядра фораминиферов, иглы кремнистых губок, трубочки и ходы червей, гаспороподы, ракообразные. Мощный магматизм вызвал образование различных руд в докембрийских породах: золотых, оловянных, медных, молибденовых, вольфрамитовых, висмутовых.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

НЕОГЕН	N ₂ -Q ₁	Плиоцен-неогейстоцен, нижнее эоцен. Конгломераты, пески, глины, вулканический пепел, лавы и туфы риолитов, дацитов, андезитов (до 1500 м)
	N ₂	Плиоцен. Глины с песками, песчаниками, лигвами галечников и конгломератов, прослоины мергелей, известняков, реже туфогенных песчаников (до 700 м)
	N ₂ ⁰	Верхний плиоцен. Риолитовые, риодацитовые, дацитовые, андецидацитовые лавы, туфы, илльмбриды (до 350 м)
	N ₂ -2	Плиоцен-миоцен. Пески с прослоями песчаников и пестроцветных глин, с лигвами конгломератов, реже туфогенных песчаников (до 350 м)
ПАЛЕОГЕН	P ₂ -N ₁	Олигоцен-миоцен. Глины известковые и неизвестковые, прослой мергелей, известняков, песчаников и песков, редкие прослой сидеритов (до 2000 м)
	P ₂	Олигоцен. Глины с прослоями известняков, мергелей, песков, алевролитов, песчаников (до 350 м)
	P ₁ -2	Палеоцен и эоцен. Глины, мергели, алевролиты, песчаники, прослой известняков (до 720 м)
	K ₂ -P ₁	Верхний отдел и палеоцен. Известняки, мергели, горизонты кремней (до 620 м)
МЭЛ	K ₂	Верхний отдел. Известняки, мергели, прослой глин, песчаников, алевролитов, в основании глауконитовые песчаники (до 680 м)
	K ₁	Нижний отдел. Алевролиты, песчаники, глины, прослой известняков, включения карбонатно-песчаных шаровых конкреций (до 1480 м)
ЮРА	J	Аргиллиты, песчаники, прослой алевролитов, в основании лигвы конгломератов и гравелитов (до 1210 м)
	J ₂₋₃	Средний и верхний отделы. Известняки, доломиты, прослой мергелей, песчаников в основании конгломераты (до 1680 м)
	J ₁	Средний отдел. Аргиллиты, песчаники, прослой алевролитов, известняков (до 500 м)
	J ₂₋₃	Нижний и средний отделы. Аргиллиты, алевролиты, песчаники, прослой конкреционных конгломератов (до 750 м)
	J ₁	Нижний отдел. Аргиллиты, алевролиты, песчаники, прослой гравелитов, в основании лавы и туфы дацитов и андезитов, туфоалевролиты, конгломераты (до 2400 м)
ПЕРМЬ	PZ	Палеозой. Песчаники, филлиты, прослой алевролитов, горизонты известняков, доломитов (до 1600 м)
	P	Пермь. Песчаники, алевролиты, конгломераты, гравелиты, аргиллиты (до 900 м)
	P ₂	Граниты
	P ₁	Перидотиты, дуниты, шроксениты
	P ₂	Граниты
	P ₁	Габбро
	D-C	Девон - карбон. Филлитовидные сланцы, аргиллиты, алевролиты, песчаники, прослой и лигвы известняков, гравелитов, кремнистых сланцев, туфов андезитов (до 1850 м)
	D ₂₋₃	Девон. Средний и верхний отделы. Алевролиты, песчаники, гравелиты, конгломераты, базальтоиды, андезитовые порфириты, их туфы, туффиты, кремнистые сланцы, флангиты, в кровле известняки и известковые песчаники (до 2400 м)
	PR	Протерозой. Гнейсы слюдистые и амфиболовые, кварц-слюдистые сланцы, амфиболиты, хлоритовые сланцы, порфиритовиды, туфы андезитов и базальтов, туффиты, филлитовидные сланцы, конгломераты, лигвы известняков (до 6500 м)
		Геологические границы
	Основные тектонические нарушения	
⊙ НАЛЬЧИК	Города-административные центры	
⊙ БАСКЕН	Города	
○ КАШКАТАУ	Поселки - административные центры	
○ АИМУФ	Прочие населенные пункты	
—	Гидросеть, береговая линия	
—	Граница государственная	
—	Границы субъектов Российской Федерации	
Цифрами на карте обозначены: 1 - Республика Ингушетия		

Рисунок 4 – Геологическая карта Кабардино-Балкарской Республики [46]

На территории современного бассейна р. Малка встречаются залежи: слюды, асбеста, графита, нефритов, драгоценных камней, высокоглиноземистого сырья, красных палеозойских гранитов и мрамора.

Бассейн р. Малка частично расположен на территории зоны палеозойских отложений каменноугольной системы. Горные породы, слагающие каменноугольную систему, весьма разнообразны по условиям своего происхождения. На территории р. Малка были распространены ландшафты с наземной растительностью, отличающейся разнообразием. Особенно процветали наземные споровые растения – папоротники, плауны и хвощи, голосеменные кордаиты и семенные папоротники (птеридоспермы). Зеленые водоросли, жившие в пресной воде стали источником материала для образования сапропелевых углей, и, частично, горючих сланцев.

Мезозойская эра в верховьях р. Малка представлена абиссальными кремнистыми известняками с марганцевыми конкрециями, батиальными – черными битуминозными глинами и сланцами, мергелями с аммонитными известняками, местами красными, вулканогенными образованиями, туфами, туфобрекчиями, интрузивными магматическими породами.

Меловая система представлена конгломератами, песками, глинами с останками пресноводных моллюсков, рыб и костями пресмыкающихся. Четвертичные отложения представлены в основном континентальными осадочными породами. В этот период Кавказ также был покрыт льдом, но марены, показывают, что лед не выходил на предгорную равнину. Террасы Терека и Кубани увязываются с моренами.

По течению р. Малка в предгорной зоне в районе селений Каменноостское и Сармаково имеются залежи сероводородно-углекислых пород. В этом районе расположены подгруппы благородных металлов генетического типа, осадочно-механических пород, рудной формации золотоносных россыпей. Далее, вблизи с. Комлюково располагаются подгруппа карбонатных пород, известняков, осадочного генетического типа, которые вымываются, частично растворяются в водах р. Малка. На территории с. Куба вдоль течения располагаются

золотоносные россыпи благородных металлов. Вблизи с. Псыхурей, распространены минеральные лечебные и бромные породы.

На территории долин р. Малка и её притоков имеется большое количество железной руды, обнаружены никель, кобальт, марганец, титан, ванадий, цинк, олово, медь, золото, серебро, цирконий, стронций, галлий, мышьяк, калий, натрий, барий, алюминий, кремний, магний [158]. Одним из распространённых элементов, встречающихся в основном в сопровождении цинка, является свинец. Содержанием свинца в поверхностных водах взаимосвязано с наличием содержащих его пород [143].

В верховьях р. Баксан, являющейся главным притоком р. Малка, представлены осадочные химические породы хемогенно-осадочного генетического типа к которым относят кварц-арсенопиритовые (с золотом) породы. На данной территории шлиховые пробы показали наличие молебденита, шеелита, касситерита, киноварь и золото которые в дальнейшем вымываются и переносятся потоком воды в устьевую зону р. Баксан откуда далее они попадают в р. Малка.

В районе с. Бадык распространены гипсовые породы, доломиты. Между селениями Жанхотеко и Атажукино распространены серебряные руды. От с. Атажукино до с. Исламей представлены карбонатные породы и известняки, а также глины, керамзиты, пески, шеелиты. От с. Исламей до г. Чегем по всей протяжённости реки распространены шлиховые пробы в виде золота. От г. Чегем до с. Алтуд прослеживается геофизическая аномалия, с присутствием нефтегазаносных залежей. На территории Кабардинской наклонной равнины распространены месторождения глин. Глины состоят в основном из монтмориллонита.

От состава горных пород зависит минерализация подземных вод. Основными компонентами подземных вод, являются ионы кальция, магния, натрия, калия, а также гидрокарбонат-, сульфат- и хлорид-ионы, которые в различных комбинациях образуют соли входящие в состав подземных и поверхностных вод [54].

2.3. Климатические факторы

Территория бассейна р. Малка располагается в умеренном климатическом поясе. Верховья реки расположены в Горной климатической области Северного Кавказа. Средняя часть бассейна, расположенная в предгорной местности, и нижняя часть – занимающая равнину, относятся к Атлантико-континентальной степной области.

Основным климатообразующим фактором на территории бассейна верхнего течения реки является рельеф. Сформировавшееся на этой территории сочетание горных хребтов и котловин, способствует понижению температуры воздуха, вследствие достаточно сложной траектории циркуляции воздушных масс.

Равнинный участок бассейна р. Малка находится в зоне полусухого умеренного климата (Dfa) в сочетании с семиаридным климатом умеренных широт (Bsk) по классификации Кёппена [215]. Такой тип климата характерен для территорий отдалённых высокогорьем и расположенных достаточно далеко от крупных морей и океана. Лето здесь жаркое и засушливое, зима – прохладная, мягкая. В современном периоде, зимой устойчивый снежный покров образуется редко. Весной и летом часто выпадают ливневые дожди с градом. В период с конца июля наблюдаются суховеи, дующие со стороны Прикаспийской низменности [108].

Для равнинной территории бассейна р. Малка, характерна довольно высокая температура летом (+34 °C) - (+36 °C). Зима умеренно холодная, характерны частые оттепели, поэтому снежный покров маломощный и, как правило, неустойчивый. Средняя температура января (-2 °C) - (-5 °C). В верховьях бассейна р. Малка, расположенного в горной местности, средняя месячная температура воздуха самого теплого месяца (июля) колеблется от (+20,7 °C) на высоте 506 м до (-1,4 °C) на высоте 4250 м., самого холодного месяца (января) - от (-4,1 °C) до (-19 °C) [116].

Количество осадков выпадающих в течение года и коэффициент увлажнения зависят от высоты. По условиям увлажнения территория бассейна р. Малка разделена на три зоны: высокогорную – с влажным климатом (600 – 1000 мм, к.у.

около 1,7), предгорную – с умеренно-влажным климатом (400 – 600 мм, к.у. около 1,2), степную – с засушливым климатом (300 – 400 мм, к.у. около 0,8) [42].

Минимальное количество осадков на территории бассейна р. Малка выпадает в холодное время года, максимальное – в теплое, что связано с воздействием холодных фронтов атлантических циклонов. Количество осадков, выпадающих в весенне-летний период, увеличивается с запада на восток. Зимой количество осадков возрастает с востока на запад. Количество атмосферных осадков в степной зоне возрастает с востока на запад, в предгорной и высокогорной зонах с запада на восток.

Температура воды возрастает по руслу р. Малка от истоков к устью. Годовой ход температуры воды характеризуется низкими значениями с ноября по март, при минимальной в январе. Резкий рост температуры отмечается в апреле-мае. В летние месяцы увеличение температуры воды значительно меньше. Наибольшие температуры воды отмечаются в июле. С августа-сентября температура воды понижается вначале незначительно на 0,5-1,5°С в месяц, а в последующем на 2-3 °С в месяц [69].

2.4. Почвенно-растительный покров и фауна

Состав почв определяется климатическими условиями, рельефом, составом горных пород и минералов [70, 150]. Почвенный покров, сформировавшийся на территории бассейна р. Малка, под влиянием различных климатических и литолого-геоморфологических условий, достаточно разнообразен и включает 28 видов почв (таблица 1).

В горной части бассейна р. Малка степень развитости почв зависит от соотношения интенсивности процессов выветривания и денудации. Небольшая мощность почвенных профилей объясняется влиянием склоновых процессов приводящих к смещению верхних горизонтов почв. Химический состав почв характеризуется низким содержанием солей, что связано с высокой естественной дренированностью.

Таблица 1 – Почвенный покров бассейна реки Малка (составлена по [18])

Тип почвы	Почвенный профиль	Расположение
Горно-луговые	Ad – дерновые; A – гумусовый 20 см; B – переходный гумусированный материал, между плотной породой 15-20 см; BC – нижний переходный, материнская порода; C – элювий, материнская порода; P – плотная порода	Склоны Главного Кавказского хребта, скалистого хребта, гребни отрогов высотой 2400-3200 м
Горные бурые лесные (неполно развитые, псевдоподзолёные)	A _o – лесные подстилка 1 см; Alfh – слой формирующегося гумуса, буро-серых оттенков, зернистый с корнями лесных растений 10-30 см; Vm – метаморфический оглиненный горизонт 100 см; Csial - материнская порода каменные компоненты гумус 10-12 см	Долина Нарзанов
Горные чернозёмы	A – гумусовый горизонт; A _o – может образоваться войлок; Ag – дерновый горизонт; Апах – пахотный горизонт; А – подпахотный горизонт; AB – гумусовый переходный горизонт 40-150 см; BC – переходный горизонт; BCa(CCa) – дескутивно-карбонатный иллювиальный горизонт с обилием конкреций извести (белоглазок), журавчиков; BCsSa(CCsSa) – иллювиальный горизонт гипса и легкорастворимых солей; C – почвообразующая порода. Общая мощность -150-450 см	с. Хабас, с. Каменноостское, с. Сармаково
Горные чернозёмы обыкновенные	A – гумусовый горизонт 30-40 см; AB – гумусовый горизонт 40-120 см, преобладает мощность 40-80 см; B _k – иллювиально-карбонатный горизонт; (BC _k)C _k – карбанатная материнская порода палевого цвета, много кротовина, гипс 200-300 см	с. Куба
Аллювиальные карбонатные (аллювиальные луговые карбонатные слоистые почвы; аллювиальные луговые карбонатные)	Ad – серая или темно серая дернина маломощная лесная подстилка; A – гумусовый горизонт; Bg – переходный горизонт; C(Cg) – оглеенный горизонт	
Засоленные	Ac – сверхповерхностные почвы покрытые соленой коркой; A – гумусовый горизонт 20-50 см; ABg – переходный гумусовый горизонт 10-30 см; Bgk – переходный горизонт; Cg(G) – оглеенная материнская порода	г.о. Прохладный, с. Солдатская
Пойменные	Ad – дернина 3-5 см; A – гумусовый горизонт 40-60 см; V ₁ – переходный горизонт; Bg – глеевый горизонт; Cg – слоистый аллювий	

В горно-степном поясе сформировались горные чернозёмы. Это плодородные почвы, для которых свойственна большая мощность гумусового слоя. Их химический состав сформирован продуктами выветривания карбонатных горных пород.

В горно-лесном поясе, отличающемся развитой травянистой растительностью, способствующей гумификации, сформировались горные серые и бурые лесные почвы.

В горно-луговом поясе сформировались горно-луговые субальпийские почвы, отличающиеся большой мощностью верхних горизонтов. Химический состав таких почв сформирован продуктами выветривания гранитов, песчаников и известняков, и отличается высоким содержанием гумуса.

В поясе альпийских лугов сформировались горно-луговые альпийские почвы, имеющие торфянистый характер. Содержание гумуса в таких почвах уменьшается с глубиной.

В равнинной части распространены темные почвы (различные типы черноземов), характеризующиеся зернистой структурой. В таких почвах лучше происходят процессы воздухо- и влагообмена [3].

Аллювиальные почвы распространены в поймах рек. Они развиваются на современных аллювиальных отложениях, как правило, неоднородных по механическому составу, под крупнозлаковой или древесно-кустарниковой (тугайной) растительностью в условиях периодического затопления паводковыми водами. В меженный период почвы находятся под воздействием капиллярного увлажнения от залегающих грунтовых вод, до 2 м. Иногда образуется маломощная лесная подстилка. Содержание гумуса в верхнем гумусовом горизонте в соответствии со степенью выраженности этого горизонта колеблется от 1 до 5%. Вскипание от соляной кислоты наблюдается с поверхности. Реакция почв щелочная и слабощелочная. Емкость поглощения невысокая, полная насыщенность поглощающего комплекса основаниями.

На территории бассейна нижнего течения р. Малка сформировались гидроморфные почвы: луговые карбонатные и аллювиальные дерновые

насыщенные карбонатные [96, 186]. Для таких почв характерен среднеглинистый или среднесуглинистый механический состав, хорошо развитый гумусовый горизонт (с содержанием гумуса более 5%) [122]. Почвы формируются на территориях поймы, для которых характерно слабое движение полых вод, поэтому отложение материала идет медленно, чем и объясняется слабое проявление слоистости и тяжелый механический состав почв, но могут развиваться и на высокой пойме, редко затапливаемой паводковыми водами [108].

Основными факторами, определяющими состояние растительного покрова являются влажность и термический режим [206]. Флора территории бассейна р. Малка разнообразна и типична для Центрального Кавказа, отличается генетической неоднородностью. Изоляция, обусловленная особенностями рельефа Кавказа, привела к образованию значительного количества эндемичных видов, составляющих около трети всей растительности.

Территория Кабардино-Балкарской республики, на которой расположен бассейн р. Малка, разделена на пять ботанико-географических районов [207]: Малка-Баксанский (березовые и сосновые леса); Черeko-Чегемо-Суканский (ель восточная, пихта Нормана, тис ягодный, рододендрон кавказский); Юрской депрессии (нагорноксерофитная и петрофитная растительности); Лескено-Лашкутинский (мезофильные широколиственные леса); Терско-Прохладенский (фрагменты лесной растительности и группировки кустарниковых зарослей).

Животный мир бассейна р. Малка, охватывающего всю территорию Кабардино-Балкарской республики насчитывает: около 80 видов млекопитающих, 360 видов птиц, 57 видов пресмыкающихся, 14 видов земноводных [161]. Фауна Кабардино-Балкарии включает около 8000 видов жуков, 2000 видов бабочек, 330 видов прямокрылых и 280 видов моллюсков [110, 162]. В распределении фауны также отчетливо выражена высотная поясность. Видовой состав обитателей высокогорных районов немногочисленен, с уменьшением высоты фауна становится более разнообразной. Во всех группах животных есть эндемичные виды. Среди млекопитающих наиболее многочисленны семеноядные грызуны - лесная мышь, кустарниковая полевка, полевая мышь, бурузубки, обыкновенная

полевка. Встречаются заяц-русак, еж, кабан, косуля, олень, лиса, волк, бурый медведь, рысь, ласка, куница и др.

Велико разнообразие пернатого населения лесостепной зоны. Здесь поселились хохлатые жаворонки, сорокопуты, дрозды, дятлы, кукушки, голуби и др. Черный дрозд широко распространен в небольших рощицах. Не менее разнообразен и мир птиц в зоне широколиственных лесов. Особенно многочисленны виды мелких воробьиных: дрозды, сойки, коньки, пеночки, щеглы, крапивники, корольки, кукушки, дятлы и др. В широколиственных лесах пернатое население имеет обильную кормовую базу (семена, ягоды, плоды травянистой и древесно-кустарниковой растительности) и прекрасные укрытия – густые заросли колючих кустарников (терна, шиповника и др.).

Такие участки леса – прекрасные места обитания фазана, красивой лесной птицы из отряда куриных. В кронах старых дубовых деревьев можно увидеть все четыре вида дятлов – большого пестрого, малого пестрого, черного и зеленого. Они прекрасные санитары леса. Питаются исключительно насекомыми и их личинками, поселяющимися под корой деревьев [42].

В фауне бассейна р. Малка имеются и такие представители, жизнедеятельность которых в той или иной степени связана с водой. Их называют околводными животными. Они имеют вытянутую, обтекаемую форму тела, покрыты густым мехом, между пальцами – плавательные перепонки. Свои жилища строят поблизости от водных объектов. В рацион их питания входят рыба, земноводные. К таким животным относятся речная выдра, нутрия, норка европейская, водяная полевка, или водяная крыса.

В связи с тем, что равнинная часть бассейна р. Малка в настоящее время освоена под сельскохозяйственные угодья, естественная растительность здесь практически не сохранилась [187]. Фауна представлена в основном грызунами (обыкновенный слепыш, степная мышовка, большой тушканчик, обыкновенная слепушонка, серый хомячок, обыкновенный хомяк, обыкновенная полевка), пресмыкающимися (луговая ящерица, зеленуха, прыткая ящерица, ужи, желтобрюхий полоз, узорчатый полоз, степная гадюка), земноводными (жаба, древесная квакша,

закавказская лягушка, прудовая лягушка, малая жаба, земляная древесная лягушка), насекомоядными (ушастый ёж, землеройка, крот) и немногочисленными хищниками (лисица обыкновенная, лесной кот, ласка, степной хорек, белка алтайская, соня-полчок). Типичные представители насекомых: паук-оса, пчёлы, осы, шмели, тутовый шелкопряд, паук-прыгун, саранча, кузнечики, богомолы, палочник, муравьи – черный садовый, малый лесной, медведка, бабочки-Адмирал крапивница, мотылек Бражник, Сатурния цекропия колибри, парусник Махаон.

Степные ландшафты оживляются пернатым населением, особенно летом. Зимой большинство полевых птиц улетают на юг. Для открытых степных пространств характерны перепел, а из отряда воробьиных – степной жаворонок, полевой воробей, деревенская ласточка, соловей, обыкновенная овсянка, черный дрозд, хищные – пустельга обыкновенная, степной лунь, коршун, ракша-сизоворонка, шурка, пустельга обыкновенная. Видовой состав животных лесостепной зоны разнообразнее, чем степной. Это объясняется тем, что лесостепи приурочены к предгорным возвышенностям, местность более пересеченная, остепненные луговые участки сочетаются с лесными массивами, создаются хорошая кормовая база и условия для укрытия в момент опасности.

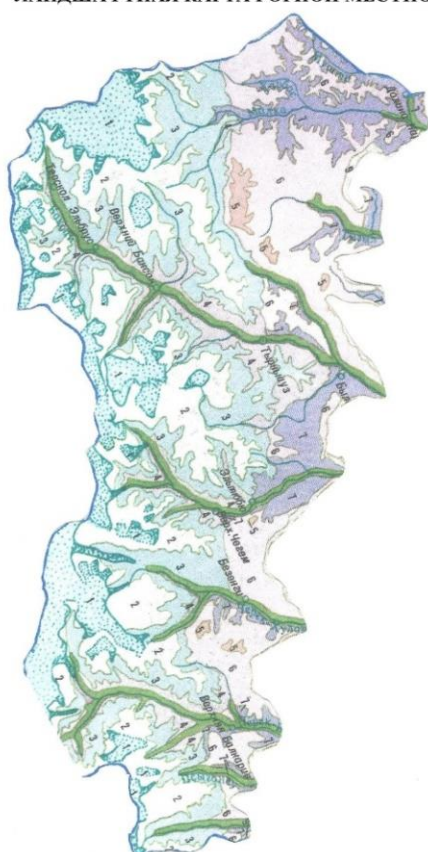
Ихтеофауна водного объекта реки Малка: реки, оросительных каналов достаточно разнообразна. Форель – небольшая рыба длиной 25-35 см. Любит чистую прозрачную и холодную воду. Местообитанием для форели являются верховья Малка. В нижнем течении реки Малка широко распространен усач терский. Рыба любит участки с каменистым грунтом, чистую и быструю воду. В прибрежных водах обитают земноводные: жабы обыкновенная и зеленая, квакша обыкновенная, лягушки озерная и малоазиатская. В небольшом количестве встречается чесночница обыкновенная [69].

2.5. Характеристика ландшафтов бассейна реки Малка

Истоки р. Малка расположены на территории характеризующейся высотной поясностью, выражающаяся изменениями растительного покрова, в соответствии с зональным типом климата (рисунок 5).

ЛАНДШАФТНАЯ КАРТА ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ КБР

масштаб 1:750 000 в 1 см 7,5 км



ЛАНДШАФТЫ ГОР

I Ландшафты высокогорных денудационных, глыбовых и складчато-глыбовых хребтов и вулканических массивов, сложенных метаморфическими, интрузивными, вулканогенными и терригенно-карбонатными породами.

- 1 Альпийские скалистые гребни, крутые склоны, седловины хребтов и вулканические конусы, покрытые ледниками и снежниками, со скальными выходами, каменными осыпями, лишённые растительности (нивальный пояс)
- 2 Альпийские скалистые гребни и крутые склоны хребтов субнивального пояса скальными выходами и каменными осыпями с единичными группировками лишайников и горно-луговой разреженной альпийской растительностью
- 3 Относительно крутые склоны хребтов подгорно-луговой альпийской низкотравной мелкозлаково-осоковой разнотравной растительностью (в верхней части пояса) и под горно-луговой субальпийской высокотравной злаково-разнотравной растительностью с зарослями рододендрона и березовым криволесьем – преимущественно под пастбищами
- 4 Крутые предельные склоны хребтов под сосновыми лесами, с лавинными логами и частично под пастбищами на месте лесов; незначительная часть – под вторичными березовыми лесами

II Ландшафты внутри-горных тектонических понижений, осложненные среднегорными денудационными хребтами, сложенные терригенно-карбонатными породами

- 5 Округлые вершинные поверхности и относительно пологие склоны хребтов с единичной горно-луговой альпийской растительностью
- 6 Округлые вершины поверхности, пологие склоны хребтов и межгорные понижения под горно-луговой альпийской низкотравной растительностью из мелкозлаково-осоково-разнотравных ассоциаций (в верхней части пояса) и под горно-луговой субальпийской злаково-разнотравной растительностью – преимущественно под пастбищами
- 7 Относительно крупные предельные склоны хребтов под сосновыми лесами и частично под вторичными березовыми лесами (в долине реки Малки) и под пастбищами на месте лесов

Рисунок 5 – Ландшафтная карта горной местности КБР [18]

В горной части бассейна р. Малка представлены нивальный, субнивальный, субальпийский, альпийский, горнолесной, горностепной ландшафты.

Ландшафты субнивальной зоны располагаются на высотах от 2900 м до 3000 м над уровнем моря. На 3000 м уже начинается граница абсолютной высоты, выше которой снежный покров держится весь год. 58% всех видов растительности субнивальной зоны составляют полуразноточные, 15% - безразноточными

представителями, 22% - розеточные представители, 5% - представлены рухлоподушковидными и плотноподушковидными площадь которых составляет 526,8 км². Одним из основных факторов вызывающих изменение высокогорных ландшафтов, является движение ледников, транспортирующих объёмный материал, попадающий на их поверхность из приледниковой зоны.

Растительный покров на горной территории представлен лугами сложно-расчленённого рельефа, который способствует формированию различных видов эндемиков и реликтовых форм.

Ландшафты альпийских территорий располагаются в пределах от 2600 м до 2900 м над уровнем моря. Отличительными особенностями субальпийских лугов являются: выход коренных пород, большие площади, каменных россыпей и моренных конкреций. Растительность на данной территории схожа с тундровой.

Ландшафты семиаридных поясов распространяются по долинам и котлованам в Северо-Юрской депрессии. Ландшафты субальпийских лугов расположены в широком высотном диапазоне от 1500-1800 м до 2400-2800 м над уровнем моря. Растительность представлена вечнозелеными кустарниками (рододендрон кавказский, можжевельник казацкий) и высокой травой, в отличие от субальпийских лугов здесь отсутствует злаковое задернение. Вечнозеленые кустарники представлены.

Ландшафты верховьев речной долины находятся на отметках 1400-1800 м над уровнем моря. Они представлены ландшафтами высокогорных денудационных, глыбовых и глыбово-складчатых хребтов (Передовой, Боковой и Главной) и вулканических массивов, сложенных метаморфическими горными породами.

Ландшафты отроговых днищ представлены накоплениями из моренных, флювиально-гляциальных, а также аллювиальных и селевых отложений. Им свойственна горностепная и горно-лугово-степная растительность. Степные кустарники, расположенные на южном склоне. В альпийской зоне распространены низкотравные мелкие злаковые и осоковые виды.

На альпийских скалистых гребнях и крутых склонах хребтов субнивальная зона распространены лишайники и лугово-тундровой растительностью, остальная

часть покрыта ледниками. В верховье Малки распространяются также и сосудистые и цветковые растения с высотой травостоя около 75 см, и альпийской растительностью примерно 10 см высотой. На горной территории достаточно большое количество эндемиков Кавказа. Распространены и редкие виды покрытосеменных, папоротниковидных.

Бассейн р. Малка в среднем течении располагается на горно-предгорных территориях (рисунок 6).

ЛАНДШАФТНАЯ КАРТА ПРЕДГОРНОЙ МЕСТНОСТИ КБР

масштаб 1:750 000 в 1 см 7,5 км



Рисунок 6 – Ландшафтная карта предгорной местности КБР [18]

Ландшафт лесного пояса характерен для предгорных, среднегорных и высокогорных районов, расположенных на высоте до 2800 м над уровнем моря.

На северных склонах Скалистого хребта лесной пояс представлен сплошной полосой широколиственных, буковых, грабовых и буково-грабовых лесов. Пояс с широколиственными лесами в северо-западной части практически не выражен.

Бассейн реки Малка в нижнем течении располагается на равнинных территориях (рисунок 7).

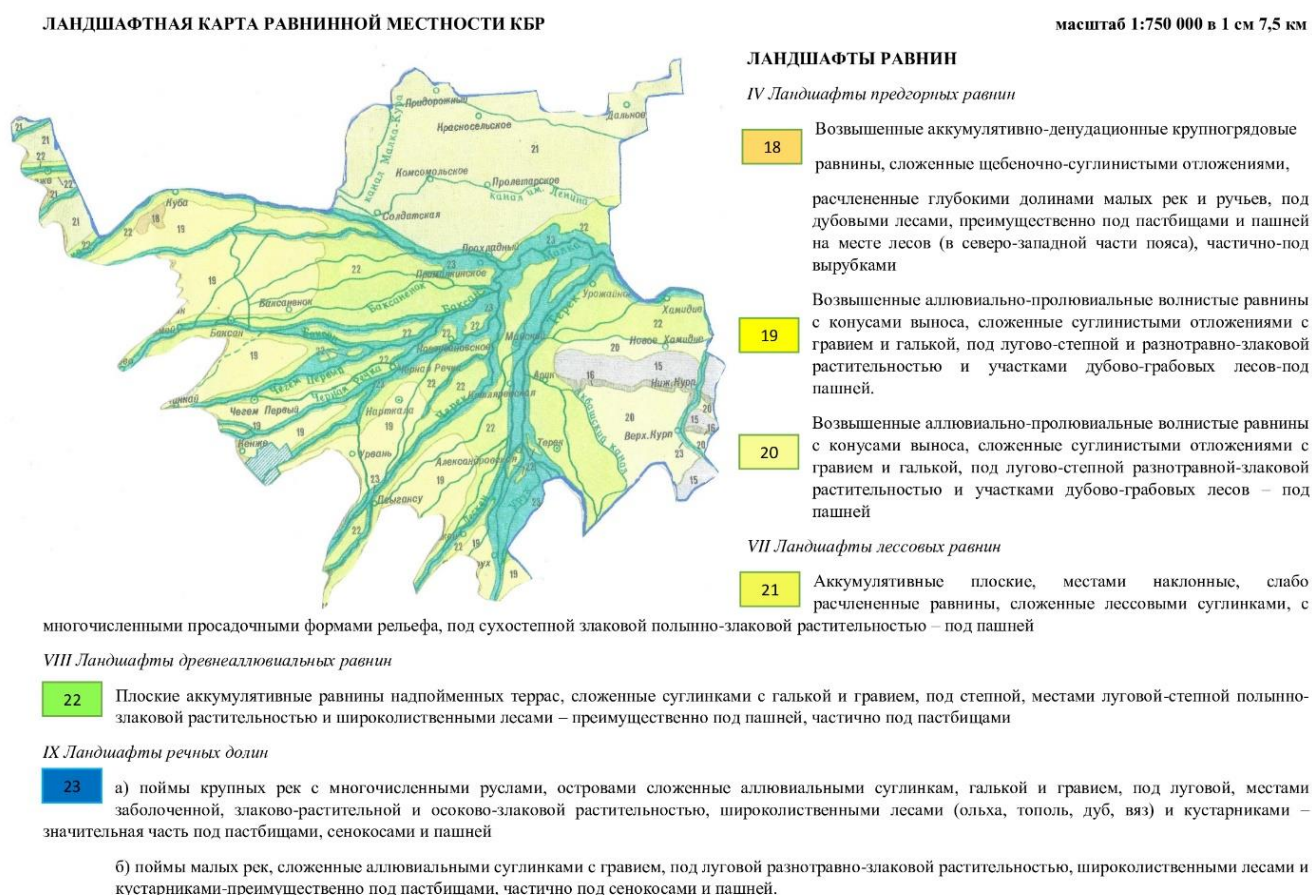


Рисунок 7 – Ландшафтная карта равнинной местности КБР [18]

Ландшафты лугостепных и степных зон распространяются на открытой местности нижнего горного пояса, они объединяют низкогорные куэсты эрозионно-денудационных хребтов предгорий и частично среднегорных, эрозионно-денудационных складчатых хребтов. На данной территории распространены степные луга, в основном они заняты пастбищами и частично пахотными землями [116].

Ландшафты равнин включают предгорные, лессовые, древнеаллювиальные равнины и речные долины. Преобладающим типом зональной растительности равнинной части бассейна р. Малка являются злаково-разнотравные и злаково-полынные степи [116].

Ландшафты пойменных территорий располагаются в пойме р. Малка. Основными характеристиками данных ландшафтов являются кустарниковая растительность представители, которых облепиха, шиповник, барбарис. В предгорной зоне ландшафты пойм представлены ивово-тополевыми лесами и зарослями кустарников.

Ландшафты бассейна р. Малка подвержены антропогенному воздействию [190]. Селитебные ландшафты подразделяются на городские и сельские. К сельским селитебным ландшафтам относятся равнинные и горные сельские территории. Основными особенностями таких ландшафтов является хозяйственная деятельность. Выпас скота, распашка территории и другие виды антропогенной нагрузки, способствуют переходу из первичных степей во вторичные. Происходит деградация почв и растительного покрова, водная и ветровая эрозия, засоление, переувлажнение, заболачивание, подкисление земель.

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Методика расчета морфологических параметров (измерителей) русловых процессов

Сопоставлялись оцифрованные исторические топографические материалы: карта Кавказского края (издание Кавказского Военно-топографического отдела. 1877 г.) (рисунок 8), военно-топографическая карта Кавказа и Кубани (издание U.S. Army Map Service, Washington, D.C. 1943 г.) (рисунок 9) и современная электронная Яндекс карта (2024 г.) (рисунок 10). Для сопоставления были выбраны 3 участка в верхнем течении (№1, №2, №3), 3 участка в среднем течении (№4, №5, №6) реки и 5 участков в нижнем течении (№7, №8, №9, №10, №11), позволяющие наиболее информативно проследить цикл изменчивости реки.

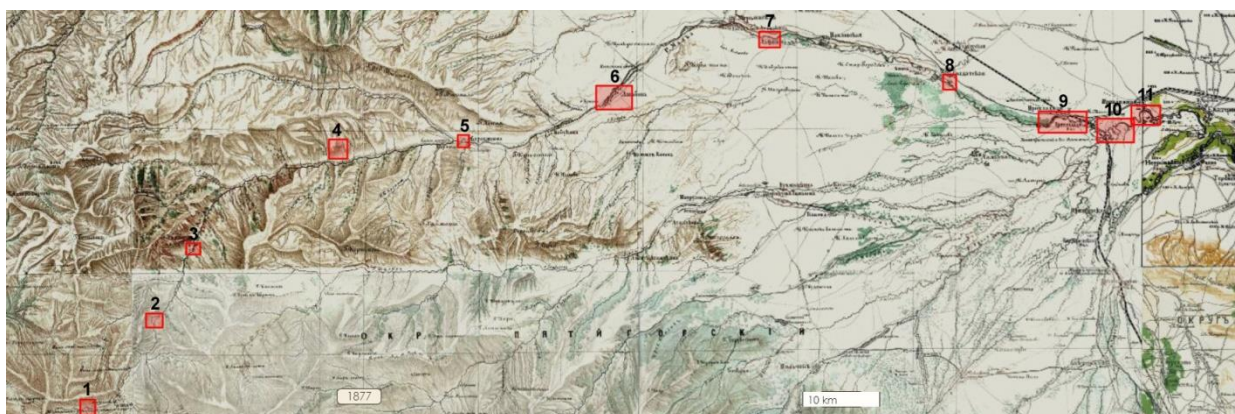


Рисунок 8 – Фрагмент карты Кавказского края (1877 г.)

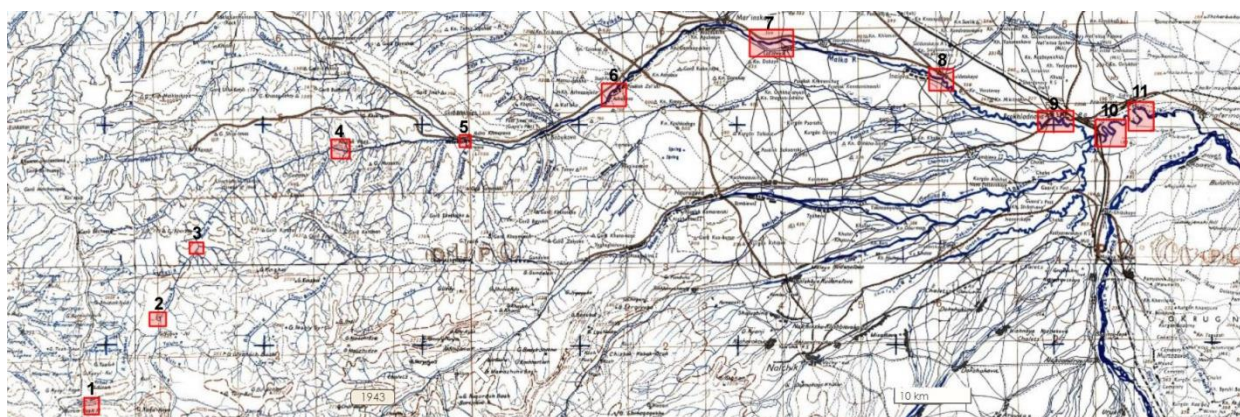


Рисунок 9 – Фрагмент военно-топографической карты Кавказа и Кубани (1943 г.)

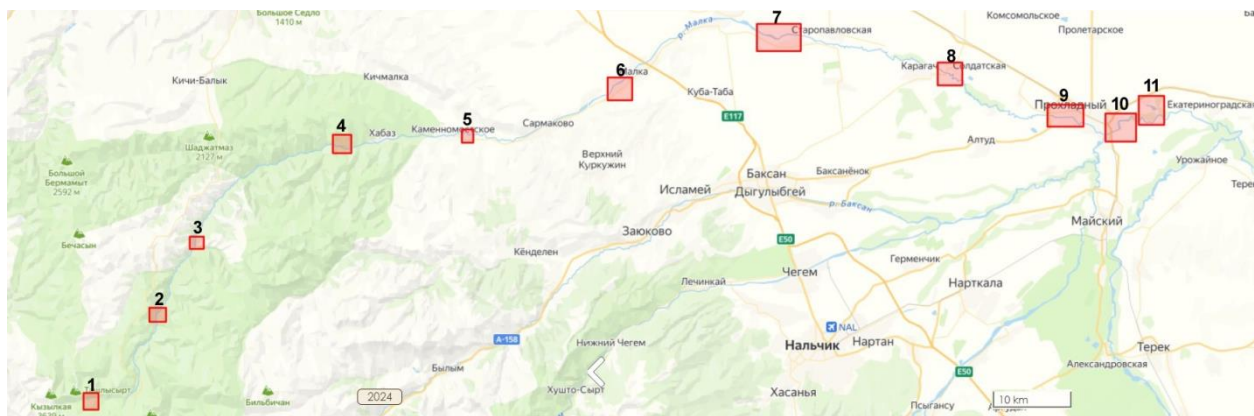


Рисунок 10 – Фрагмент Яндекс карты (2024 г.).

Для определения морфологических параметров меандрирования р. Малка использованы инструменты сравнения и наложения карт, предоставляемые сервисом Retromap.ru (<https://retromap.ru/>), с их помощью получали три растровых изображения для каждого участка, совпадающих по координатам границ. Полученные изображения переносились в ГИС Аксиома 6.0, где создавались слои путем регистрации растра методом аффинитета, используя 4 точки привязки по границам участка, которые накладывали на современную карту (проекция Долгота/Широта WGS 84), далее проводилось определение длин и углов.

Основные линейные и угловые параметры рассчитывались по известным методикам, описанным в работах Р.С. Чалова [172-174] и опробованным в работе [94]: « 1) шаг излучины λ_n , м – расстояние по прямой между двумя точками перегиба осевой линии русла; длина излучины S_n , м – расстояние между двумя точками перегиба, измеренное по осевой линии русла; относительная длина излучины S_n/λ_n – отношение расстояния по прямой между двумя точками перегиба осевой линии русла к расстоянию между двумя точками перегиба, измеренному по осевой линии русла; стрела прогиба излучины h , м – длина перпендикуляра, проведенного от оси пояса меандрирования к вершине излучины; отношение стрелы прогиба к шагу излучины h/λ_n ; стрела «завала» излучины h^* , м – расстояние от середины отрезка, представляющего собой шаг излучины, до вершины излучины; параметр асимметричности излучин h^*/h ; радиус кривизны излучины r , м – радиус окружности, которой описывается кривая геометрической оси русла на большей

части ее длины; показатель формы излучины r/h , м; угол входа $\alpha_{\text{вх}}$, ° – угол, образованный линией шага и вектором, направленным в сторону течения по касательной к осевой линии в верховой точке ее перегиба; угол выхода $\alpha_{\text{вых}}$, ° – угол, образованный продолжением линии шага и вектором, проходящим через низовую точку перегиба; угол разворота $\alpha_{\text{р}}$, ° – угол, образованный двумя перечисленными выше векторами и равный сумме углов входа и выхода».

3.2. Исходные данные для исследования термического и гидрологического режимов

Для количественной оценки климатических изменений на территории бассейна нижнего течения р. Малка, в качестве базовой информации, использованы открытые данные о температуре воздуха за период с 2006 по 2023 гг., полученные на стационарном посту наблюдений «Метеостанция Прохладный», который в бесперебойном режиме осуществляет наблюдения по единой методике. Данный период выбран как не имеющий пропусков в наблюдениях и наиболее полно освещенный измерениями метеорологических величин. Измерения температуры воздуха на метеостанции проводились 8 раз в сутки (00 ч. 00 мин., 03 ч. 00 мин., 06 ч. 00 мин., 09 ч. 00 мин., 12 ч. 00 мин., 15 ч. 00 мин., 18 ч. 00 мин., 21 ч. 00 мин.), что дает возможность достоверно оценить изменение температуры воздуха. Достаточные по длительности ряды позволяют сравнивать значения за отдельные годы, и более продолжительные периоды.

Для оценки трансформации климата исследуемой территории за более чем столетний период, использовались литературные справочные данные о многолетних фоновых средних месячных температурах воздуха за период наблюдений 1912-1930 гг. [157].

Для изучения влияния климатических изменений на термический режим р. Малка в нижнем течении, использовались открытые данные о температуре воды р. Малка по гидропосту ст. Прохладная за период 2018-2023 гг., имеющиеся в

Информационной системе по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России.

Для изучения уровенного режима использованы открытые данные Центра Регистра и кадастра полученные на сайте <https://allrivers.info/> (Уровень воды онлайн) [164].

Для изучения водного режима использованы данные о среднесуточных расходах воды р. Малка полученные на гидропостах с. Каменноостское и ст. Прохладная, предоставленные отделом гидрологии Высокогорного геофизического института (г. Нальчик).

Анализ статистических характеристик температур воздуха и воды, а также среднесуточных, максимальных и минимальных расходов выполнен с применением математико-статистических методов, линейной тенденции, географической интерполяции, сравнительного анализа. Расчеты выполнялись с использованием пакета прикладных программ MSExcel.

3.3. Структура и методы геохимических исследований

Образцы для исследования химического состава аллювиальных отложений отбирались в период межени в декабре 2016 г. и в январе 2023 г. по методике, описанной в стандарте [47]. Использовали пробоотборник из нержавеющей стали объемом 500 см³. Для транспортировки и хранения проб использовали герметично закрывающиеся полиэтиленовые пакеты. Места отбора проб аллювия обозначены маркерами на карте (рисунок 11) и на фотографиях (рисунок 12-16).

Взятые точечные пробы тщательно перемешивали в отдельных ёмкостях. Из нескольких точечных проб формировали объединённую пробу, из которой методом квартования формировали аналитическую пробу. Исследования качественного химического состава образцов аллювия проводили в лаборатории центра коллективного пользования КБГУ «Рентгеновская диагностика материалов» с применением рентгенофлуо-респентного спектрометра Спектроскан МАКС-GV.

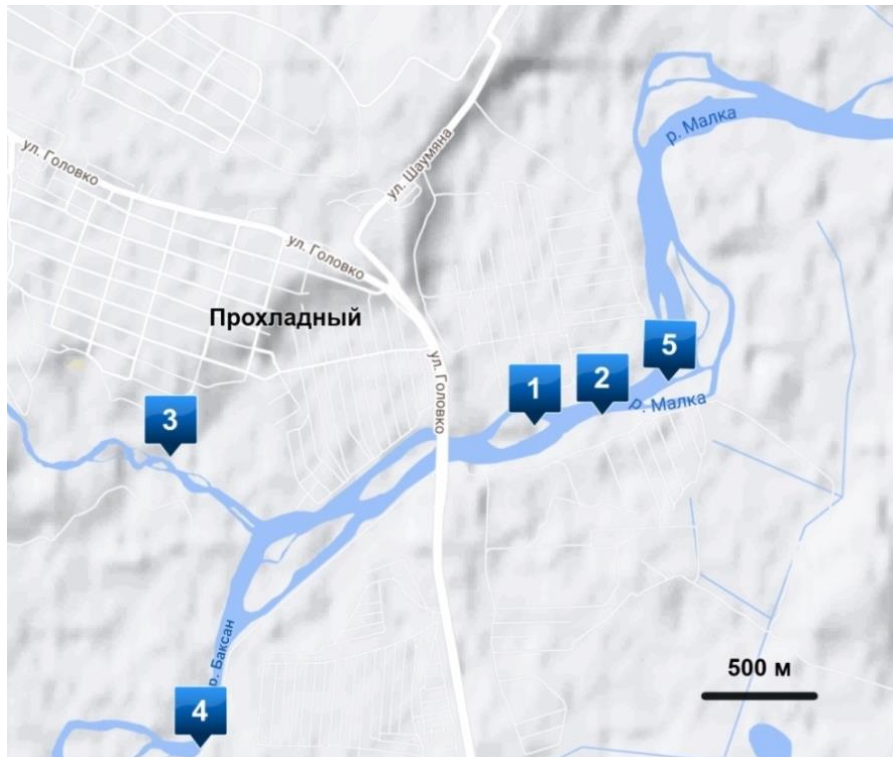


Рисунок 11 – Карта участка р. Малка с указанием мест отбора проб аллювия.
 1 – место образцов № 1-4, 2 – место отбора образца №5, 3 – место отбора образца №6, 4 – место отбора образца №7, 5 – место отбора образца №8



Рисунок 12 – Место отбора образцов аллювия № 1-4 (фото автора)



Рисунок 13 – Место отбора образцов аллювия № 5 (фото автора)



Рисунок 14 – Место отбора образцов аллювия № 6 (фото автора)



Рисунок 15 – Место отбора образцов аллювия № 7 (фото автора)



Рисунок 16 – Место отбора образцов аллювия № 8 (фото автора)

3.4. Структура и методы гидрохимических исследований

Для выявления особенностей формирования гидрохимического состава р. Малка в нижнем течении (рисунок 17) в период с 2015 по 2023 гг., нами ежемесячно синхронно отбирались пробы воды в четырёх пунктах (таблица 2). Места отбора проб воды обозначены маркерами на карте (рисунок 18) и проиллюстрированы на фотографиях (рисунки 19-22).

Таблица 2 – Пункты отбора проб воды в нижнем течении р. Малка

№ пункта	Водный объект,	Координаты
1	р. Малка до впадения притока – р. Баксан	43,735690; 44,058532
2	р. Малка после впадения притока – р. Баксан	43,735773; 44,077165
3	р. Малка (устье) перед впадением в р. Терек	43,745245; 44,232442
4	р. Баксан (устье) перед впадением в р. Малка	43,729278; 44,061937

В 2015 году день отбора проб выбирался случайным образом. В последующие годы, с целью получения репрезентативных результатов, учитывающих возможные изменения гидрохимических показателей в течение месяца, был составлен план-график отбора проб, в соответствии с которым, день отбора проб выбирался с учетом необходимости чередования декад в месяце (таблица 3). Всего за девять лет было отобрано 432 пробы.

Таблица 3 – План-график отбора проб

Год	Месяц, номер декады											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2015	1	2	1	2	3	3	3	1	3	2	3	3
2016	3	1	3	1	2	2	2	3	2	1	2	2
2017	2	3	2	3	1	1	1	2	1	3	1	1
2018	1	2	1	2	3	3	3	1	3	2	3	3
2019	3	1	3	1	2	2	2	3	2	1	2	2
2020	2	3	2	3	1	1	1	2	1	3	1	1
2021	1	2	1	2	3	3	3	1	3	2	3	3
2022	3	1	3	1	2	2	2	3	2	1	2	2
2023	2	3	2	3	1	1	1	2	1	3	1	1

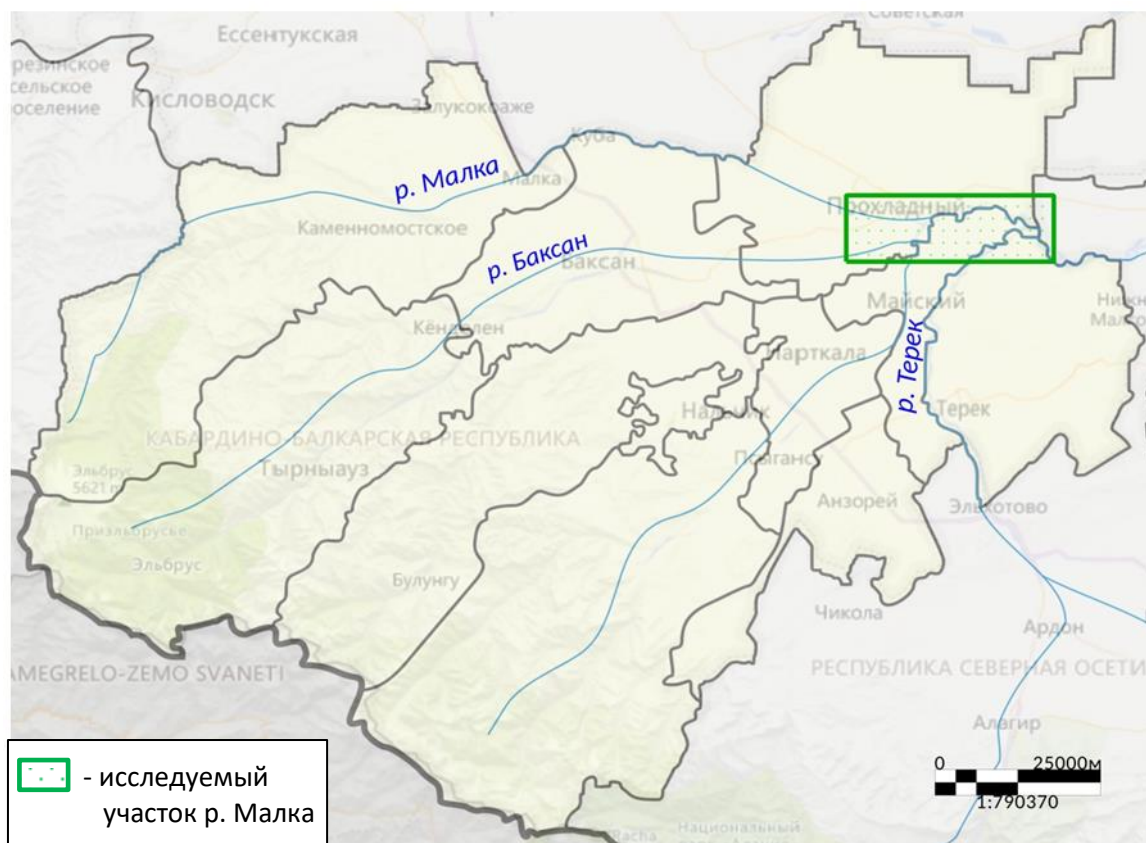


Рисунок 17 – Карта-схема бассейна р. Малка

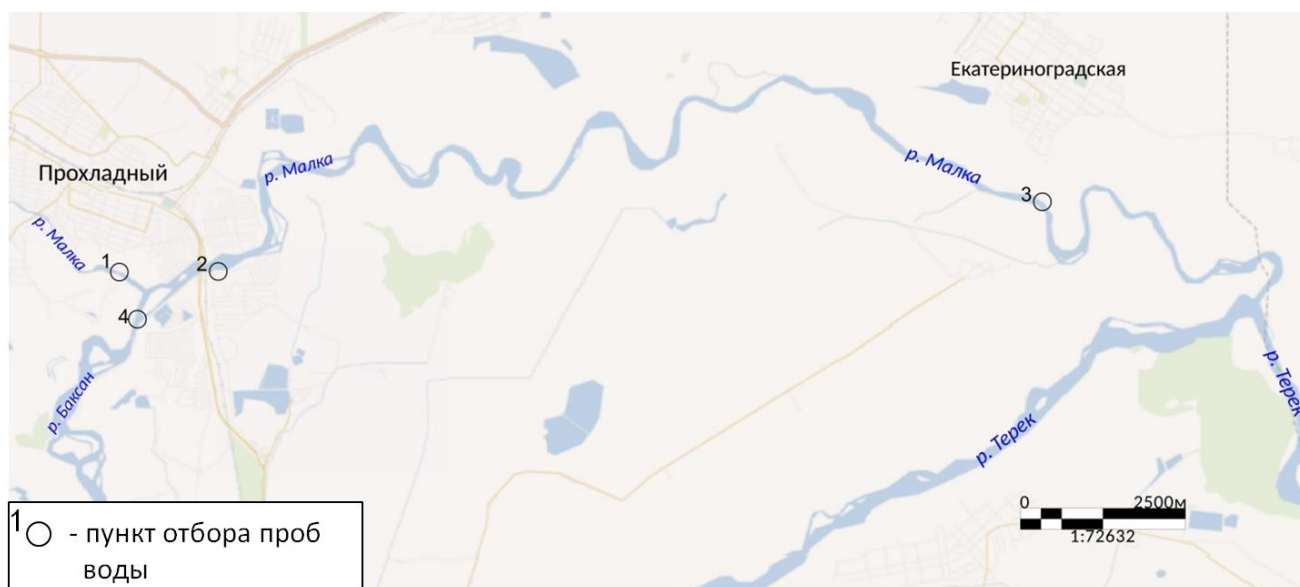


Рисунок 18 – Карта участка р. Малка с указанием пунктов отбора проб воды



Рисунок 19 – Место отбора проб воды р. Малка до впадения р. Баксан, левый берег, пункт №1 (фото автора, 28 октября 2023 г.)



Рисунок 20 – Место отбора проб воды р. Малка после впадения р. Баксан, правый берег, пункт №2 (фото автора, 28 октября 2023 г.)



Рисунок 21 – Место отбора проб воды р. Малка (устье) перед впадением в р. Терек, левый берег, пункт № 3 (фото автора, 28 октября 2023 г.)



Рисунок 22 – Место отбора проб воды в устье р. Баксан, правый берег, пункт №4 (фото автора, 28 октября 2023 г.)

В 2023 году ежемесячно отбирали пробы воды подземного источника. Место отбора проб воды из подземного источника (43,737230; 44,057866) показано на спутниковом снимке (рисунок 23) и на фотографии (рисунок 24). Всего в течение года было отобрано 12 проб воды.

Пробы для исследования химического состава воды отбирали в соответствии с установленными нормами [53] в чистые ёмкости из полимерного материала объемом 1000 см³. Емкости полностью заполняли водой и закрывали навинчивающейся крышкой так, чтобы внутри емкости не оставалось воздуха. Пробы не консервировали и анализировали как можно скорее, но не позднее чем через 24 часа после отбора. Если анализ проб воды проводили позднее, чем через 6 ч после отбора, то пробы хранили в холодильнике при температуре от 4°C до 8°C.

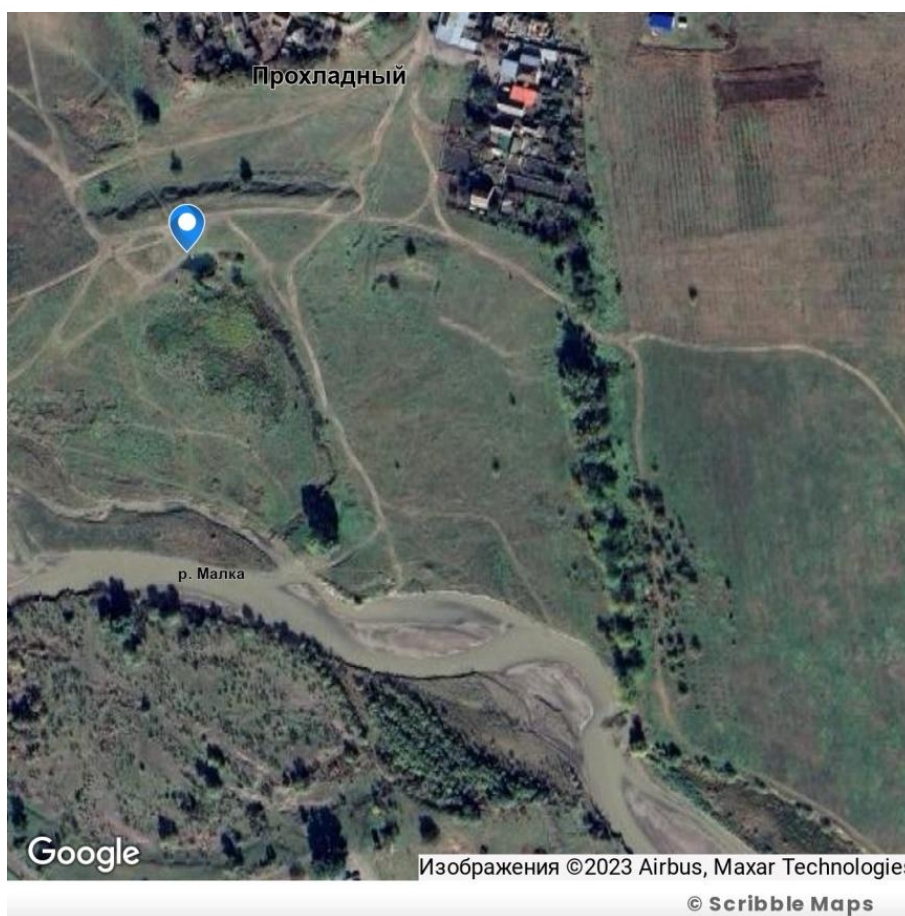


Рисунок 23 – Спутниковый снимок участка р. Малка с указанием месторасположения подземного источника



Рисунок 24 – Место отбора проб воды подземного источника, расположенного на пойменном участке в нижнем течении р. Малка
(фото автора, 28 октября 2023 г.)

Измерение температуры и прозрачности воды проводили в соответствии с руководящим документом [142]. Для измерения температуры воды использовали термометр ТМ 10-3 с диапазоном измерения от $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ с погрешностью измерений $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для измерения прозрачности воды использовали цилиндр Снеллена градуированный в сантиметрах, высотой 35 см и ценой деления 0,1 см. Для измерения рН использовали лабораторный рН-метр Анион 4100.

Количественный химический анализ отобранных проб воды проводился при личном участии автора в лабораториях аналитической химии и фармацевтической химии Кабардино-Балкарского государственного университета. Определение содержания растворённых веществ (сухой остаток) проводили по методике [134]. Жёсткость определяли комплексометрическим методом (метод А) по методике [49]. Перманганатную окисляемость определяли титриметрическим методом по методике [135]. Определение массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов проводили визуальным методом (метод А.2) по методике [50]. Определение

содержания хлоридов проводили аргентометрическим методом по методике [141]. Определение содержания сульфат-ионов проводили с использованием титриметрии с трилоном Б (метод 1) по методике [48]. Определение массовой концентрации нитритного азота проводили фотометрическим методом с реактивом Грисса по методике [140]. Содержание нитратов определяли фотометрическим методом с использованием салициловокислого натрия (метод Д) по методике [51]. Определение массовой концентрации общего железа проводили с сульфосалициловой кислотой по методике [52].

Исследования качественного микроэлементного состава проб воды проводили в лаборатории центра коллективного пользования КБГУ «Рентгеновская диагностика материалов» с применением рентгенофлуоресцентного спектрометра Спектроскан МАКС-GV.

Определение содержания общего числа микроорганизмов, колиформных бактерий, *Esherichia coli*, энтерококков, сальмонелл в воде подземного источника проводили в ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кабардино-Балкарской Республике» по методикам [123-125].

3.5. Методика расчета стока, модуля стока и нарушенности гидрохимического режима

Основную массу переносимых рекой растворённых веществ составляет ионный сток [130]. Расчет ионного стока производился на основе данных о концентрациях химических веществ и значениях стока воды за определённый период времени.

Расчет среднемесячного ионного стока (в тыс. тонн/месяц) проводили прямым способом, по формуле:

$$R_i = \frac{C \cdot Q \cdot 86400 \cdot n_i}{10^9},$$

где C – концентрация ионов в i -том месяце, мг/дм³; Q – среднесуточный водный сток, м³/с; n_i – число суток в i -том месяце.

Сезонный ионный сток (тыс. тонн/сезон) определялся суммированием среднемесячных ионных стоков трёх месяцев: для зимы – января, февраля и декабря; для весны – марта, мая и апреля; для лета – июня, июля, августа; для осени – сентября, октября, ноября, по формуле:

$$R_{\text{сезон}} = \sum_{i=3} R_i$$

Годовой ионный сток (в тыс. тонн/год) определялся суммированием среднемесячных ионных стоков двенадцати месяцев, по формуле:

$$R_{\text{год}} = \sum_{i=12} R_i$$

Для характеристики отличий речных водосборов разной площади в отношении интенсивности формирования на них стока химических веществ используется величина показателя стока с единицы площади – модуль стока растворённых химических веществ [130].

Модуль ионного стока, в тысячах тонн с одного квадратного километра площади водосбора (в тонн/км²) в сезон или в год, рассчитывали по формуле:

$$P_{\text{сезон}} = \frac{R_{\text{сезон}}}{F} \cdot 1000; P_{\text{год}} = \frac{R_{\text{год}}}{F} \cdot 1000,$$

где $R_{\text{сезон}}$ и $R_{\text{год}}$ – сезонный и годовой ионный сток, тыс. тонн/год; F – площадь водосбора для данного пункта отбора проб, км². При расчетах мы учитывали, что площадь водосбора р. Малка до впадения притока р. Баксан составляет 3 020 км² (пункт №1), площадь водосбора р. Малка на водомерном посту ст. Прохладная, составляет 9 820 км² (пункт №2), общая площадь водосбора р. Малка составляет 10 000 км² (пункт № 3), общая площадь водосбора р. Баксан (пункт №4) составляет 6 800 км² (рисунок 25).

Аналогичным образом рассчитывался среднемесячный, сезонный, годовой сток и модуль стока биогенных веществ.

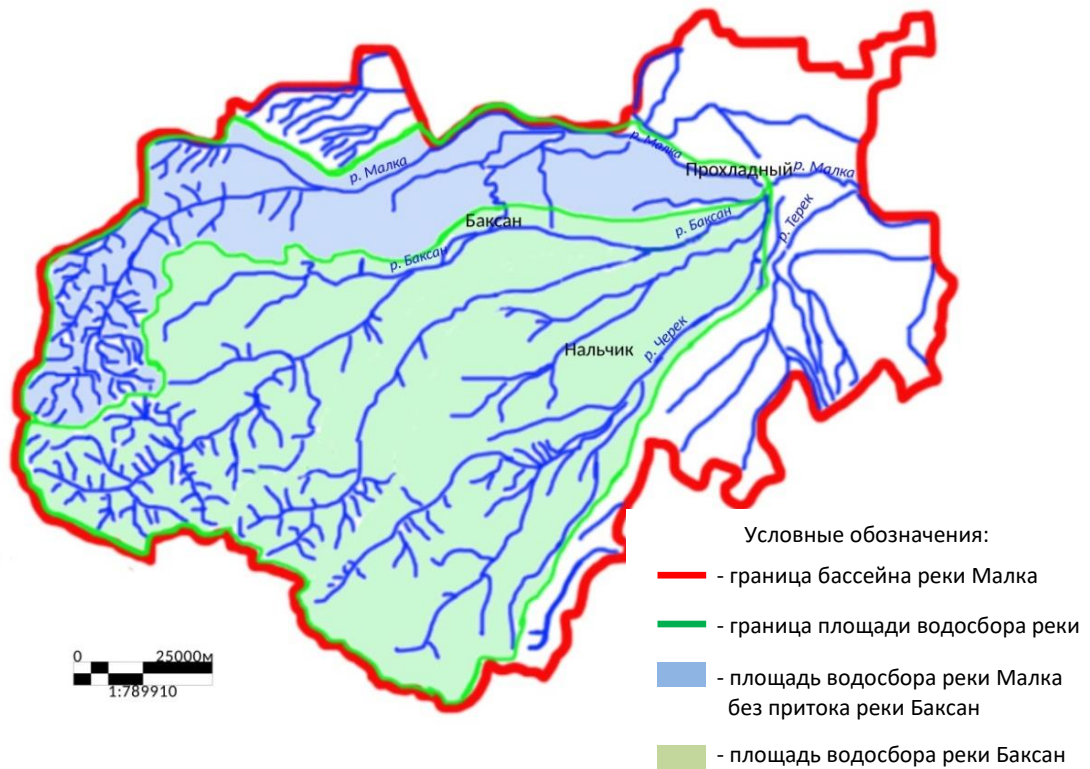


Рисунок 25 – Карта-схема границ площадей водосбора рек Малка и Баксан.

Одним из методов, позволяющих вычислить изменение ионного стока во времени и оценить нагрузку на водный объект, является проведение регрессивного анализа. С целью выявления антропогенной изменчивости ионного стока в многолетнем периоде, в качестве исторического фонового периода был выбран период начала 40-х годов XX века, предшествующий интенсивному развитию сельского хозяйства в регионе, в котором колебания ионного стока происходили в большей степени под влиянием сформировавшихся природных условий. Для расчетов использовались литературные справочные данные о среднегодовых модулях стока р. Малка (место наблюдений станция Прохладная) [157] и химическом составе воды р. Малка (пункт взятия проб станция Прохладная) [4].

Современный период наблюдений был разбит на два временных отрезка: современный условно-фоновый, продолжительностью 5 лет (2015-2019 гг.) и текущий – 4 года (2020-2023 гг.), для каждого из которых было рассчитано среднегодовое значение ионного стока.

Нарушенность ионного стока (в %) определяли как относительное изменение среднегодового значения ионного стока за определённый период времени, и рассчитывали по формуле:

$$\Delta R = \frac{\bar{R}_i - \bar{R}_{\text{фон}}}{\bar{R}_{\text{фон}}} \cdot 100,$$

где \bar{R}_i – среднегодовое значение ионного стока в текущем периоде, тыс. тонн/год; $\bar{R}_{\text{фон}}$ – среднегодовое значение ионного стока в фоновом периоде, тыс. тонн/год.

Для оценки антропогенной составляющей ионного стока использовали метод «реперов», предложенный в работах М.П. Максимовой [120] и прошедший апробацию в работах [148, 149], основанный на химических свойствах ионов и не имеющий ограничений обусловленных гидрохимическими и гидрологическими показателями. Известно, что в речных водах концентрация гидрокарбонат-ионов определяется состоянием карбонатно-кальциевого равновесия, на которое дополнительное поступление солей угольной кислоты, обусловленное антропогенными факторами не оказывает значительного влияния. Поэтому, в качестве реперной точки предложено считать величину стока гидрокарбонат-ионов, содержание которых в речных водах остается относительно стабильным. Расчета антропогенной составляющей ионного стока может производиться как относительно исторического фоновом периоде, так и относительно произвольно выделенного, более раннего, чем расчетный, периода.

Антропогенную составляющую стока (АС) главных ионов и биогенных веществ реки Малка в абсолютных значениях (в тыс. т) рассчитывали по формуле [119]:

$$AC = R_{\Sigma} - \frac{R_{HCO_3^-}}{K_{\text{фон}}},$$

где R_{Σ} – суммарный сток растворённого компонента в расчетном периоде (включающий природную и антропогенную составляющие), тыс. т; $R_{HCO_3^-}$ – сток гидрокарбонатов за расчетный период, тыс. т; $K_{\text{фон}}$ – фоновый эмпирический коэффициент, равный отношению стока гидрокарбонатов в фоновом периоде к стоку растворённого компонента в фоновом периоде.

Антропогенную составляющую стока (АС%) главных ионов и биогенных веществ реки Малка в относительных значениях (в %) рассчитывали по формуле:

$$AC\% = \frac{AC}{R_{\Sigma}} \cdot 100,$$

где АС – антропогенная составляющая стока растворенного компонента в абсолютных значениях, тыс. т; R_{Σ} – суммарный сток растворённого компонента в расчетном периоде, тыс. т.

Для обработки многолетних данных о химическом составе и стоке воды, для расчета стока растворенных веществ и построения графиков, расчета нарушенности стока и антропогенной составляющей стока был использован пакет прикладных программ MS Excel.

3.6. Картографический метод и картографирование

Картографический анализ необходим для выявления географических закономерностей и осмысления полученных результатов и [39]. При гидрологических исследованиях картографический анализ применяется при исследовании форм и размеров гидрографических объектов [21].

Картографический анализ применялся для разработки плана исследований и разностороннего изучения бассейна р. Малка. Методы сравнения и анализа разновременных карт применялись при изучении динамики развития объектов образующих пойму и русло р. Малка. Картографирование количественных характеристик воды р. Малка в нижнем течении проводилось путем построения тематических карт с применением ГИС Аксиома (версия 6.0). Данные полученные в результате обработки гидрохимической информации наносились на топографическую основу Bing ©Microsoft (светлая канва). На основе расчетных материалов впервые для рек Малка и Баксан строились карты пространственно-временного распределения и структуры значений модуля стока главных анионов (гидрокарбонатов, сульфатов и хлоридов), и основных биогенных веществ (нитритов, нитратов, соединений железа).

ГЛАВА 4. ОСОБЕННОСТИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ РЕКИ МАЛКА

4.1. Формирование русловых форм рельефа в пойме реки Малка

К доминирующим процессам, определяющим интенсивность развития речных геосистем, относятся эрозионно-аккумулятивные процессы. В основе геосистемного подхода к изучению природных условий речных бассейнов лежит оценка руслоформирующей деятельности рек и ее зависимость от сочетания различных природных факторов в конкретных геосистемах бассейна [71].

Известно, что: «русловые процессы выступают как ландшафто-образующий фактор, формируя русло, прирусловые отмели и пойму, превращая последнюю в надпойменную террасу, а также определяя эволюцию ландшафтов на дне речных долин в зависимости от создающихся в результате русловых деформаций соотношений между водными потоками, русловыми образованиями и поймой» [158]. Они находятся в непрерывной связи с геологическими, геоморфологическими, климатическими, почвенными и геоботаническими условиями данной территории [27].

Река Малка при своей деятельности выработала линейные отрицательные формы рельефа – речную долину. Большинство речных долин притоков Малки направлено с запада на восток. Истоками этих рек обычно являются ледники. Речные долины притоков Малки, большей частью, асимметричны, характеризуются широкими поймами, местами до 150 – 300 м, и имеют надпойменные террасы. Обычно, их правый берег высокий обрывистый, левый – пологий. Высота правого берега над меженным урезом воды в среднем и нижнем течении р. Малка составляет от 2,5 до 5 м [196].

В период межени ширина рек, относящихся к бассейну Малки, не постоянна и может изменяться в широких пределах от нескольких до 100 и более метров. Русла этих рек в плане относятся к меандрирующим, со средней длиной от точки А до точки В около 600 метров. Ширина р. Малки в межень может меняться в широких пределах от 20 до 300 м. Глубина притоков в межень изменяется от 0,3 – 1,7 м.

Наибольшая глубина р. Малка 3,0 – 3,5 м по фарватеру, наименьшая – до 0,1 м [196].

Типизация русловых процессов р. Малка проводилась на основе анализа спутниковых карт Яндекс (yandex-satellite) с применением ГИС Аксиома 6.0 в соответствии с классификацией Государственного гидрологического института [137]. Классификация ГГИ устанавливает семь основных типов руслового процесса: 1) ленточногрядовый тип; 2) побочный тип; 3) ограниченное меандрирование; 4) свободное меандрирование; 5) незавершенное меандрирование; 6) осередковый тип; 7) блуждание русла.

В процессе исследования спутниковых снимков русла р. Малка было выявлено четыре типа русловых процессов (рисунок 26): побочный, ограниченное меандрирование, свободное меандрирование, незавершенное меандрирование (пойменная многорукавность).



а



б



в



г

Рисунок 26 – Примеры русловых процессов р. Малка: а – побочный тип; б – пойменная многорукавность; в – ограниченное меандрирование; г – свободное меандрирование (Яндекс-карты).

Специфика р. Малки, заключается в узкой долине реки в верхнем течении сложенной трудно размываемыми породами кайнозой эры и мезозойской эры. Верховья реки расположены в Северо-Юрской депрессии, где происходит изменение уклона поверхности, поэтому для верховьев реки свойственно ограниченное и незавершенное меандрирование, коэффициент извилистости на этом участке 1,2. Пойменная многорукавность распространена на предгорной и равнинной территории, в среднем и нижнем течении р. Малка коэффициенты извилистости соответственно равны 1,3 и 1,6.

Нами составлена карта-схема участка реки в нижнем течении, отображающая встречающиеся на этой территории типы русловых процессов (рисунок 27). В низовье долина р. Малка расширяется, меандрирует, формирует разнообразные русловые формы рельефа.

Долина р. Малка в нижнем течении проложена в верхнечетвертичных отложениях, мощностью до 200 м, представленных известняками, конгломератами, ракушечниками, травертинами. Верхняя часть этих отложений перекрывается аллювиальными наносами: гравийными, галечниковыми, песчаными, глинистыми [198, 199]. Дно р. Малка в нижнем течении гравелистое, с иловыми отложениями, русло сложено современными отложениями (морфологическая группа А). Деформация берегов четко выраженная. Левый берег реки имеет более устойчивое состояние, чем правый, который более крутой и высотой 2,5 м. В местах значительной извилистости скорость течения воды уменьшается, это, способствует оседанию транспортируемых рекой веществ.

Признаком повышенной аккумуляции служит образование островов. Острова, образованные на основной реке и реках бассейна Малки имеют треугольную форму [192]. В настоящее время насчитывается 185 островов со средней площадью 34 127 м². Между островами формируются осередки, общим количеством около 300, со средней площадью 8 719 м², имеются трехъярусные террасы со средней высотой 1,5 – 4 м, а также присутствуют плёсы и перекаты [196]. В том числе, на участке в нижнем течении, было выявлено 40 осередков (таблица 4), 25 островов (таблица 5) и 18 меандр (таблица 6), различных размеров.

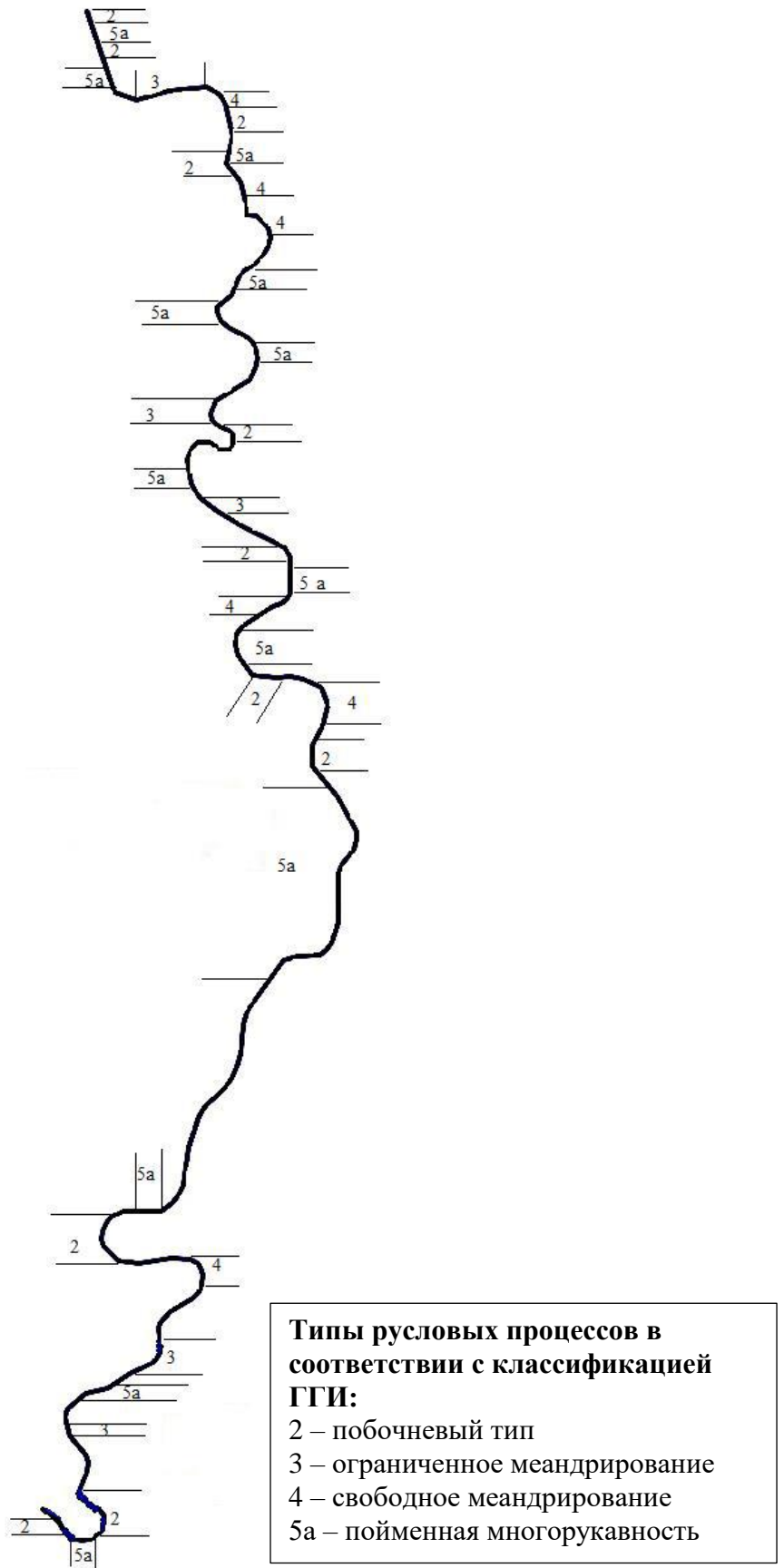


Рисунок 27 – Карта-схема типизации русловых процессов р. Малка в нижнем течении. Масштаб 1:90000.

Таблица 4 – Количество и площадь осередок в русле р. Малка в нижнем течении

№	Площадь, м ²	№	Площадь, м ²	№	Площадь, м ²	№	Площадь, м ²
1	2897	11	1243	21	1606	31	7259
2	10259	12	1539	22	28644	32	1990
3	6629	13	671	23	25683	33	3994
4	1112	14	12888	24	71772	34	687
5	25891	15	220	25	2232	35	2866
6	7316	16	300	26	22888	36	6899
7	3426	17	1541	27	3994	37	2033
8	13051	18	238	28	573	38	6154
9	2244	19	594	29	1098	39	28553
10	1074	20	29082	30	1851	40	5801

Таблица 5 – Количество и площадь островов в русле р. Малка в нижнем течении

№	Площадь, м ²	№	Площадь, м ²	№	Площадь, м ²	№	Площадь, м ²	№	Площадь, м ²
1	32531	6	174	11	71061	16	24186	21	15508
2	29022	7	6837	12	214416	17	30023	22	1645
3	2613	8	89778	13	40544	18	9081	23	1090
4	49768	9	2519	14	18340	19	80961	24	47763
5	19536	10	48786	15	1052	20	8148	25	7806

Таблица 6 – Количество и протяженность меандр в русле р. Малка в нижнем течении

№	Расстояние от (.) А до (.) Б, м	№	Расстояние от (.) А до (.) Б, м	№	Расстояние от (.) А до (.) Б, м
1	1348	7	814	13	627
2	394	8	503	14	693
3	594	9	646	15	459
4	639	10	717	16	483
5	309	11	517	17	852
6	315	12	761	18	297

Речные террасы представлены в виде ступенчатых форм рельефа образованные в результате накопления аллювиальных отложений, и протягиваются вдоль берега реки. В нижнем течении р. Малка, нами обнаружены 3 террасы [200].

4.2. Определение параметров меандрирования русла реки Малка

Согласно известному определению: «Меандрирование – естественный процесс развития речного русла, проявляющийся в его горизонтальных деформациях. Плановое смещение динамической оси руслового потока происходит большей частью времени за счет того, что вогнутые берега на излучинах размываются и отступают, а противоположные (выпуклые) берега нарастают за счет аккумуляции наносов» [167].

Определение морфологических параметров русловых процессов, позволяет проследить стадии эволюции форм речных русел и руслового рельефа. Как известно: «прогноз русловых деформаций выполняется посредством сопоставления разновременных карт, аэрофото- и космических снимков. При этом принимается допущение об «инерционности» русловых деформаций – то есть предполагается, что темпы наблюдаемых смещений меандрирующего русла будут сохраняться и в будущем» [167].

В литературе имеются сведения о значительных изменениях, которые претерпевало русло р. Малка в конце XVIII – начале XIX веков: «Клапротъ полагает, что Малка прежде текла непосредственно в Каспийское море и не в давнее время переменила своё русло; река Кура, берущая начало близ левого берега Малки и теряющаяся в песках, вероятно была ея старым руслом» [41].

Вдоль русла р. Малка имеются участки, относящиеся к умеренно опасным вследствие размыва берегов обусловленного естественными русловыми деформациями, интенсивность и форма проявления которых зависит от устойчивости русла, объёма стока и состава руслообразующих наносов, расходов воды, размываемости горных пород и их отложений, контактирующих с речным потоком [45].

Малка относится к рекам с горизонтальной русловой деформацией, заключающейся в смещении русла в плане. Наибольшую опасность на таких реках представляют участки в период интенсивного развития деформаций.

Для оценки горизонтальных деформаций, которые претерпевает русло реки, были рассчитаны линейные (шаг излучины, длина излучины, относительная

длина, стрела прогиба, отношение стрелы прогиба к шагу, стрела завала, параметр асимметричности, радиус кривизны) и угловые (угол входа, угол выхода, угол разворота) морфологические параметры (таблицы 7-9).

Таблица 7 – Морфологические параметры свободного меандрирования участков русла р. Малка в верхнем течении

Параметры	Участок № 1			Участок № 2			Участок № 3		
	1877	1943	2024	1877	1943	2024	1877	1943	2024
Шаг излуины $\lambda_{и}$, м	80	440	90	280	2944	450	735	450	330
Длина излуины $S_{и}$, м	108	460	112	400	3111	600	771	465	480
Относительная длина излуины $S_{и}/\lambda_{и}$	1,35	1,05	1,24	1,43	1,06	1,33	1,05	1,03	1,45
Стрела прогиба излуины h , м	30	60	26	600	388	107	90	90	130
Отношение стрелы прогиба к шагу излуины $h/\lambda_{и}$	0,38	0,14	0,29	2,14	0,13	0,24	0,12	0,20	0,39
Стрела «завала» излуины h^* , м	32	80	30	80	444	93	30	30	65
Параметр асимметричности излуин h^*/h	1,07	1,33	1,15	0,13	1,14	0,87	0,33	0,33	0,50
Радиус кривизны излуины r , м	14	342	25	1292	3000	272	675	927	232
Показатель формы излуины r/h , м	0,47	5,70	0,96	2,15	7,73	2,54	7,50	10,30	1,78
Угол входа $\alpha_{вх}$, °	56	160	60	51	20	48	212	27	90
Угол выхода $\alpha_{вых}$, °	145	15	114	135	155	125	157	165	121
Угол разворота $\alpha_{р}$, °	201	175	174	186	175	173	369	192	211

Таблица 8 – Морфологические параметры свободного меандрирования участков русла р. Малка в среднем течении

Параметры	Участок № 4			Участок № 5			Участок № 6		
	1877	1943	2024	1877	1943	2024	1877	1943	2024
Шаг излуины $\lambda_{и}$, м	1170	550	535	849	1214	240	3460	2220	1800
Длина излуины $S_{и}$, м	1350	550	640	1185	1428	400	3410	2250	1850
Относительная длина излуины $S_{и}/\lambda_{и}$	1,15	1,00	1,20	1,40	1,18	1,67	0,99	1,01	1,03
Стрела прогиба излуины h , м	330	440	80	390	286	160	220	250	165
Отношение стрелы прогиба к шагу излуины $h/\lambda_{и}$	0,28	0,80	0,15	0,46	0,24	0,67	0,06	0,11	0,09
Стрела «завала» излуины h^* , м	165	388	40	195	214	80	110	125	82
Параметр асимметричности излуин h^*/h	0,50	0,88	0,50	0,50	0,75	0,50	0,50	0,50	0,50
Радиус кривизны излуины r , м	2100	2222	491	1964	1429	92	3555	2050	377
Показатель формы излуины r/h , м	6,36	5,05	6,14	5,04	5,00	0,58	16,16	8,20	2,28
Угол входа $\alpha_{вх}$, °	143	170	175	54	180	54	24	28	55
Угол выхода $\alpha_{вых}$, °	48	27	35	134	180	92	16	20	35
Угол разворота $\alpha_{р}$, °	191	197	210	188	360	146	40	58	90

Таблица 9 – Морфологические параметры свободного меандрирования участков русла р. Малка в нижнем течении

Параметры	Участок № 7			Участок № 8			Участок № 9			Участок № 10			Участок № 11		
	1877	1943	2024	1877	1943	2024	1877	1943	2024	1877	1943	2024	1877	1943	2024
Шаг излуины $\lambda_{из}$, м	144	105	289	49	41	286	305	350	3500	2166	1944	1875	1944	288	1827
Длина излуины $S_{из}$, м	150	1000	317	95	226	857	361	444	389	2527	3250	3000	3888	4722	2591
Относительная длина излуины $S_{из}/\lambda_{из}$	1,04	9,52	1,10	1,94	5,51	3,00	1,18	1,27	0,11	1,17	1,67	1,60	2,00	16,40	1,42
Стрела прогиба излуины h , м	39	17	555	33	35	374	833	105	833	1944	2450	1062	944	1333	900
Отношение стрелы прогиба к шагу излуины $h/\lambda_{из}$	0,27	0,16	1,92	0,67	0,85	1,31	2,73	0,30	0,24	0,90	1,26	0,57	0,49	4,63	0,49
Стрела «завала» излуины h^* , м	555	17	61	38	38	357	888	105	1000	1888	2450	1000	1000	1388	927
Параметр асимметричности излуин h^*/h	14,23	1,00	0,11	1,15	1,09	0,95	1,07	1,00	1,20	0,97	1,00	0,94	1,06	1,04	1,03
Радиус кривизны излуины r , м	1500	2562	672	818	1615	127	3666	8055	1318	1555	240	407	2850	3800	383
Показатель формы излуины r/h , м	38,46	150,71	1,21	24,79	46,14	0,34	4,40	76,71	1,58	0,80	0,10	0,38	3,02	2,85	0,43
Угол входа $\alpha_{вх}$, °	60	163	154	51	35	90	34	40	18	88	95	60	88	106	42
Угол выхода $\alpha_{вых}$, °	161	28	22	89	128	71	101	145	146	105	98	124	104	105	115
Угол разворота $\alpha_{р}$, °	221	191	176	140	163	161	135	185	164	193	193	184	192	211	157

Сравнение картографических данных 1877, 1943 и 2024 гг., сопоставление очертаний меандр в плане и форме их деформаций, позволяет предположить, что в верхнем и среднем течении исследуемые излуины морфодинамически развиваются по сегментному типу, в нижнем – по петлеобразному типу. Предположение подтверждается расчетными данными.

Соотношение стрелы прогиба и радиуса кривизны излуины позволяет охарактеризовать крутизну излуины. Если стрела прогиба больше радиуса кривизны $h > r$, то излуина считается крутой; если $h < r$ – пологой [174]. На горных и предгорных участках № 1 – 3 численное значение показателя формы излуины r/h имеет тенденцию к увеличению, а следовательно, излуины здесь становятся более пологими. Все излуины здесь можно считать пологими.

На участках № 4 – 6 в среднем течении, напротив, наметилась тенденция к уменьшению значения показателя формы излуины r/h , что говорит о постепенном переходе излуин от пологого к крутому типу. Процесс перехода

завершился на участке № 5. Излучина на участках № 4 и № 6 на современном этапе развития продолжают соответствовать пологому типу.

В нижнем течении, в период с 1943 по 2024 гг., на равнинном участке № 8 завершилось преобразование излучины от пологого типа к крутому, на участках № 7 № 9 и № 11 процесс перехода близок к завершению. Излучины на участке № 10 оставались крутыми в течении всего 147-летнего периода наблюдений. По мере искривления излучины все большую роль начинают играть циркуляционные течения.

Когда излучина становится крутой происходит выравнивание продольной и поперечной составляющих переноса наносов. Благодаря циркуляционным течениям зона аккумуляции наносов на крутой излучине распространяется на весь выпуклый берег [174]. Достаточное количество руслообразующих наносов, является необходимым условием для формирования меандрирующего русла, что можно наблюдать на участке в нижнем течении р. Малка (рисунок 28). Накопление наносов ведет к образованию изгиба, а затем и к снижению скорости течения реки в этом месте, в период межени образовавшаяся излучина закрепляется растительностью.



Рисунок 28 – Процесс зарождения излучины в нижнем течении реки Малка
(фото автора)

Относительная длина излучины характеризует степень развитости излучины. Уменьшение радиуса кривизны приводит к росту потерь энергии потока. Одновременно по мере искривления излучины возрастают потери энергии потока по длине, при определенной степени развитости последние оказываются преобладающими, в результате чего гидравлическая выгодность извилистой формы русла утрачивается [173].

Выделяется шесть стадий развития свободных излучин [174]. Излучины №6 и №9, находятся на нулевой стадии развития и относятся к типу извилин динамической стадии потока ($0,1 < S_{и}/\lambda_{и} < 1,0$). Излучины №1, №2, №4 и №7, находятся на первой стадии развития и относятся к сегментным пологим ($1,0 < S_{и}/\lambda_{и} < 1,4$).

При значении степени развитости около 1,4 завершается период развития энергетически выгодной для потока извилистой формы русла. Излучины №3 и №11 перешли на вторую стадию развития и относятся к сегментным развитым.

Излучина №5 находится в процессе перехода на третью стадию и относится к прорванным излучинам ($1,2 < S_{и}/\lambda_{и} < 2,0$). Излучина №10 находится на третьей стадии развития и относится к сегментным крутым излучинам.

При степени развитости больше 2 происходит трансформация крутой сегментной излучины в петлеобразную или синусоидальную в зависимости от конкретных условий формирования русла. Излучина №8 находится на этапе перехода на пятую стадию развития и относится к крутым петлеобразным.

На шестой, завершающей стадии, при степени развитости больше 3,5 должно произойти спрямление излучин. Ближе всего к этой стадии излучина №8 расположенная на равнинной территории на участке в нижнем течении р. Малка.

Угол входа определяет форму, параметры и деформации вынужденных излучин реки. От угла входа зависит степень развитости вынужденных излучин. При $\alpha_{вх} < 85^\circ$ происходит плавное их соединение, при больших – пойменный поток оказывает тормозящее воздействие на русловой поток и вызывает в нем подпорные явления. Как правило, при углах разворота $\alpha_p < 140^\circ$ развитие излучины завершается спрямлением русла. [174]. Спрямление русла реки чаще всего происходит при относительной длине излучины $S_{и}/\lambda_{и} > 3,50$ [94].

Значения улов разворота превышающие 140° в сочетании с высоким значением относительной длины излучины прослеживаются на участках № 7- № 11 на картах 1943 года. На современной карте наблюдается спрямление сегментных излучин на этих участках и образование прорванных излучин.

Сравнивая значения параметров меандрирования рассчитанные для трех исторических периодов, можно заметить, что русловые процессы на участках реки Малка в верхнем, среднем и нижнем течении развиваются с разной скоростью. В верхнем течении (участки №1 - №3) большинство показателей изменились не значительно, следовательно, и русловые процессы протекают здесь достаточно медленно. Относительная длина излучины меняется на небольшую величину. При этом такие параметры, как шаг излучины, длина излучины, и радиус кривизны показывают, некоторую цикличность развития, т.е. в период с 1877 г. до 1943 г. шел процесс перехода от более пологой к более крутой сегментной форме, а с 1943 г. до настоящего времени идёт обратный процесс.

В среднем течении (участки №4 - №6) при относительном постоянстве относительной длины излучины, прослеживается тенденция к значительному уменьшению радиуса кривизны излучин, в среднем в 11,7 раза.

В нижнем течении (участки №7 - №11) изменение параметров меандрирования протекает наиболее интенсивно. В период с 1877 г. до 1943 г. относительная длина излучины возрастала в среднем в 4,5 раза. В период с 1943 г. до настоящего времени этот же параметр уменьшился в 6,9 раза, что отражает процесс выпрямления русла р. Малка в нижнем течении.

Таким образом, на основании рассчитанных параметров, в качестве основной геоморфологической модели протекания русловых процессов в верхнем и среднем течении можно предложить схему последовательного их перехода из сегментной пологой в сегментную развитую затем в сегментную крутую, далее, с учетом адаптированности, процесс должен завершиться стабилизацией русла. В нижнем течении русловые процессы протекают с большей скоростью, излучины на этом участке претерпевают переход в сегментную крутую форму с последующей трансформацией её в синусоидальную.

Анализ полученных данных показывает, что на всем протяжении реки горизонтальные русловые деформации преобладают над вертикальными, что приводит к продольно-поперечному смещению меандр. В верхнем течении р. Малка процесс деформации береговой линии происходит очень медленно в связи с залеганием интрузивных горных пород, к ним можно отнести граниты, граниты-порфиры, гранодиориты, габбро, граниты двуслюдные, перидотиты. Врезанные излучины в верхнем течении сформированы в условиях ограниченного развития горизонтальных деформаций. На этом участке реки ширина поймы (в среднем 8 м) меньше ширины русла (в среднем 12 м). В процессе развития излучины прослеживается преобладание глубинной эрозии над боковой. Врезанные излучины данной территории сформированы трудноразмываемыми горными породами, в частности гранитами. В данных условиях все излучины симметричны.

В среднем и нижнем течении р. Малка выявлены заваленные излучины. Они образуются в результате смещения вершины излучины вверх или вниз по течению относительно стрелы прогиба. Образование таких излучин обусловлено воздействием внешних, по отношению к потоку, факторов.

В нижнем течении р. Малка преобладает свободное меандрирование, связанное с русловыми деформациями, которым не препятствуют коренные породы. Русло в нижнем течении широкое и меандрирующее. Средняя ширина поймы (309 м) меньше средней ширины русла (766 м).

Средняя и нижняя Малка представлена кайнозойской группой четвертичной системы легкоразмываемых пород, которые приводят к постоянной трансформации формы меандр. К ним относят осадочные горные породы, грубообломочного происхождения, делювиально-пролювиальные осадки. В состав таких горных пород входят несцементированные (галечник, валуны, пески разного фракции, алевриты, суглинки, супеси) и сцементированные (брекчия, конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, аргиллиты) горные породы.

ГЛАВА 5. ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО И ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ БАССЕЙНА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ МАЛКА

5.1. Влияние климатических изменений на температуры воздуха и речной воды

Актуальность изучения динамики климатических изменений, исследование факторов их вызывающих и оценка их последствий обозначены в «Климатической доктрине Российской Федерации». Современные глобальные климатические изменения выражаются в постоянном увеличении температуры воздуха, рост которой, предположительно, продолжится и в современном периоде [8]. Одним из важнейших показателей глобального потепления климата является тенденция повышения температуры приземного слоя атмосферы. Начиная с семидесятых годов прошлого века каждое последующее десятилетие, было теплее предыдущего [131]. Наблюдаемое на территории России повышение температуры воздуха приводит к изменению состояния водных геосистем [66].

Термический режим формируется под воздействием процессов перемещения воздушных масс атлантического и континентального происхождения и радиационных факторов, при этом создаётся динамическая система, меняющаяся в определённых условиях.

Выявление современных тенденций в изменении многолетних и внутригодовых температур воздуха способствует глубокому пониманию многих природных процессов и явлений, прямо или косвенно связанных с климатическими изменениями. Температурный режим оказывает значительное влияние на функционирование природных геосистем,

Температура воздуха – один из наиболее важных индикаторов состояния околоземного слоя атмосферы. Изменение температуры прямо или опосредованно отражается на различных природных процессах, в том числе ведёт к ландшафтным и гидрологическим изменениям в геосистемах. Такие изменения

могут происходить мгновенно или иметь отдалённые последствия. Очевидно, видимые трансформации компонентов живой и неживой природы можно рассматривать как следствие климатических изменений [22].

В условиях глобального потепления важное научное и практическое значение имеет оценка трансформации термического режима, оказывающего существенное влияние на функционирование водных экосистем [32]. Еще в 1884 г. А.И. Воейков писал: «Реки суть продукт климата их бассейнов» [29]. В результате комплексного анализа данных о влиянии физико-географических факторов на режим рек, подчеркивая ведущую роль климата и указывая на влияние других элементов ландшафта, Л.К. Давыдов, заключил: «Реки представляют собой продукт климата их бассейнов на общем фоне ландшафтных условий» [58].

Для выявления особенностей функционирования пойменных геосистем р. Малка крайне важно изучить влияние температуры приземного слоя атмосферы, на формирование термического режима исследуемого объекта [191].

Для количественной оценки климатических изменений на территории бассейна нижнего течения р. Малка, в качестве базовой информации, использованы открытые данные о температуре воздуха за период с 2006 по 2023 гг., полученные на стационарном посту наблюдений «Метеостанция Прохладный», который в бесперебойном режиме осуществляет наблюдения по единой методике.

Для сравнительного анализа временных рядов, эмпирическим методом нами обработаны результаты 50 977 измерений и рассчитаны среднесуточные значения температуры воздуха в 2006-2023 гг. на основании которых, были рассчитаны среднемесячные температуры воздуха на территории бассейна нижнего течения р. Малка (таблица 10).

Таблица 10 – Среднемесячная температура воздуха на территории бассейна нижнего течения р. Малка в 2006-2023 гг.

Год	Среднемесячная температура, °С											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2006	-6,3	-2,3	5,2	11,7	15,6	23,4	23,0	27,6	19,1	12,5	4,8	0,1
2007	1,5	-0,9	4,0	9,2	18,3	21,9	24,9	25,5	20,7	13,1	3,1	0,7
2008	-8,5	-3,3	8,4	13,5	15,7	20,5	24,6	24,8	18,2	11,8	5,1	-0,7
2009	-2,3	2,3	5,3	8,8	15,7	22,5	24,9	21,2	17,3	12,7	6,0	2,0
2010	-3,6	-1,6	4,5	10,8	17,4	24,0	25,9	25,3	19,8	10,5	7,2	3,7
2011	-2,6	-2,2	2,6	8,8	16,5	21,6	26,0	23,1	18,0	10,5	-0,3	1,2
2012	-3,7	-9,2	2,6	15,3	19,6	23,0	23,6	24,2	19,7	14,6	7,0	-1,5
2013	-1,5	2,7	6,0	12,5	19,1	22,4	23,8	22,8	16,8	9,6	5,4	-1,5
2014	-1,8	-2,4	6,0	10,9	19,0	21,9	24,3	26,2	18,1	8,6	3,1	1,1
2015	-1,3	0,2	4,6	10,0	17,6	23,1	25,1	24,5	21,4	10,0	5,4	2,4
2016	-2,1	3,3	6,0	13,3	17,1	21,6	23,9	26,0	18,3	9,0	3,6	-3,1
2017	-2,5	-1,1	6,1	10,9	16,3	20,7	25,9	25,6	20,5	10,7	4,7	2,0
2018	-1,7	1,9	4,8	11,6	18,9	23,1	26,6	22,5	19,7	12,8	3,5	1,5
2019	0,0	1,4	5,9	11,0	18,7	25,1	24,0	24,1	17,4	12,6	3,1	1,3
2020	0,8	1,6	7,3	10,0	17,2	23,7	26,9	22,9	20,3	14,0	5,0	-0,8
2021	0,5	-1,1	4,0	12,8	18,9	22,7	25,6	26,4	16,4	9,3	5,7	1,6
2022	0,3	3,2	2,1	13,4	15,9	23,0	24,4	26,2	19,7	12,7	6,5	-0,8
2023	-0,9	-1,1	8,0	11,4	17,3	22,0	24,6	26,7	19,1	12,5	8,1	2,7

Анализ многолетнего хода среднемесячных температур воздуха за 2006-2023 гг., показывает, что их величина неравномерно, но постоянно нарастала (рисунок 28). Для выявления тенденций в изменении температуры воздуха использован линейный тренд, наиболее точно отражающий изменения в начале и в конце ряда [17, 26].

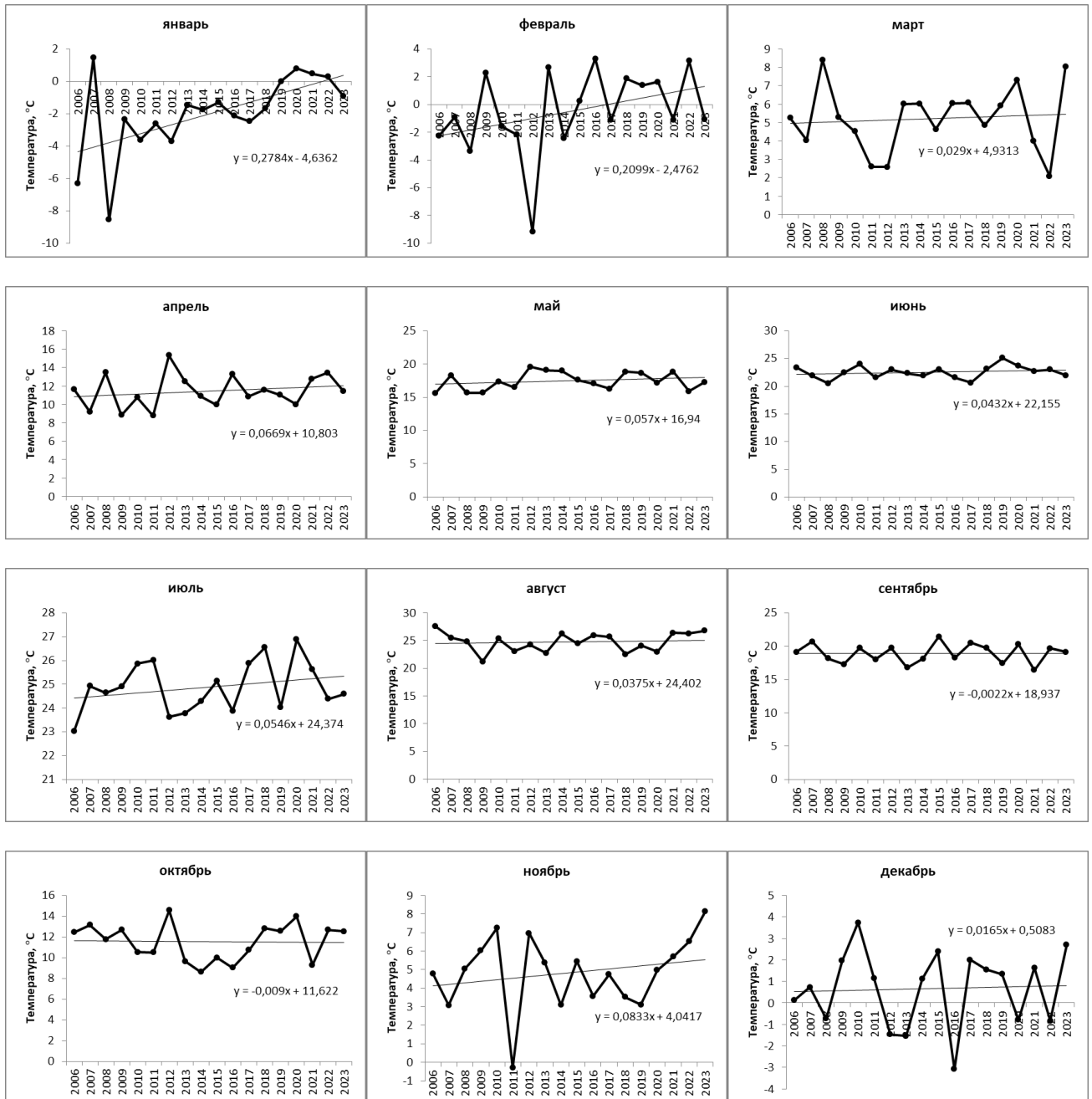


Рисунок 28 – Динамика среднемесячной температуры воздуха (по годам) на территории бассейна нижнего течения р. Малка в 2006-2023 гг.

Как показывают значения углового коэффициента в уравнении линии тренда, быстрее всего возрастали среднемесячные январские и февральские температуры. Несколько медленнее росли температуры в ноябре, апреле, мае, июле, июне, августе, марте и декабре. При этом средняя температура в сентябре и октябре показала невысокую отрицательную динамику.

Сравнение рассчитанных нами многолетних средних месячных температур воздуха за современный период (2006-2023 гг.) с литературными данными о многолетних средних месячных температурах за фоновый (1912-1930 гг.) периоды [157] показывает динамику ежемесячного прироста температур, очень схожую, с той, что наблюдается в современном периоде по годам (таблица 11).

Таблица 11 – Среднемесячная температура воздуха в современном и историческом (фоновом) периоде на территории бассейна нижнего течения р. Малка

Годы	Многолетняя среднемесячная температура воздуха, °С											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2006-2023	-1,7	0,3	5,4	11,8	17,5	22,2	25,1	24,4	19,0	11,0	5,1	0,1
1912-1930	-5,2	-3,3	2	8,7	15,6	20,2	23	22,5	16,2	10,6	2,7	-2,2
Прирост	3,5	3,6	3,4	3,1	1,9	2,0	2,1	1,9	2,8	0,4	2,4	2,3

Больше всего возросла температура воздуха в зимние месяцы – в январе и феврале, а также в начале весны – в марте и апреле. При этом наименьшие темпы роста наблюдаются в октябре, в этом же месяце в современном периоде отмечается тенденция к уменьшению среднемесячной температуры. За прошедшее столетие, по-прежнему, самым холодным месяцем остаётся январь, самым тёплым июль.

Нами рассчитаны среднегодовые температуры воздуха, определены годовые минимальные и максимальные значения температур, а также рассчитаны амплитуды внутригодовых колебаний температур (таблица 12). Анализ полученных данных свидетельствует об устойчивом росте среднегодовой температуры воздуха (рисунок 29). Самым тёплым годом за период наблюдений был 2023 год, среднегодовая температура воздуха составила 12,6 °С. Наиболее холодным стал 2011 год, среднегодовая температура воздуха составила 10,3 °С.

Таблица 12 – Средняя, минимальная, максимальная температура и амплитуда внутригодовых колебаний температуры воздуха на территории бассейна нижнего течения р. Малка в 2006-2023 гг.

Год	Средняя температура, °С	Минимальная температура		Максимальная температура		Амплитуда, °С
		Дата и время фиксации	Значение, °С	Дата и время фиксации	Значение, °С	
2006	11,2	24.01.2006 09:00	-23,0	08.08.2006 15:00	40,7	63,7
2007	11,8	26.02.2007 09:00	-17,5	08.08.2007 15:00	38,4	55,9
2008	10,8	12.01.2008 06:00	-22,8	19.08.2008 15:00	37,5	60,3
2009	11,4	10.01.2009 03:00	-13,3	19.07.2009 15:00	36,4	49,7
2010	12,0	28.01.2010 00:00	-20,0	11.07.2010 15:00	38,0	58,0
2011	10,3	22.01.2011 03:00	-17,9	29.07.2011 15:00	40,0	57,9
2012	11,3	08.02.2012 09:00	-26,7	14.06.2012 15:00	36,9	63,6
2013	11,5	17.01.2013 00:00	-12,4	01.07.2013 15:00	38,8	51,2
2014	11,3	01.02.2014 03:00	-22,9	28.08.2014 15:00	39,9	62,8
2015	11,9	09.01.2015 06:00	-20,6	31.07.2015 15:00	40,4	61,0
2016	11,4	04.01.2016 09:00	-18,7	13.08.2016 15:00	37,7	56,4
2017	11,7	01.02.2017 06:00	-19,4	09.08.2017 12:00	39,0	58,4
2018	12,1	14.01.2018 00:00	-8,8	01.07.2018 15:00	38,0	46,8
2019	12,1	18.01.2019 06:00	-7,2	21.08.2019 15:00	37,0	44,2
2020	12,4	11.02.2020 06:00	-16,0	07.07.2020 15:00	40,4	56,4
2021	11,9	25.02.2021 03:00	-17,9	21.07.2021 15:00	39,9	57,8
2022	12,2	21.03.2022 06:00	-10,1	01.09.2022 15:00	38,1	48,2
2023	12,6	10.01.2023 06:00	-14,9	09.08.2023 15:00	40,0	54,9

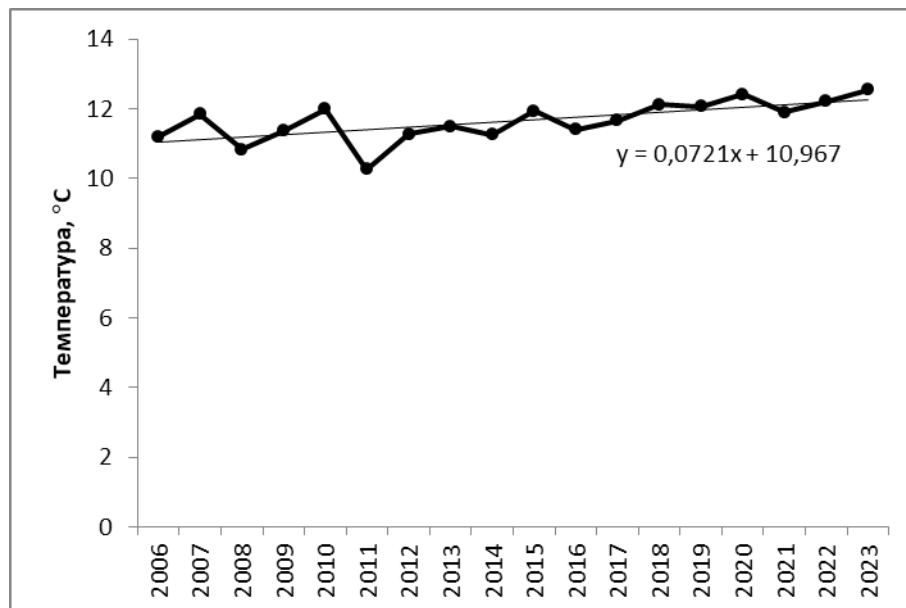


Рисунок 29 – Динамика среднегодовой температуры воздуха на территории бассейна нижнего течения р. Малка в 2006-2023 гг.

Для детального анализа изменения климатических параметров внутри ряда применяется осреднение климатического параметра по временным отрезкам разной длительности. С точки зрения влияния климата на растительность в геоботанике признаётся, что минимальным временем, за которое она может отреагировать на эти изменения, является временной отрезок 5 лет [16]. Так во втором пятилетии XXI века среднегодовая температура воздуха на территории бассейна нижнего течения р. Малка составила 11,44 °С, в третьем 11,24 °С, в четвертом 11,93 °С, в пятом 12,2 °С. Таким образом по сравнению с началом периода наблюдений температура воздуха увеличилась на 0,76 °С. Значение среднегодовой температуры воздуха по результатам многолетних наблюдений в современном периоде (2006-2023 гг.) составляет 11,7 °С. В фоновом периоде (1912-1930 гг.) среднегодовая многолетняя температура воздуха составляла 9,2°С. За прошедшее столетие температура воздуха на исследуемой территории возросла на 2,5 °С. По данным Росгидромета за последние 100 лет общее повышение температуры воздуха на территории России составило 1,0 °С, что на 0,4 °С выше, чем в среднем для всей планеты. Таким образом, темпы роста температуры воздуха на исследуемой территории в 2,5 раза превышают средний российский показатель.

Увеличение среднегодовой температуры воздуха на изучаемой территории произошло вследствие роста минимальных и максимальных температур. Причем, как видно на диаграммах (рисунок 30) значения минимальных температур растут быстрее, чем увеличиваются значения максимальных температур воздуха. Самыми холодными месяцами в году на изучаемой территории являются январь (11 событий) и февраль (6 событий). Самыми жаркими месяцами – август (8 событий) и июль (8 событий).

Для выявления климатических особенностей геосистемы реки Малка в нижнем течении нами рассчитаны годовые амплитуды температур воздуха (таблица 12). Годовая амплитуда температуры воздуха является наиболее важной характеристикой континентальности климата, под которой понимается

совокупность характерных особенностей климата, определяемых воздействиями материка на процессы климатообразования [25].

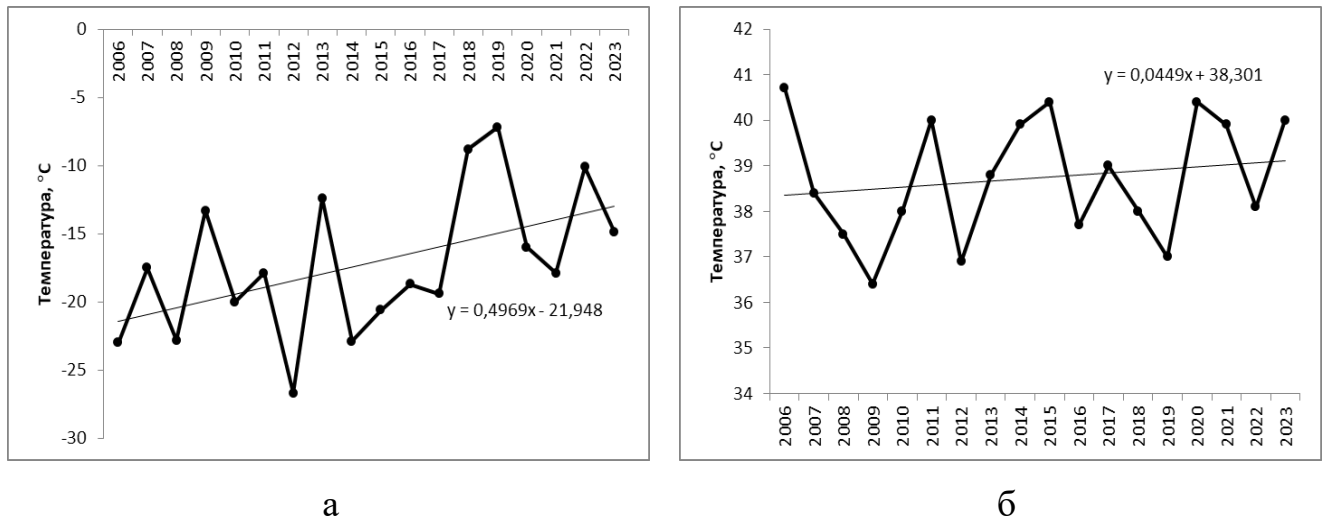


Рисунок 30 – Динамика минимальной (а) и максимальной (б) температур воздуха на территории бассейна нижнего течения р. Малка в 2006-2023 гг.

Рассчитанные значения годовой амплитуды температуры воздуха соответствуют умеренному типу климата. Важно отметить, что общее повышение температуры воздуха сопровождается уменьшением амплитуды внутригодовых колебаний температуры воздуха (рисунок 31).

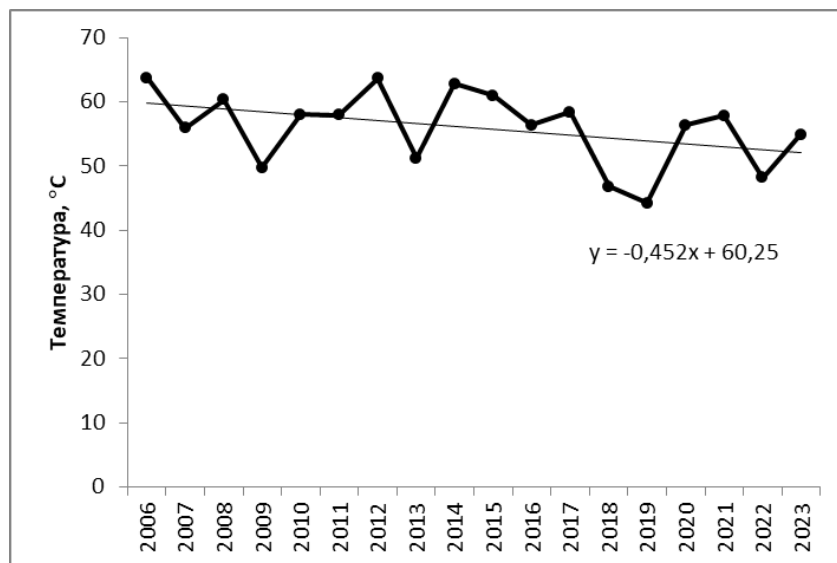


Рисунок 31 – Динамика внутригодовой амплитуды температур воздуха на территории бассейна нижнего течения р. Малка в 2006-2023 гг.

Наибольшие перепады температур воздуха в течение одного календарного года зафиксированы в 2006 году, амплитуда составила 63,7 °С. Меньше всего температура воздуха подвергалась внутригодовым изменениям в 2019 году, амплитуда составила 44,2 °С. Можно говорить о том, что распределение температур по сезонам года становится более равномерным, формируется более мягкий менее континентальный местный климат.

Для изучения влияния климатических изменений на температуру воды р. Малка в нижнем течении по открытым данным Информационной системы по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России, полученным на сайте <https://allrivers.info/>, по гидропосту ст. Прохладная, нами рассчитаны среднесуточные температуры воды за период 2018-2023 гг. на основании которых, были рассчитаны среднемесячные температуры воды р. Малка в нижнем течении за период 2018-2023 гг. (таблица 13)

Таблица 13 – Среднемесячная температура воды р. Малка в нижнем течении в 2018–2023 гг.

Год	Среднемесячная температура, °С											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2018	7,90	8,70	10,06	13,11	17,01	19,83	20,99	20,05	19,24	15,73	11,40	9,70
2019	7,47	8,39	10,34	13,08	16,53	20,26	21,14	20,25	19,29	15,97	11,61	9,21
2020	7,48	8,06	10,67	13,35	16,06	19,86	20,06	20,48	18,74	15,79	12,08	9,12
2021	7,93	7,89	10,55	13,52	16,63	19,63	21,33	20,96	18,47	15,68	12,67	9,12
2022	8,39	8,15	9,94	13,71	17,10	19,13	21,19	21,41	18,37	15,44	12,89	9,26
2023	8,46	8,56	9,62	13,59	17,35	19,15	21,03	21,33	18,66	15,40	12,50	9,55

Анализ многолетней динамики среднемесячной температуры воды за 2018-2023 гг., показывает, что периоды роста чередуются с периодами её уменьшения (рисунок 32).

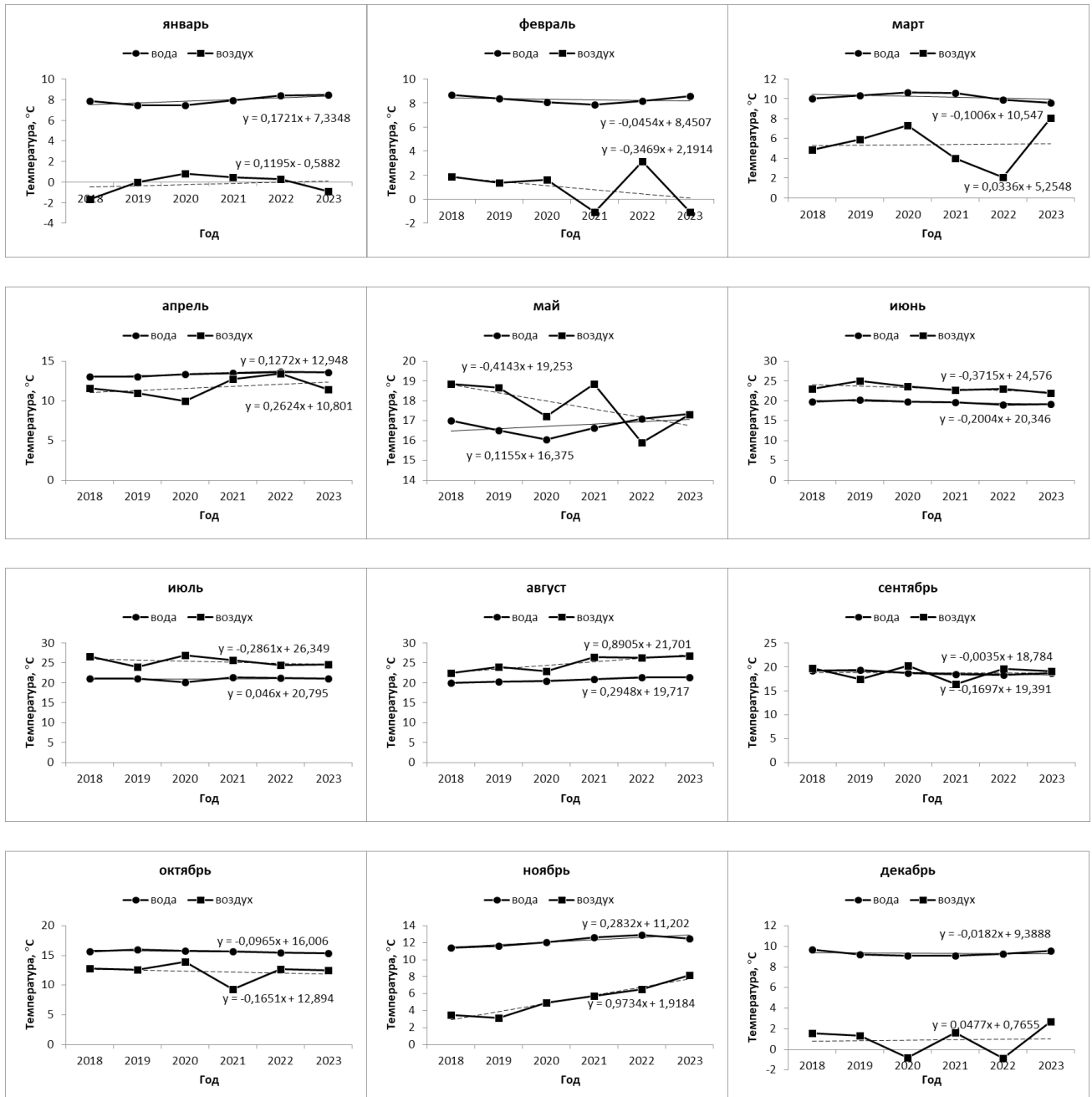


Рисунок 32 – Динамика среднемесячной температуры (по годам) воды и воздуха на территории бассейна нижнего течения р. Малка в 2018 - 2023 гг.

Как демонстрируют значения углового коэффициента в уравнении линии тренда, устойчивый рост среднемесячной температуры воды наблюдается в августе, ноябре и январе. Несколько медленнее росла температура воды в апреле, мае и июле. При этом средняя температура воды декабре, феврале, октябре, марте, сентябре и июне показала отрицательную динамику. Наиболее заметна тенденция к снижению среднемесячной температуры воды в июне.

Сравнение динамики среднемесячных температур воды р. Малка в нижнем течении в 2018-2023 гг. с динамикой среднемесячных температур воздуха за аналогичный временной период, показало, что в основном, направление динамики изменения температуры воды и воздуха совпадают, что доказывает тесную взаимосвязь температуры воды в реке с температурой воздуха окружающей среды.

Отмечается обоюдный ускоренный рост среднемесячных температур воды и воздуха в ноябре, августе, апреле и январе. В июне, феврале и октябре прослеживается тенденция уменьшения среднемесячных температур. Взаимно противоположные тренды прослеживаются в мае (наиболее выражено), в марте и декабре.

Совместный анализ сезонного хода температуры воздуха и воды показывает, что выделяется три периода: период нагревания воды, когда температура воздуха выше температуры воды; период квазистационарности, когда температура воды практически совпадает с температурой воздуха; период охлаждения воды, когда температура воздуха ниже температуры воды, и создаются благоприятные условия для конвективного перемешивания водных масс.

В период с января по апрель (период охлаждения), вода в р. Малка в нижнем течении прогревается сильнее, чем воздух на прилегающей территории. В мае воздух прогревается сильнее воды, аномальный режим теплообмена зафиксирован только в 2022 году, когда вода прогрелась сильнее воздуха. Затем с мая по август (период нагревания) воздух остаётся более теплым, чем вода, следовательно, в этот период вода в реке прогревается окружающим воздухом. В сентябре (период квазистационарности) происходит выравнивание температур воды и воздуха, значения средних температур водного и воздушного компонентов исследуемой геосистемы практически совпадают. В октябре воздушные массы остывают, и в период с октября по декабрь (период охлаждения), вновь, среднемесячные температуры воды становятся выше, чем среднемесячные температуры воздуха. Основной вклад в рост температур воды и воздуха вносят август и ноябрь, в эти месяцы, за период наблюдений, средняя температура возросла наиболее интенсивно.

Для количественной оценки прироста температуры воды за период наблюдений нами рассчитаны среднегодовые значения температуры воды р. Малка в нижнем течении и воздуха на территории образующей исследуемую геосистему (таблица 14, рисунок 33).

Таблица 14 – Среднегодовая температура воды и воздуха на территории бассейна нижнего течения р. Малка в 2018 - 2023 гг.

Среднегодовая температура	Год					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Вода, °С	14,48	14,46	14,31	14,53	14,58	14,60
Воздух, °С	12,11	12,06	12,41	11,90	12,21	12,55

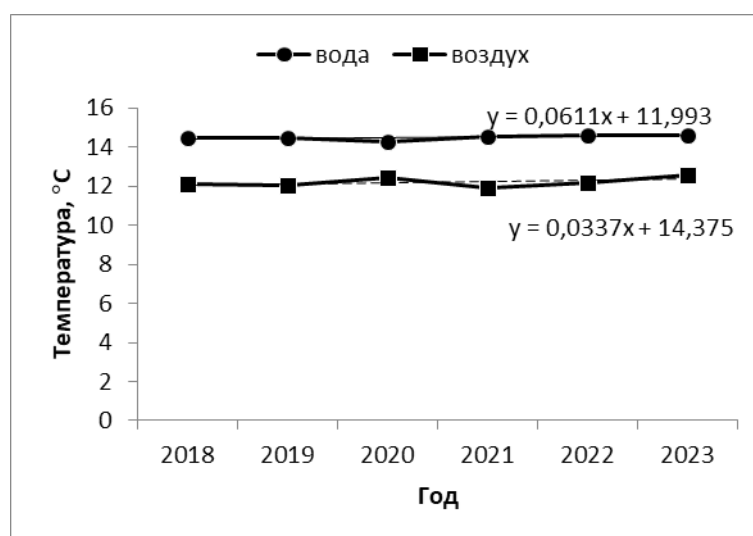


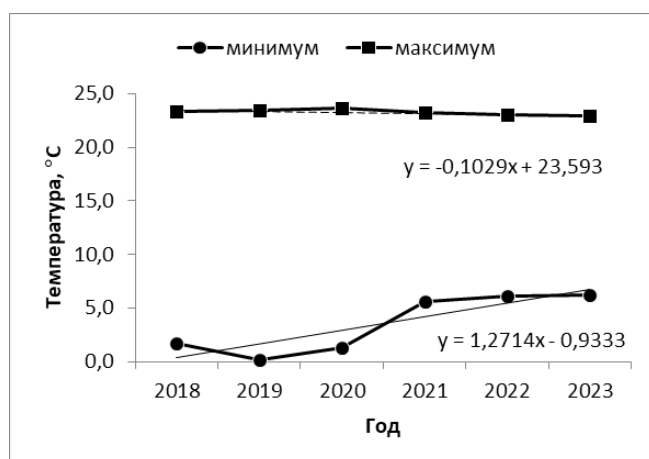
Рисунок 33 – Динамика среднегодовой температуры воды и воздуха на территории бассейна нижнего течения р. Малка в 2018 - 2023 гг.

В современный период наблюдается устойчивая тенденция роста среднегодовых температур воды и воздуха. Повышение температуры воздуха в современный период привело к увеличению поверхностной температуры воды в р. Малка. Следует отметить, что характер динамики среднегодовых температур воздуха в современном периоде совпадает с полученным для долгосрочного периода наблюдений 2006 – 2023 гг. (рисунок 28).

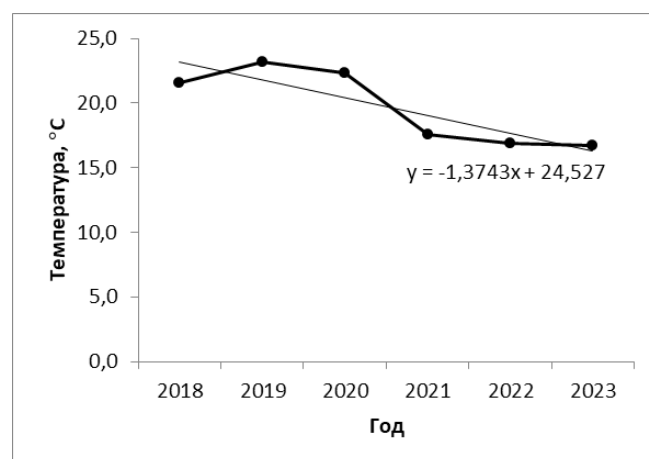
Увеличение среднегодовой температуры воды в современном периоде на 0,15 °С произошло за счет повышения наименьших температур (таблица 15, рисунок 34). Значения максимальных среднесуточных температур воды, напротив показывают невысокую отрицательную динамику.

Таблица 15 - Минимальная, максимальная среднесуточная температура и амплитуда среднесуточной температуры воды на территории бассейна нижнего течения р. Малка 2018-2023 гг.

Год	Минимальная температура		Максимальная температура		Амплитуда, °С
	Дата фиксации	Значение, °С	Дата фиксации	Значение, °С	
2018	19.11.2018	1,7	30.07.2018	23,3	21,6
2019	15.03.2019	0,2	27.07.2019	23,4	23,2
2020	10.03.2020	1,3	21.07.2020	23,6	22,3
2021	02.01.2021	5,6	20.07.2021	23,2	17,6
2022	10.02.2022	6,1	11.07.2022	23,0	16,9
2023	04.02.2023	6,2	04.07.2023	22,9	16,7



а



б

Рисунок 34 – Динамика минимальной и максимальной среднесуточных температур (а) и амплитуды внутригодовых колебаний среднесуточной температуры воды (б) на территории бассейна нижнего течения р. Малка в 2018-2023 гг.

Наиболее холодной вода была в марте и феврале (по два события), максимальные значения среднесуточных температур фиксируются в июле.

Амплитуда внутригодовых колебаний температур воды, также как и амплитуда внутригодовых колебаний температур воздуха имеет отрицательную динамику.

Полученные данные показывают, что глобальное потепление климата трансформирует термический режим пойменной геосистемы р. Малка в нижнем течении. Повышение среднегодовой температуры воздуха привело к росту температуры воды. Вода в нижнем течении р. Малка быстро нагревается (4 месяца) и медленно остывает (6 месяцев).

Оценка последствий влияния трансформации термического режима на пойменные ландшафты р. Малка в нижнем течении, проводилась с учетом научных подходов к учету роли динамических факторов в формировании ландшафтов Большого Кавказа предложенных в работах [16, 17, 24, 25, 26]. На исследуемой территории распространены ландшафты, относящиеся к классу равнинных и предгорно-холмистых. Выявлено увеличение среднегодовой температуры воздуха на 0,76 °С. Основной вклад в потепление внесло увеличение температуры в холодное время года, тогда как термические условия периода активной вегетации менялись мало, что не могло привести к увеличению фитомассы в природно-территориальных комплексах.

5.2. Трансформация уровенного и водного режимов реки Малка в нижнем течении

Водный режим реки определяется циклически повторяющимися во времени взаимосвязанными характеристиками водного потока – расхода и уровня воды. Он тесно связан с климатическими и географическими условиями бассейна, которые на равнинных территориях подчинены закономерностям широтной зональности, а в горных районах – высотной поясности [106]. Уровенный режим отражает закономерности наполнения русла водотока, описывает специфику этого процесса в различных пространственных и временных масштабах [67]. Изменение уровня воды в реках тесно связано с режимом стока. На уровенный

режим водотоков большое влияние оказывают морфологические особенности строения русла, он может значительно различаться для отдельных участков одной и той же реки.

В качестве исходных данных для исследования трансформации гидрологического режима послужила информация о расходах и уровнях воды полученная на гидропостах с. Каменомостское и ст. Прохладная.

По открытым данным Центра Регистра и кадастра полученным на сайте <https://allrivers.info/> (Уровень воды онлайн) [164], построены графики уровня воды в реке Малка по гидропосту ст. Прохладная в 2020 – 2023 гг. (рисунок 35-38). Абсолютный максимум – 450 см, наблюдался 22 июня 2002 г., обозначен на графиках штрихпунктирной линией. Пунктирной линией показано значение среднегодового уровня: в 2020 г. – 36 см, в 2021 г. – 48 см, в 2022 г. – 46 см, в 2023 г. – 49 см. Точечной пунктирной линией показан средний суточный уровень по данным за 24 года.

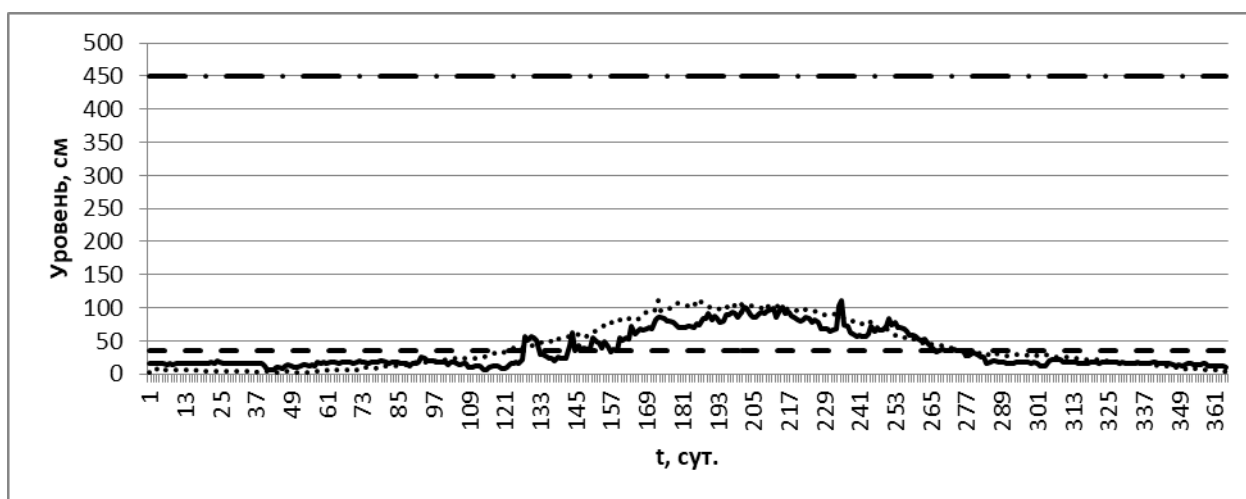


Рисунок 35 – График уровня воды р. Малка – ст. Прохладная в 2020 г.

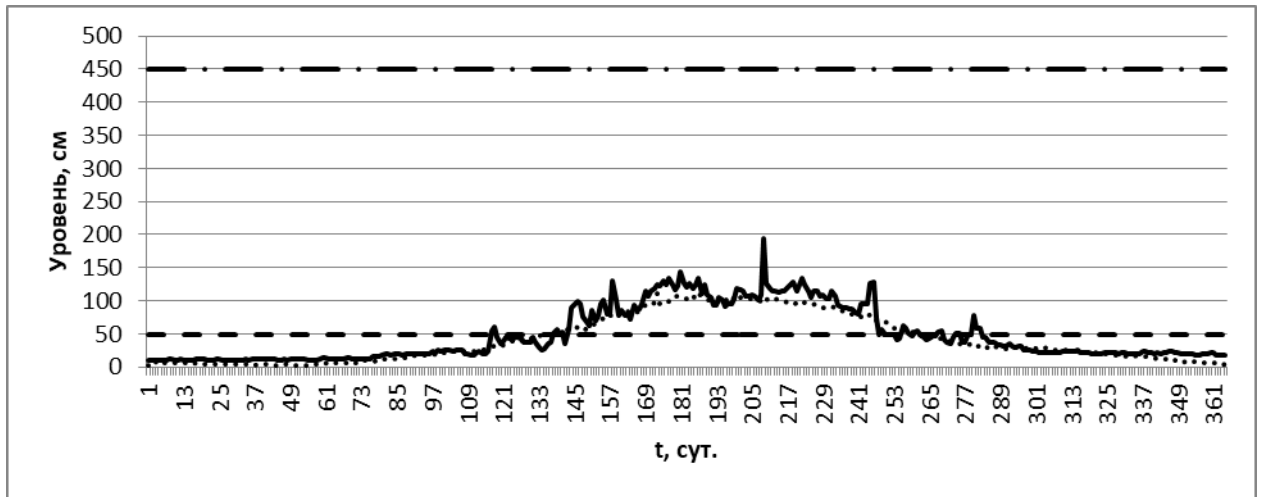


Рисунок 36 – График уровня воды р. Малка – ст. Прохладная в 2021 г.

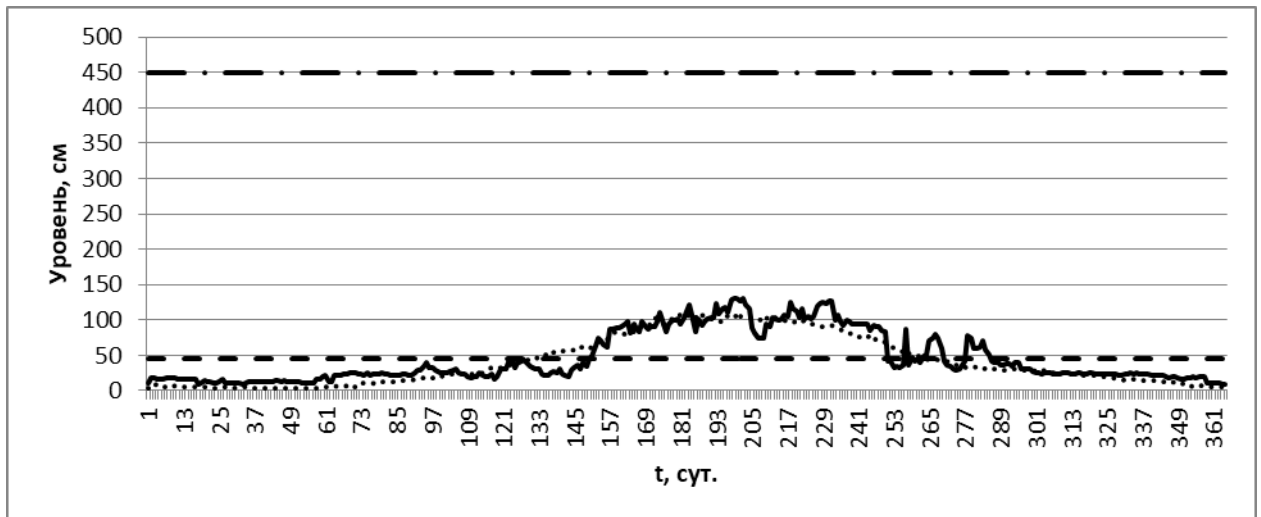


Рисунок 37 – График уровня воды р. Малка – ст. Прохладная в 2022 г.

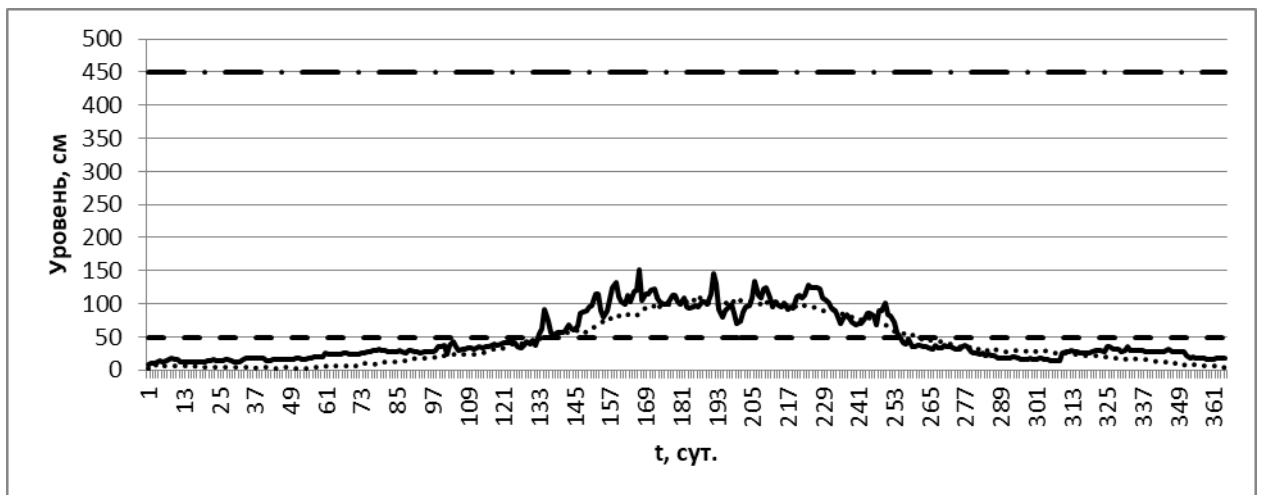


Рисунок 38 – График уровня воды р. Малка – ст. Прохладная в 2023 г.

На высоту уровня воды оказывает влияние сочетание таких факторов как температура, интенсивность таяния ледников, частота и объём дождевых паводков. В период интенсификации сельскохозяйственных работ к природным факторам добавляется влияние антропогенных: забор воды помпами и оросительными каналами [185].

Максимальный уровень в 2020 году зафиксирован 23 августа (103 см); в 2021 г. – 28 июля (195 см); в 2022 г. – 18 июля (131 см); в 2023 г. – 16 июня (151 см). Минимальный уровень в 2020 году зафиксирован 24 апреля (6 см); в 2021 г. – 27 января (10 см); в 2022 г. – 29 декабря (9 см); в 2023 г. – 1 января 2023 (9 см) г. При анализе графиков уровней воды аномалий не выявлено.

Гидрографы водного стока р. Малка по данным гидропоста ст. Прохладная, построенные на основе среднесуточных расходов воды по данным за 2015 – 2023 гг. имеют пилообразную форму (рисунок 39-47). Пунктирной линией показано значение среднего расхода за год: в 2015 г. – 103,0 м³/с; в 2016 – 108,4 м³/с; в 2017 г. – 97,8 м³/с; в 2018 г. – 110,6 м³/с; в 2019 – 104,5 м³/с; в 2020 г. – 93,2 м³/с; в 2021 г. – 111,6 м³/с; в 2022 г. – 98,4 м³/с; в 2023 г. – 100,4 м³/с. Штрихпунктирной линией обозначен максимальный многолетний расход за период с 1947 по 2023 гг., который зафиксирован в июне 2002 г. и составил 1280 м³/с. Конфигурация годовых гидрографов р. Малка в целом соответствует графикам уровня воды.

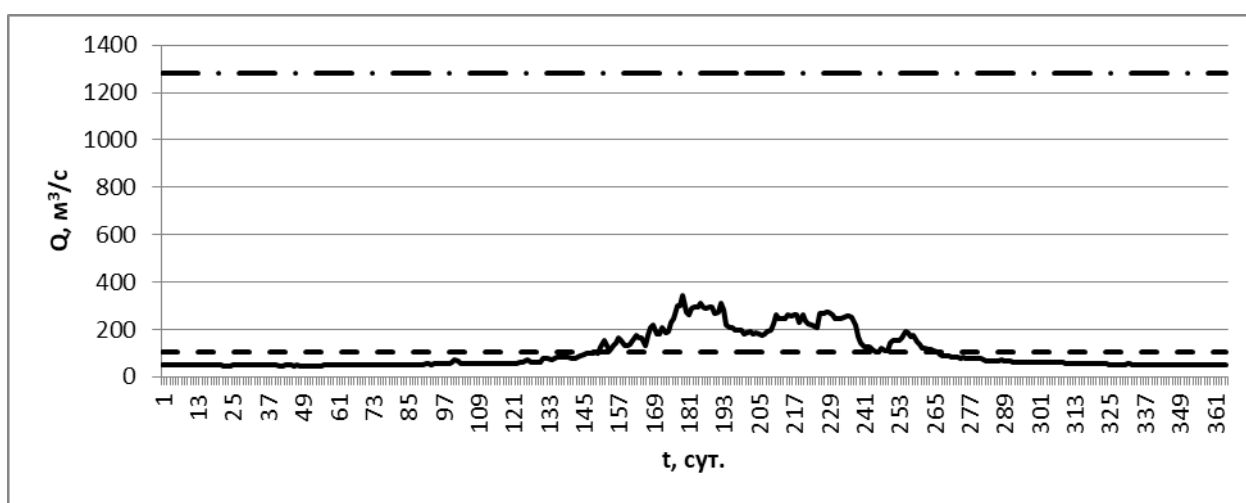


Рисунок 39 – Гидрограф р. Малка гидропост ст. Прохладная за 2015 год

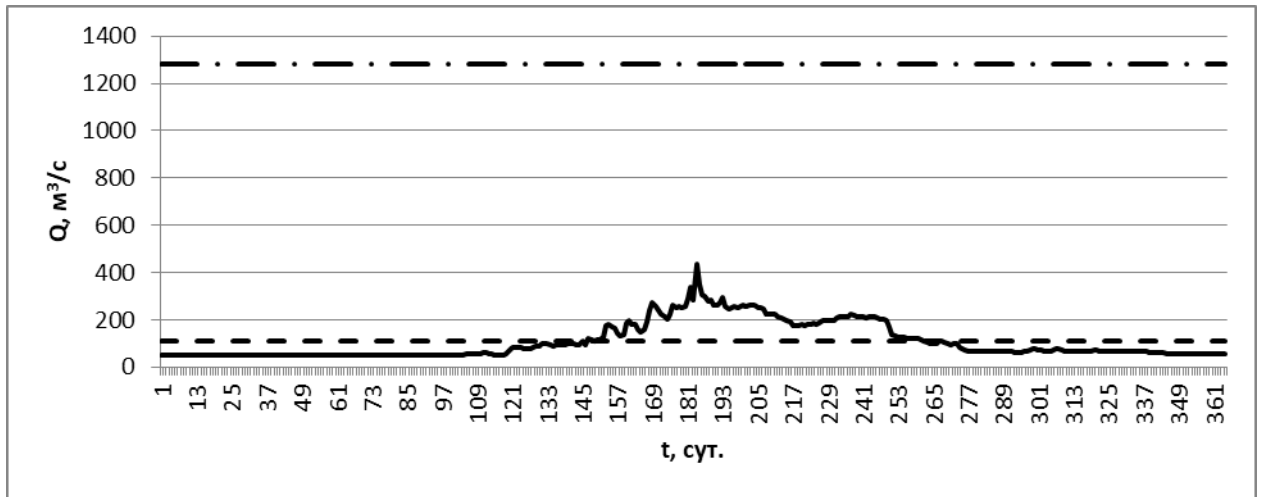


Рисунок 40 – Гидрограф р. Малка гидропост ст. Прохладная за 2016 год

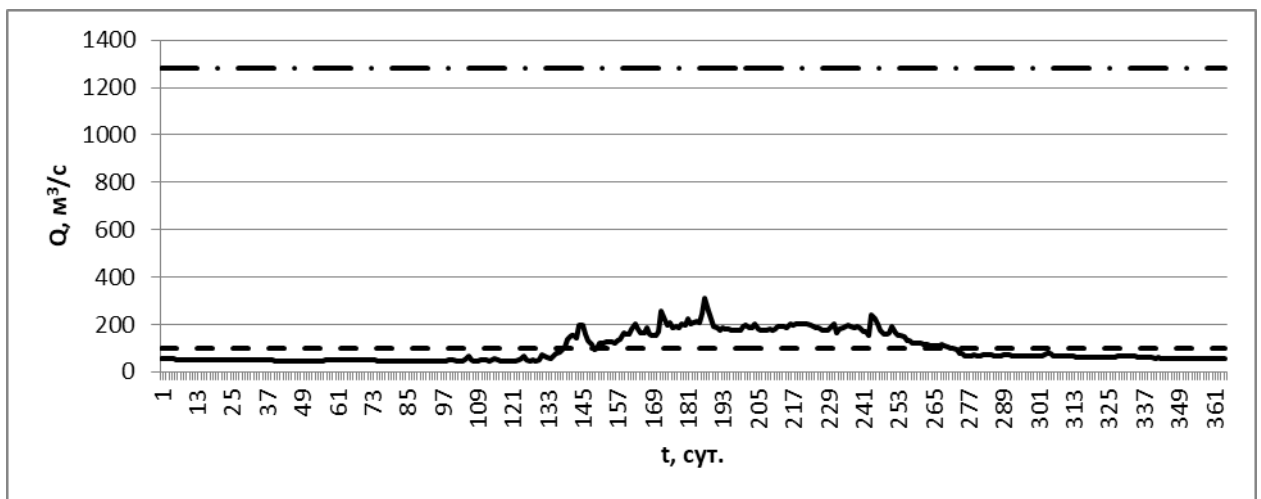


Рисунок 41 – Гидрограф р. Малка гидропост ст. Прохладная за 2017 год

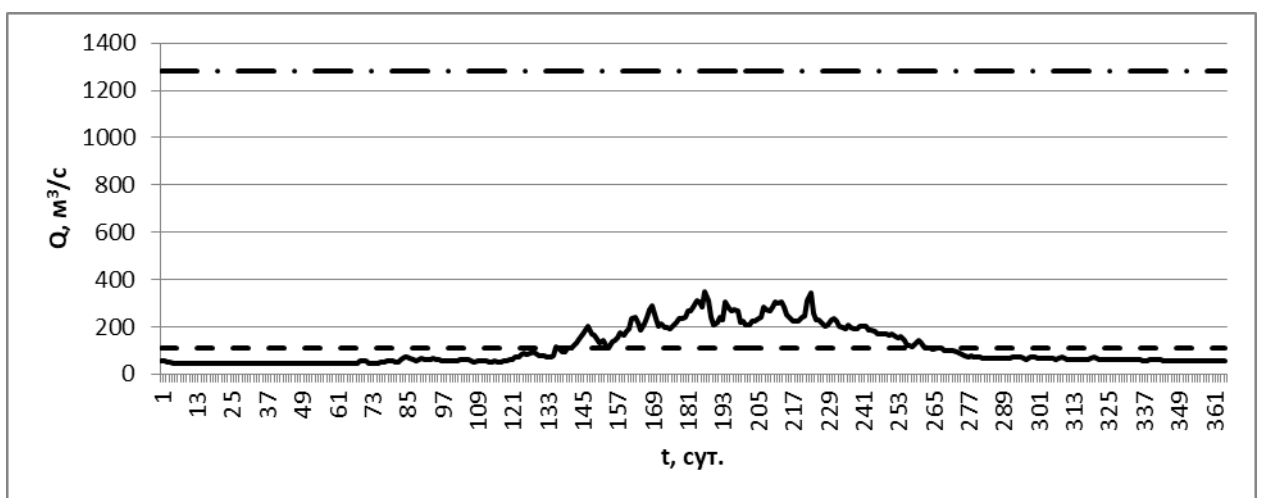


Рисунок 42 – Гидрограф р. Малка гидропост ст. Прохладная за 2018 год

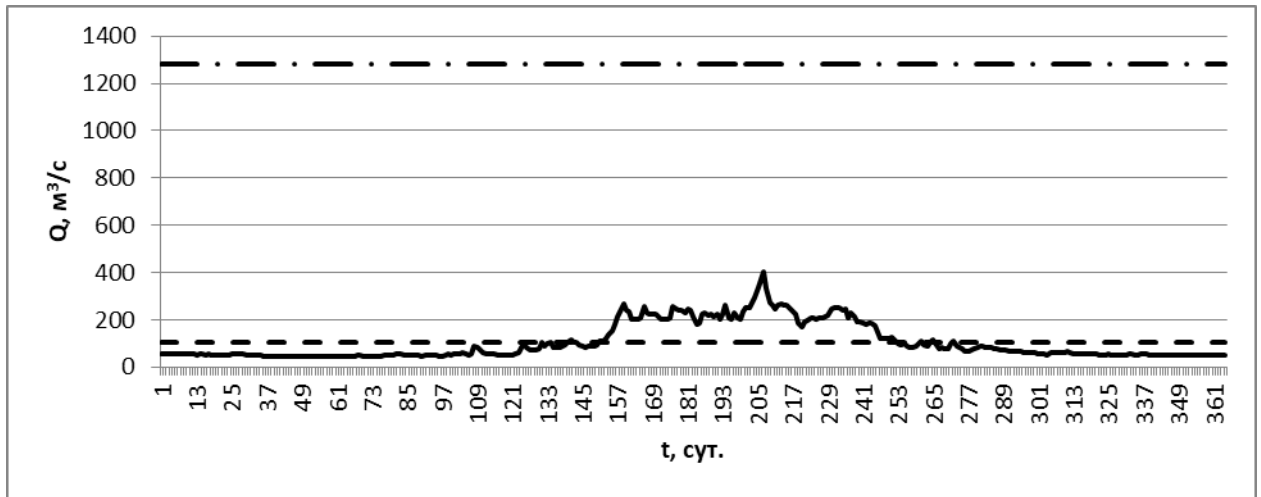


Рисунок 43 – Гидрограф р. Малка гидропост ст. Прохладная за 2019 год

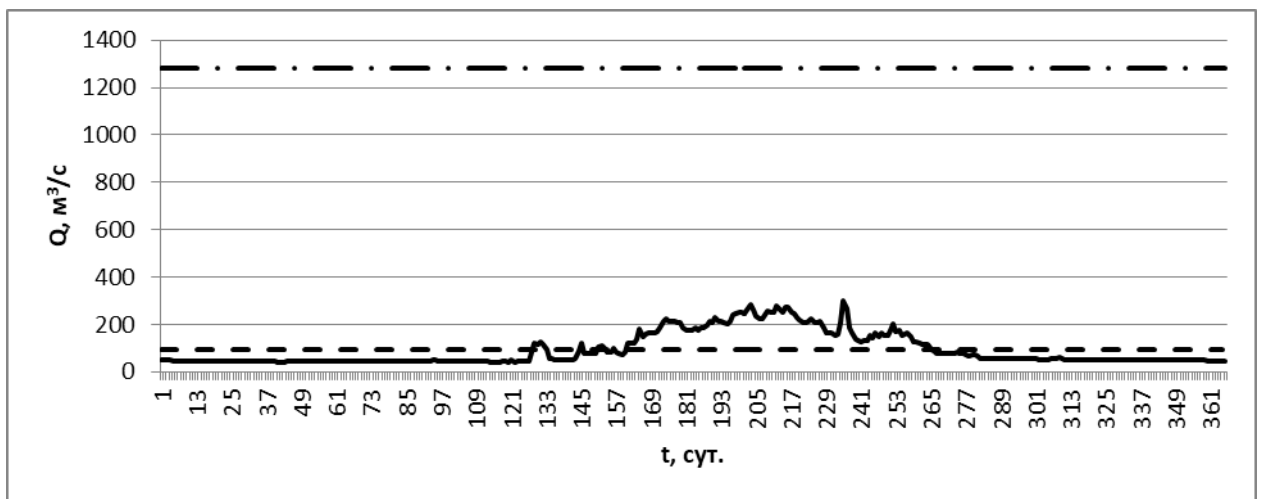


Рисунок 44 – Гидрограф р. Малка гидропост ст. Прохладная за 2020 год

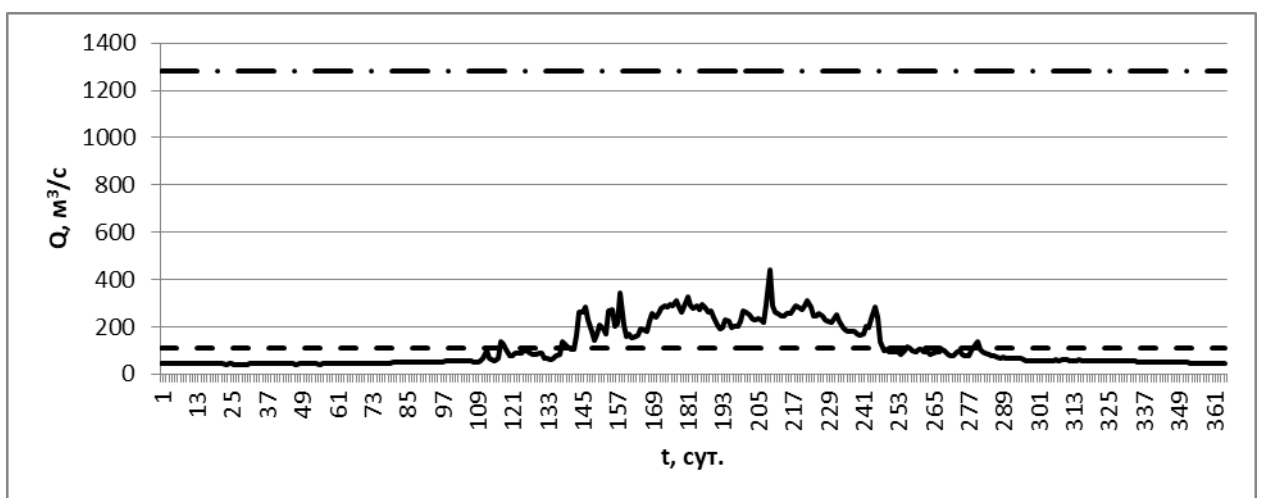


Рисунок 45 – Гидрограф р. Малка гидропост ст. Прохладная за 2021 год

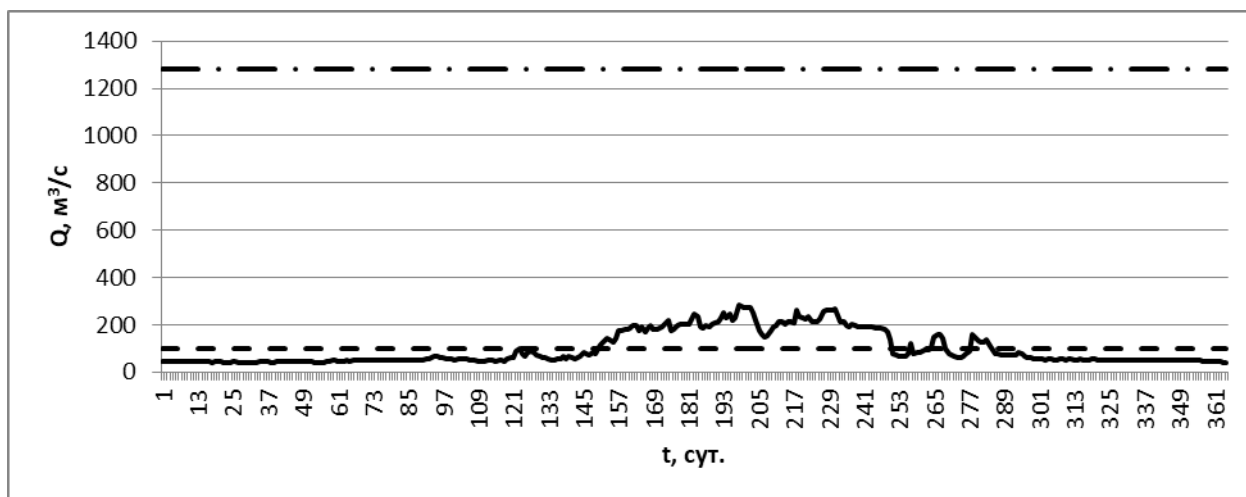


Рисунок 46 – Гидрограф р. Малка гидропост ст. Прохладная за 2022 год

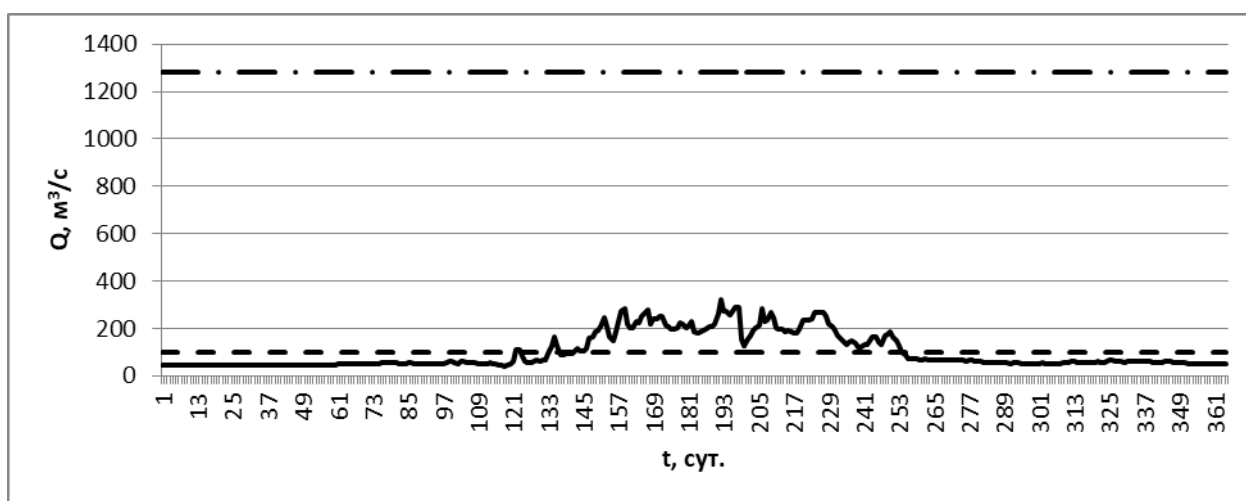


Рисунок 47 – Гидрограф р. Малка гидропост ст. Прохладная за 2023 год

Малка – река со смешанным типом питания, включающим подземную (38,2-54,0 %), снежную (15,4-18,3 %), дождевую (15,4-18,2 %) и ледниковую (7,2-15,4 %) составляющие [179, 193, 194].

Водный режим р. Малка характеризуется зимней меженью и летним половодьем (рисунок 48-50). Весной, в начале марта, в реку начинают поступать талая вода в результате таяния снега выпавшего в данном году. В конце апреля начинается таяние ледников, этот период характеризуется значительным повышением уровня реки. Количество талых вод увеличивается по мере роста температуры воздуха и достигает максимума в июле-августе [197].



Рисунок 48 – Годовая динамика водного режима р. Малка до впадения р. Баксан
(фото автора, 2023 г.).

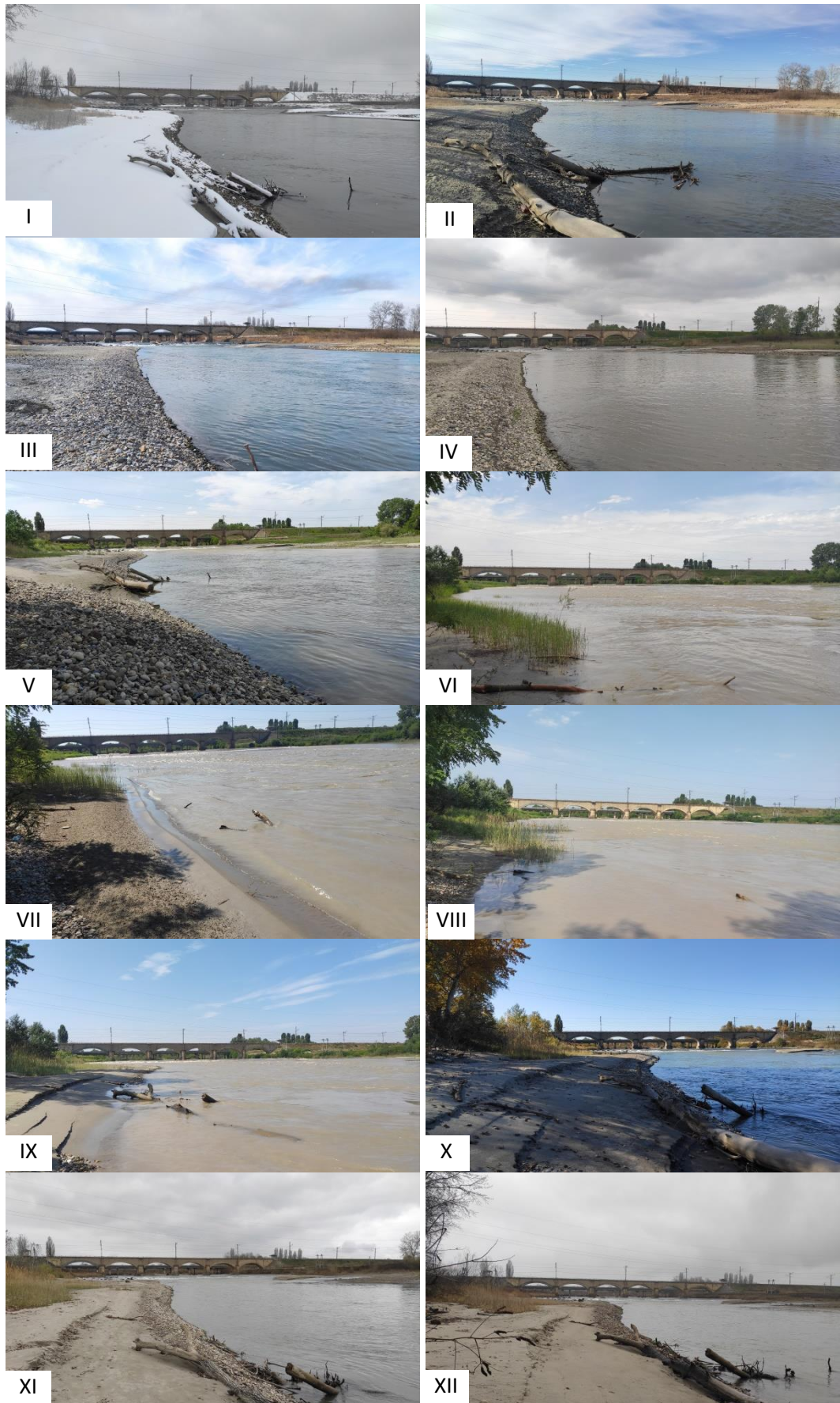


Рисунок 49 – Годовая динамика водного режима р. Малка после впадения р. Баксан (фото автора, 2023 г.).



Рисунок 50 – Годовая динамика водного режима р. Баксан - притока р. Малка первого порядка (фото автора, 2023 г.).

Наибольший расход зафиксирован: в 2015 году 28 июня (341 м³/с); в 2016 году 03 июля (433 м³/с); в 2017 году 06 июля (312 м³/с); в 2018 году зафиксирован 6 июля (404 м³/с), в 2019 г. 26 июля (410 м³/с), в 2020 г. 23 августа (332 м³/с), в 2021 г. 28 июля (520 м³/с), в 2022 г. 18 июля (287 м³/с); в 2023 г. 11 июля (319 м³/с) Весенне-летний период, как правило, сопровождается ливневыми дождями, что вместе с поступлением талых вод приводит к бурным паводкам, характеризующимся быстрым подъёмом уровня.

Продолжительность нарастания расходов во время паводка несколько меньше, чем период спада. В летние месяцы начинается половодье. Зимний период характеризуется устойчивой меженью, начинающейся в начале ноября и продолжающейся до конца марта.

Наименьшие расходы приходятся на декабрь-февраль. Наименьший расход зафиксирован: в 2015 году 22 января (46,9 м³/с); в 2016 году 01 января (49,7 м³/с); в 2017 году 19 марта (45,5 м³/с); в 2018 году 16 января (39,1 м³/с); в 2019 г. – 20 февраля (41,4 м³/с); в 2020 г. – 23 апреля (37,8 м³/с); в 2021 г. – 22 января (38,7 м³/с); в 2022 г. – 21 января (38,7 м³/с); в 2023 г. – 28 апреля (41,4 м³/с). Зимних паводков, обусловленных оттепелями, в период 2015-2023 гг. не наблюдалось.

Нами рассчитано внутригодовое распределение объёма стока р. Малка (гидропост ст. Прохладная) (таблица 16).

Таблица 16 – Внутригодовое распределение объёма стока воды р. Малка (гидропост ст. Прохладная)

Год	Зима, %	Весна, %	Лето, %	Осень, %
2015	12	15	53	20
2016	12	15	52	21
2017	13	16	48	23
2018	11	17	53	20
2019	12	15	54	18
2020	12	14	52	21
2021	10	18	54	18
2022	11	15	53	21
2023	12	17	53	18
Средний многолетний	12	16	52	20

По результатам многолетних наблюдений установлено, что наибольший объём стока приходится на летний сезон, наименьший – на зимний, весенний объём стока немного меньше осеннего.

В целях оценки пространственно-временной динамики водного режима р. Малка и выявления причин его трансформации, по данным полученным на гидропостах с. Каменноостское и ст. Прохладная, нами рассчитаны среднемесячные расходы р. Малка за период наблюдений с 2015 по 2023 гг. (таблица 17). Гидропост с. Каменноостское, находящийся на реке Малка в селе Каменноостское, можно считать фоновым, так как он замыкает участок в верхнем течении, на котором отсутствуют каналы и иные значимые искусственные водозаборные гидротехнические сооружения, предназначенные для водоотведения в бытовых, сельскохозяйственных и технологических целях (рисунок 51).

Таблица 17 – Среднемесячные расходы р. Малка в верхнем и нижнем течениях

Год	Гидро-пост	Месяц, среднемесячный расход, м ³ /с											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2015	К*	8,5	8,3	8,6	14,8	20,7	27,9	27,0	22,1	15,3	12,0	9,8	7,8
	П**	49,1	47,7	49,2	55,4	78,4	189,4	235,3	229,5	124,0	67,7	55,0	50,9
2016	К	6,3	5,5	7,3	13,7	17,6	26,2	26,0	20,8	16,2	13,4	11,2	8,9
	П	49,8	49,8	50,2	53,7	94,4	202,2	268,0	197,2	132,7	69,4	69,7	58,9
2017	К	9,0	8,3	9,5	12,7	22,1	30,0	27,6	20,7	21,4	13,7	11,0	11,5
	П	50,7	47,1	47,4	48,1	93,0	171,6	194,8	187,6	138,8	69,2	63,7	57,9
2018	К	10,1	7,3	9,2	14,2	20,2	28,3	24,7	21,7	21,1	15,6	12,0	8,3
	П	45,3	43,4	51,9	57,5	108,8	201,2	261,7	227,8	133,4	69,7	63,1	57,0
2019	К	8,2	7,3	9,0	11,1	21,3	25,6	26,6	24,4	18,5	12,0	9,0	8,2
	П	54,4	46,3	48,3	55,5	86,9	210,4	247,2	217,8	105,7	69,8	55,8	51,2
2020	К	7,9	8,5	9,0	9,1	23,4	28,1	25,4	22,2	16,5	11,8	9,1	8,4
	П	45,0	43,2	45,0	44,0	70,0	148,7	224,8	201,9	129,0	59,6	52,6	49,2
2021	К	7,5	7,4	7,9	12,9	24,8	29,8	20,4	20,4	17,0	11,8	10,6	9,6
	П	44,7	42,5	45,6	63,1	124,6	237,4	252,0	232,5	112,2	74,7	55,4	48,6
2022	К	7,9	8,6	8,3	13,3	19,0	28,1	25,9	16,1	14,0	14,5	9,9	8,1
	П	44,0	42,7	49,1	53,7	71,5	180,6	218,1	219,8	113,0	83,4	52,2	47,4
2023	К	8,0	7,3	10,1	12,1	23,8	31,8	24,7	24,2	21,1	12,8	8,5	7,9
	П	44,4	45,3	50,6	52,3	105,6	222,6	222,3	189,9	99,2	56,0	57,5	54,7
1947-2019	П	39,3	38,2	42,5	54,9	90,9	163,0	227,0	204,0	115,0	65,8	51,8	44,6

*К – гидропост с. Каменноостское;

**П – гидропост ст. Прохладная.

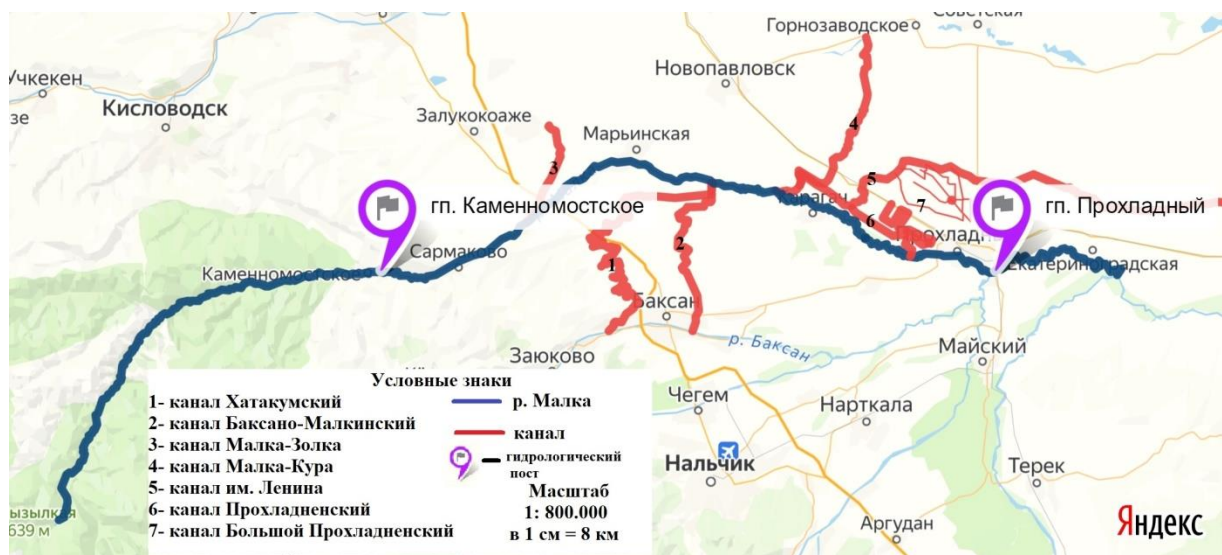


Рисунок 51 – Карта-схема расположения гидропостов и водозаборных гидротехнических сооружений на р. Малка

Для выявления тенденций в изменении среднемесячных расходов в 2015 – 2023 гг., построены соответствующие графики (рисунок 52). Пунктирной линией на графиках обозначен средний многолетний ежемесячный расход за период наблюдений 1947-2019 гг. по гидропосту ст. Прохладная.

Как показывают значения углового коэффициента в уравнении линии тренда, фоновые значения среднемесячных расходов, полученные на гидропосту Каменномоетком подвергаются изменениям, при этом они снижаются в январе, апреле, июле, августе, октябре, ноябре и декабре, и растут в феврале, марте, мае, июне и сентябре.

Проявление трансформации водного режима р. Малка ещё более выражено в среднем и нижнем течении. Здесь наблюдается снижение расходов большую часть года: в январе, феврале, марте, июле, августе, сентябре, октябре, ноябре и декабре. Рост расходов прослеживается только в апреле, мае, июне. Очевидно, что снижение расходов обусловлено как природными климатическими факторами, так и антропогенным воздействием, которому р. Малка подвержена в среднем и нижнем течении.

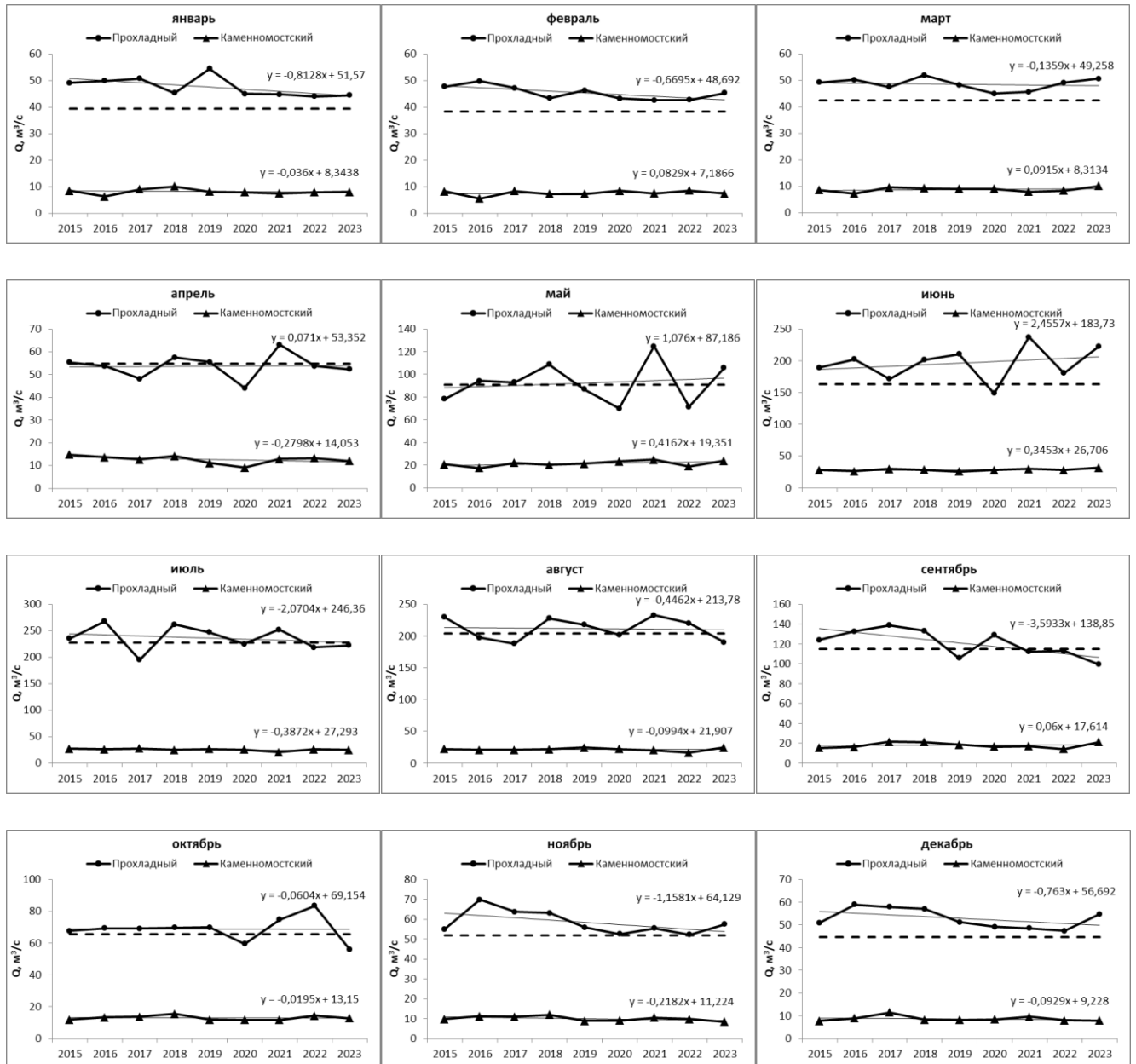


Рисунок 52 – Динамика среднемесячных расходов р. Малка на гидропостах с. Каменномо́стское и ст. Прохла́дная в 2015 - 2023 гг.

Сопоставляя результаты анализа набора данных метеорологических и гидрологических наблюдений, можно заключить, что рост зимних расходов в верхнем течении обусловлен увеличением количества и продолжительности оттепелей. В среднем и нижнем течении расходы снижаются в связи с уменьшением глубины промерзания грунта, и как следствие просачиванием талых вод в почву без наполнения рек.

Ещё одна вероятная причина снижения зимних расходов в среднем и нижнем течении – истощение подземных горизонтов вод, приводящее к уменьшению доли подземной составляющей в питании реки. Весной наблюдается рост расходов, как в верхнем, так и в среднем и нижнем течениях, обусловленный интенсивным таянием ледников и снежного покрова, вызванного повышением среднемесячных температур в это время года. Уменьшение среднемесячных расходов в летний период в июле и августе в верхнем и нижнем течении можно объяснить интенсификацией процессов испарения, вызванного ростом среднемесячных температур воздуха. Затяжная тёплая осень, также способствует процессам испарения воды.

В научной литературе имеются данные об исследованиях в области оценки воздействия климатических изменений на гидрологические особенности и состояние пойменных экосистем. Авторы работы [204] сообщают, что за последние три десятилетия произошло уменьшение длительности половодья и снижение уровня на реке Нижняя Волга, а также понижение уровня Каспийского моря.

В работе [114] получены данные, что уменьшение расходов в период половодья в сочетании с аридизацией климата, привели к обсыханию верхней и средней Волго-Ахтубинской поймы.

В работе [113] выявлены нарушения пойменных экосистем в низовьях Дона возникшие вследствие антропогенного сокращения частоты и объемов весенне-летнего половодья наряду с основной естественной климатической тенденцией перераспределения увлажнения в годовом цикле (в сторону увеличения его в зимний период и уменьшения весной) и более сильного потепления зимой.

Для оценки скорости, с которой происходит трансформация уровенного режима р. Малка, нами рассчитаны среднегодовые, минимальные и максимальные расходы по данным гидропостов с. Каменноостское и ст. Прохладная (таблица 19).

Анализ многолетней динамики среднегодовых, минимальных и максимальных расходов за 2015-2023 гг., показывает, что их величина неравномерно, но постоянно снижается (рисунок 53). Выявленные

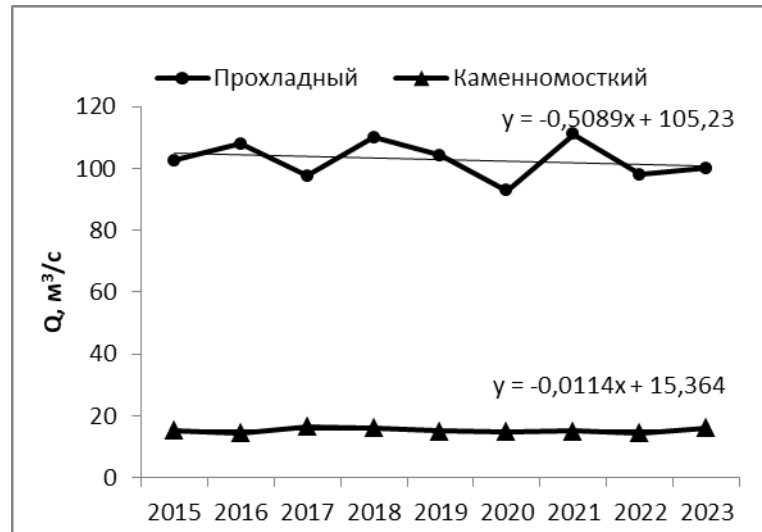
гидрологические изменения в состоянии пойменных геоистем р. Малка, полностью коррелируют с выявленными нами климатическими изменениями.

Таблица 19 – Среднегодовые, минимальные и максимальные расходы р. Малка в верхнем и нижнем течениях

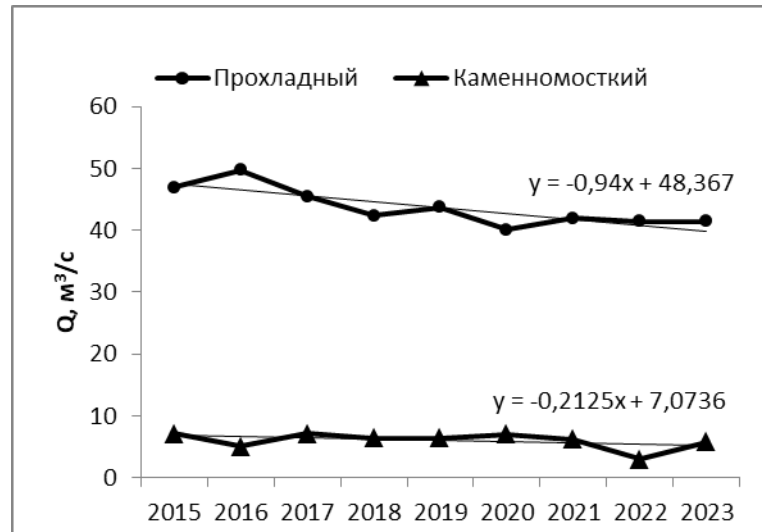
Год	Гидропост	Среднегодовой расход, м ³ /с	Минимальный расход, м ³ /с	Максимальный расход, м ³ /с	Амплитуда расходов, м ³ /с
2015	с. Каменноостское	15,2	7,1	32,5	25,4
	ст. Прохладная	102,6	46,9	341,0	294,1
2016	с. Каменноостское	14,4	5,1	49,0	43,9
	ст. Прохладная	108,0	49,7	433,0	383,3
2017	с. Каменноостское	16,5	7,1	57,5	50,4
	ст. Прохладная	97,5	45,5	312,0	266,5
2018	с. Каменноостское	16,1	6,4	57,4	51,0
	ст. Прохладная	110,1	42,4	347,0	304,6
2019	с. Каменноостское	15,1	6,4	36,3	29,9
	ст. Прохладная	104,1	43,7	401,0	357,3
2020	с. Каменноостское	15,0	7,1	43,7	36,7
	ст. Прохладная	92,8	40,1	297,0	256,9
2021	с. Каменноостское	15,0	6,2	37,1	31,0
	ст. Прохладная	111,1	41,9	439,0	397,1
2022	с. Каменноостское	14,5	3,0	37,0	34,0
	ст. Прохладная	98,0	41,4	283,0	241,6
2023	с. Каменноостское	16,0	5,8	42,8	37,0
	ст. Прохладная	100,0	41,4	319,0	277,6

Результаты наших расчётов показывают, что среднегодовой расход за период 2020-2023 гг. по сравнению с периодом 2015-2019 гг. сократился в верхнем течении на 0,3 м³/с (2,2 %), а в нижнем – на 4 м³/с (3,8 %).

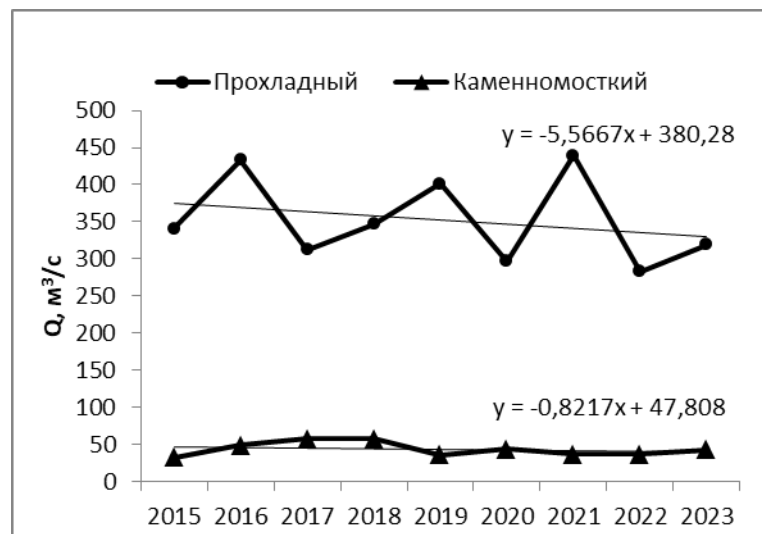
Наблюдается тенденция к снижению минимальных и максимальных расходов, причем, последний тренд более выражен. Такая особенность гидрологического режима может быть связана с ростом минимальных температур. В результате изменения термического режима, вызванного потеплением, нарушается процесс образования осадков, снежного покрова, истощаются ледники, питающие реку, увеличивается скорость испарения влаги.



а



б



в

Рисунок 53 – Динамика среднегодовых (а), минимальных (б) и максимальных (в) расходов р. Малка на гидропостах с. Каменноостковское и ст. Прохладная.

При анализе данных полученных при расчетах годовых амплитуд расходов р. Малка в верхнем и нижнем течении, нами обнаружено, что трансформация термического режима оказывает влияние на сезонность речного стока (рисунок 54).

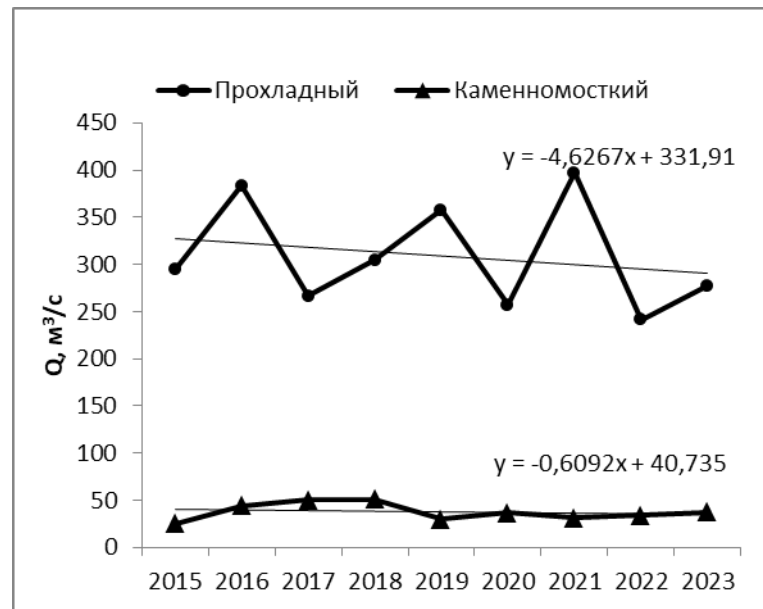


Рисунок 54 – Динамика амплитуд расходов р. Малка на гидропостах с. Каменномоостское и ст. Прохладная

Тенденция к уменьшению значений амплитуд проявляется как в верхнем, практически не подверженном прямому антропогенному воздействию, течении реки, так и в нижнем, где имеется значительное вмешательство человека в гидрологический режим реки, что позволяет сделать вывод о том, что сокращение сезонности речного стока вызвано изменением климата.

Ослабление сезонности речного стока, обусловленное уменьшением расходов воды летом, может оказать влияние на прибрежную растительность и организмы, обитающие в самой реке, что приведет к значительным ландшафтными изменениям. Такие показатели как сток химических и биогенных веществ также весьма чувствительны к происходящим климатическим и гидрологическим изменениям [212].

ГЛАВА 6. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАССЕЙНА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ МАЛКА

6.1. Химический состав аллювиальных отложений

Проведение геохимических исследований необходимо для изучения ландшафтной организации территории. Исследование химического состава отдельных составляющих геосистемы позволяет установить пространственные взаимосвязи между ними и закономерности распространения и распределения веществ в природе [188].

В ущельях р. Малка расположено Тызыльское свинцово-цинковое месторождение. На р. Мушта (один из притоков р. Малка) имеется полиметаллическое месторождение и рудопроявление свинца. Геологоразведочными работами установлено, что в верховьях р. Малка, по ее притокам Хасаут и Мушта, находятся залежи кварцевых и кварцево-сульфидных жил, содержащие золото и серебро. В нижнем течении р. Малка, недалеко от с. Хабаз, находятся залежи железо-хромо-никелевого орудинения [56]. Химический состав горных пород определяет гидрохимический состав речной воды [117], а, следовательно, и аллювиальных наносов.

Для повышения минерализации воды большое значение имеет процесс выветривания, особенно алюмосиликатов. Разложение их происходит благодаря деятельности воды и углекислого газа при их длительном соприкосновении [168]. Вместе с тем, происходит процесс выщелачивания горных пород, образуя из нерастворимых пород растворимые соли или ионы. Помимо этих ионов образуются также при выветривании и хлорид-ионы, содержащиеся в хлорапатитах $[Ca_3(PO_4)_3]Cl$ и содалите $3NaAlSiO_4 \cdot NaCl$.

Высокогорные источники в своем составе несут большое количество углекислоты разного происхождения, которая действует на горные породы, выщелачивая и вводя в свой состав карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов. Минерализация р. Малка увеличивается за счет гидрокарбонат-иона,

который вносится в реку подземными водами.

Обогащение катионами Ca^{2+} , Mg^{2+} и анионами HCO_3^- и SO_4^{2-} происходит за счет действия на породы серной кислоты, образующейся в результате окисления сульфидов [112].

Ионы натрия и калия могут появляться в воде благодаря растворению хлоридов, которые находятся в осадочных породах, из продуктов выветривания коренных горных пород, а также могут приноситься с атмосферными осадками.

Свинец, в основном в сопровождении цинка – один из распространенных элементов в подземных водах района р. Малки. Перенос свинца осуществляют гидрокарбонатные воды, которые повышают его растворимость [102]. Описанные геохимические особенности региона оказывают влияние на состав аллювиальных наносов формирующихся в нижнем течении р. Малка.

Для исследования качественного химического состава аллювиальных отложений были отобраны 8 образцов (таблица 20).

Таблица 20 – Образцы аллювиальных отложений, отобранные для анализа

№ образца	Время отбора	Место отбора	Описание
1	период межени, декабрь 2016 г.	остров площадью 22,797 м ²	мощность 35,2 см
2	период межени, декабрь 2016 г.	остров площадью 22,797 м ²	мощность 41,5 см,
3	период межени, декабрь 2016 г.	остров площадью 22,797 м ²	мощность 44,5 см,
4	период межени, декабрь 2016 г.	остров площадью 22,797 м ²	мощность 42,5 см
5	период межени, декабрь 2016 г.	правый берег р. Малка, после слияния с притоком р. Баксан	песок, береговой ил и обломочный материал реки
6	период межени, январь 2023 г.	левый брег р. Малка до впадения притока р. Баксан	песок, береговой ил и обломочный материал реки
7	период межени, январь 2023 г.	правый берег р. Баксан перед впадением в р. Малка	песок, береговой ил и обломочный материал реки
8	период межени, январь 2023 г.	правый берег р. Малка после впадения р. Баксан	песок, береговой ил и обломочный материал реки

В составе образцов №1 и №2, отобранных на острове, обнаружены минералы: лепидокрокит FeO_2 ; клинотоберморит $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{17}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$, уолстромит $\text{BaCa}_2\text{Si}_3\text{O}_9$, уранинит UO_2 ; партеит $\text{Ca}_2(\text{Si}_4\text{Al}_4)\text{O}_{15}(\text{OH})_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$; гидраргиллит или гиббсит $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot(\text{OH})$. В составе образца обнаружены примеси соединений марганца, титана, бора, стронция, галлия [188].

В составе образца №3, отобранного на острове, обнаружены минералы: кремнезем SiO_2 ; святославит $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$; низкоклиностатит (клинэстатит) основная формула MgSiO_3 ; купрориваит $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$; перовскит CaTiO_3 ; магнетит $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$; гидраргиллит или гиббсит основная формула $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot(\text{OH})$. В составе образца обнаружены примеси соединений титана, хрома, марганца, церия, ниобия, цинка, никеля, ванадия, галлия [188].

В составе образца №4, отобранного на острове, обнаружены минералы: пегматит (интрузивная магматическая горная порода); лепидокрокит $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$. В составе образца обнаружены примеси соединений марганца [188].

Образец берегового ила перед исследованием был разделён на фракции по размеру частиц. В составе образца №5 (мелкая фракция берегового ила) обнаружены минералы: барисилит $\text{Pb}_8\text{Mn}(\text{Si}_2\text{O}_7)_3$; полевой шпат изоморфный $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]\text{-Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]\text{-Ca}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$; кентролит $\text{Pb}_2\text{Mn}_2^{3+}\text{O}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)$; лепидокрокит $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$. В составе образца обнаружены примеси соединений цинка, титана, марганца. В составе образца №5 (крупная фракция берегового ила, коричневые вкрапления) обнаружены минералы: самородный висмут Bi ; святославит $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$; лепидокрокит $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$; купрориваит $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$. В составе образца обнаружены примеси соединений мышьяка, сурьмы, марганца [188].

В составе образцов №6, 7, 8 обнаружены минералы: кальцит (известковый шпат) CaCO_3 – один из наиболее распространённых минералов земной коры, полигенный, породообразующий минерал осадочных горных пород; сейфертит SiO_2 – редкий минерал, один из самых плотных природных ромбических полиморфов кремнезёма, предположительно образуется в земной мантии на глубине около 1700 км [213]; кальсилит KAlSiO_4 – силикат, породообразующий

минерал, присутствует в глубинных магматических щелочных породах вместо лейцита [170]. Обнаружены примеси соединений меди, титана, марганца, молибдена, диспрозия, свинца и кобальта [188].

Химический состав аллювиальных отложений на исследуемом участке р. Малка формируется под влиянием естественных геолого-геоморфологических факторов [188].

6.2. Пространственно-временная динамика основных гидрохимических показателей

6.2.1. Прозрачность

Внутригодовая динамика изменения прозрачности речной воды зависит от количества поступающих в реку материалов эрозии, характера размывающей деятельности потока и его водного режима [59]. Для оценки размывающей деятельности речного потока в момент отбора проб нами определялась прозрачность воды в пунктах отбора проб. На основании полученных результатов измерений, нами были рассчитаны значения среднемесячной прозрачности воды в пунктах отбора проб за многолетний период 2015-2023 гг. (таблица 21, рисунок 55).

Таблица 21 – Среднемесячная многолетняя прозрачность воды в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднемесячная многолетняя прозрачность, см											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	27,1	28,9	26,1	17,6	4,0	1,7	1,7	1,2	1,9	23,6	31,4	35,0
2	22,2	29,5	29,2	11,0	4,6	2,4	2,0	2,0	3,2	27,1	31,4	35,0
3	24,9	26,6	27,2	11,8	2,7	3,2	2,7	2,4	3,9	27,1	31,4	35,0
4	25,2	26,3	27,1	17,4	4,5	2,8	2,2	2,0	3,9	26,2	33,8	35,0

Прозрачность воды исследуемых водных объектов меняется в зависимости от сезона и тесно взаимосвязана с расходом и уровнем воды в реке. Для рек Малка и Баксан свойственен период весеннего половодья, в начальной фазе этого водного режима, приходящейся на май, в речную сеть интенсивно поступает материал, смываемый с поверхности бассейна. Прозрачность в сезон половодья значительно

уменьшается. В мае вода в Баксане более прозрачная, что приводит к тому, что после впадения Баксана, вода в Малке становится более прозрачной. В начале половодья в составе взвешенных в речной воде частиц преобладают мелкие фракции, взвеси, образуемые ими, достаточно устойчивы, а количество смываемого материала увеличивается вдоль течения реки, в связи с этим, в данный период, прозрачность по мере приближения к устью может несколько уменьшаться.

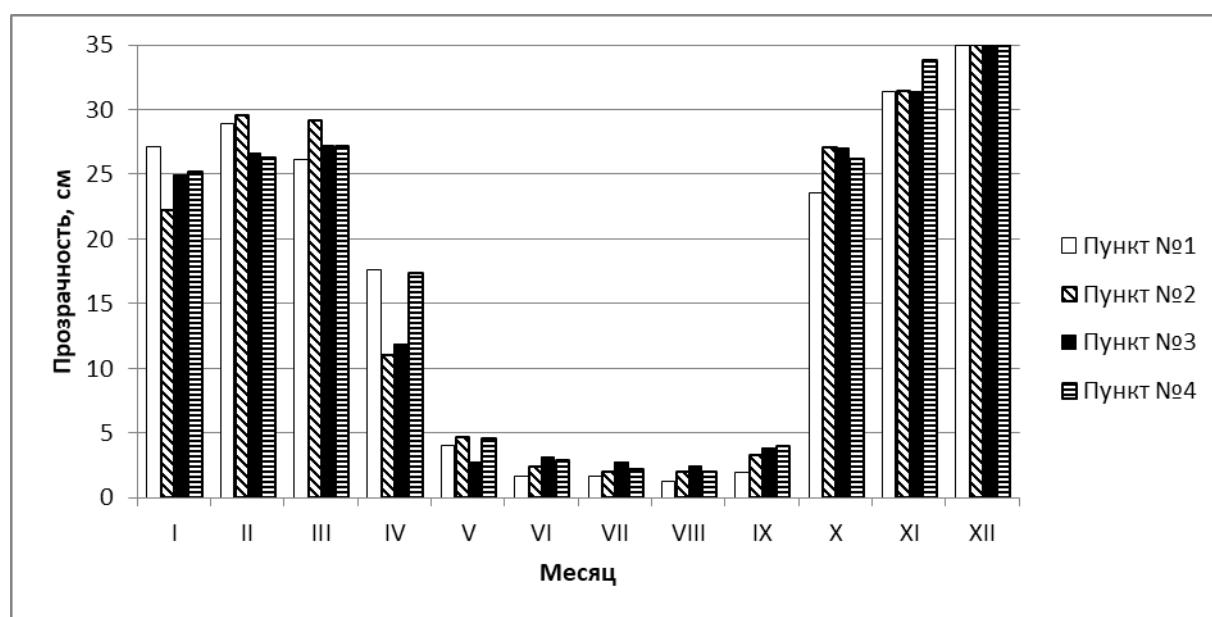


Рисунок 55 – Внутригодовая динамика среднемесячной многолетней прозрачности воды в пунктах отбора проб

Минимумы прозрачности в течение года обусловлены увеличением расхода, сопровождающегося дождевыми паводками (июнь – август) или развитием фитопланктона в теплый период (май – сентябрь). Вода в пунктах отбора №1 (р. Малка до впадения р. Баксан) и №4 (р. Баксан, устье), становится наиболее мутной августе, в пунктах отбора №2 (р. Малка после впадения р. Баксан) и №3 (р. Малка, устье) – в июле.

Высокая мутность рек Малка и Баксан обуславливается наличием легкоразмываемых сланцево-песчаных юрских пород, глинистых сланцев, отложений известняков, песчаников и глин. К моменту наступления пика половодья в августе, количество продуктов выветривания горных пород

значительно уменьшается, следовательно, уменьшается и интенсивность их смыва, но при этом начинается вынос материалов эрозии, обусловленный подтоплением поймы и усилением размыва речных русел, что приводит к увеличению размера взвешенных в воде частиц. По мере продвижения водного потока происходит распределение взвешенных речной воде частиц по фракциям в зависимости от их массы. Часть наиболее крупных частиц постепенно оседают в поймах, не достигнув устья, взвесь образуют только мелкие фракции частиц. Такое фракционное разделение приводит к тому, что в период, совпадающий с пиком половодья, прозрачность воды увеличивается по мере приближения к устью. В июле – августе наименее прозрачна вода в пункте отбора №1 (р. Малка до впадения р. Баксан), смешиваясь с более прозрачной водой из пункта отбора №4 (р. Баксан, устье) вода в пункте отбора №3 (р. Малка, после впадения р. Баксан) становится более прозрачной. По мере продвижения к устью, в результате фракционного разделения и осаждения частиц, прозрачность воды в пункте отбора №3 возрастает.

Для рек Малка и Баксан, минимумы прозрачности обычно совпадают с максимумами расходов воды. Совпадение максимумов мутности и расходов воды во время паводков характерно для горных рек с преобладанием дождевого питания [129]. Это происходит вследствие относительно быстрого формирования паводка и концентрированного поступления в русло реки, как воды, так и продуктов смыва с водосбора. Максимум прозрачности отмечается и у основной р. Малка и у притока – р. Баксан, в период осенне-зимней межени (октябрь – декабрь, январь – март), когда обе реки питаются в основном грунтовыми и подземными водами. Во всех четырёх пунктах отбора в декабре прозрачность воды превышает 35 см, максимальное значение на используемом нами цилиндре Снеллена.

6.2.2. Водородный показатель

Величина рН является одним из важнейших показателей качества воды и характеризует состояние её кислотно-основного равновесия. От величины рН зависит развитие и жизнедеятельность водной биоты, формы миграции различных элементов, агрессивное действие воды на вмещающие породы, металлы, бетон [130].

В природных водах рН зависит от содержания различных форм угольной кислоты, от присутствия органических кислот, газов, микроорганизмов, от гидролиза солей и т.д. Для большинства природных вод рН определяется главным образом соотношением концентраций угольной кислоты и её ионов [128].

В соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водоемов у пунктов питьевого водопользования, воды водных объектов в зонах рекреации, а также воды водоемов рыбохозяйственного назначения, величина рН не должна выходить за пределы интервала значений 6,5-8,5 [64].

В период 2015-2023 гг. ежемесячно нами определялся водородный показатель воды в четырёх пунктах отбора проб. На основании полученных результатов измерений, нами были рассчитаны значения среднемесячного многолетнего значения рН воды в пунктах отбора проб за период 2015-2023 гг. (таблица 22, рисунок 56)

Таблица 22 – Среднемесячный многолетний водородный показатель воды в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднемесячный многолетний водородный показатель											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	6,65	6,55	6,55	6,69	6,99	7,09	7,20	6,80	6,88	7,07	7,00	6,99
2	7,03	7,02	7,00	6,32	6,88	6,87	6,74	6,84	6,32	6,75	6,47	6,58
3	7,05	7,00	7,01	6,88	6,78	6,79	7,13	6,99	6,45	6,81	6,76	6,89
4	7,17	7,51	7,16	6,60	6,95	6,79	7,01	6,97	6,21	6,58	6,58	6,31

Максимальные значения водородного показателя составили: в пункте отбора № 1 – 7,02; № 2 – 7,03; № 3 – 7,13; № 4 – 7,51. Минимальные значения рН составили: в пункте отбора № 1 – 6,55; № 2 – 6,32; № 3 – 6,45; № 4 – 6,21. Можно заметить, что внутригодовая динамика значений водородного показателя имеет волнообразный характер. При этом наиболее часто максимум щелочности приходится на период межени, а наиболее кислая среда отмечается в период половодья.

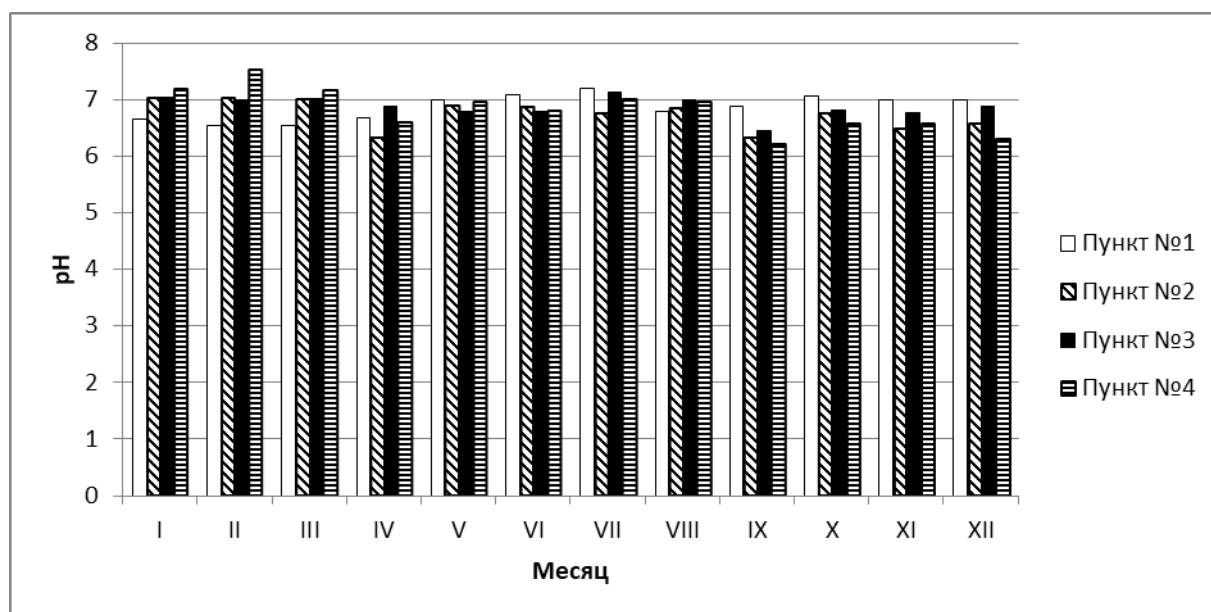


Рисунок 56 – Внутригодовая динамика среднемесячного многолетнего водородного показателя воды в пунктах отбора проб

Нами рассчитаны значения среднегодовых и многолетних среднегодовых значений водородного показателя воды в пунктах отбора проб (таблица 23, рисунок 57).

Таблица 23 – Среднегодовой водородный показатель воды в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднегодовой водородный показатель									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Средний
1	6,68	7,06	6,93	6,95	6,94	6,62	7,08	6,76	6,82	6,87
2	6,64	6,76	6,65	6,74	6,82	6,60	6,80	6,79	6,82	6,74
3	6,62	6,83	6,78	6,82	6,97	6,86	6,95	6,95	7,14	6,88
4	6,54	6,70	6,68	6,98	6,87	6,76	6,81	7,15	6,90	6,82

Среднегодовые многолетние значения рН составили: в пунктах отбора № 1 – 6,87, № 2 – 6,74, № 3 – 6,88, № 4 – 6,82. Воды р. Малка в нижнем течении и р. Баксан в устье по величине рН относятся к нейтральным.

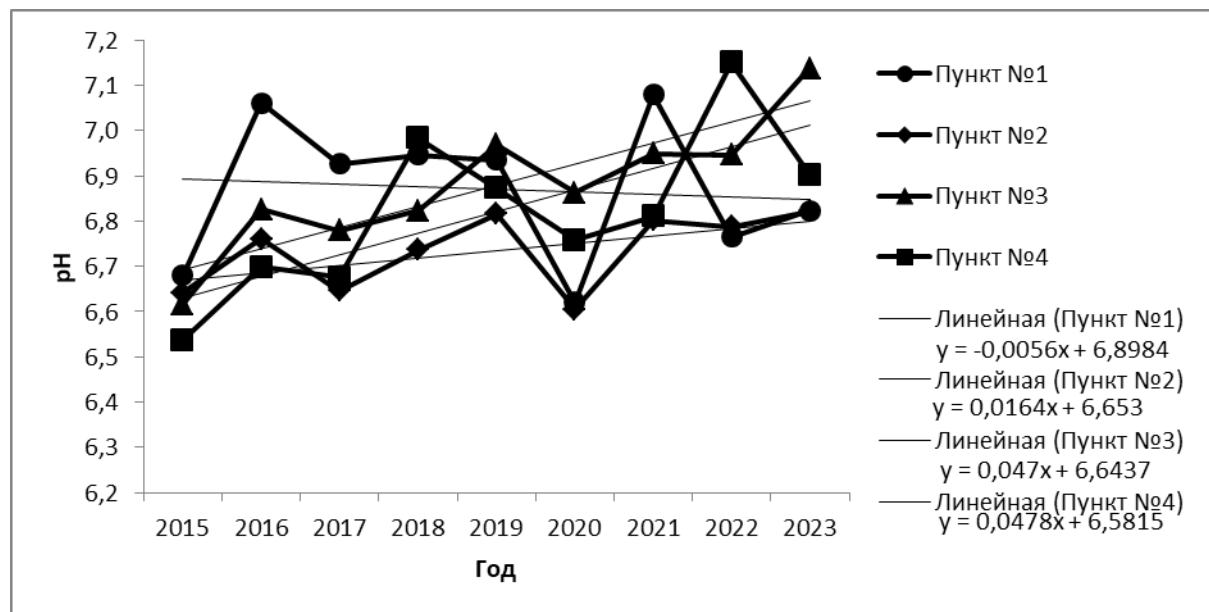


Рисунок 57 – Динамика среднегодового водородного показателя воды в пунктах отбора проб

Для выявления тенденций в изменении значений водородного показателя использован линейный тренд, наиболее точно отражающий изменения в начале и в конце ряда. Анализ динамики среднегодовых значений водородного показателя (рисунок 57) показывает, что в пункте отбора №1 имеется тенденция к снижению среднегодовых значений рН, в то время, как в пунктах №2, №3 и №4 среднегодовые значения рН растут. На участке р. Малка до впадения притока р. Баксан наблюдается снижение рН, что в будущем может стать причиной первичного кислотного загрязнения. Одним из основных химических индикаторов первичного кислотного загрязнения водных объектов является сдвиг величины рН в сторону кислой среды [130]. Понижение значений рН воды в водном объекте может способствовать усилению токсического воздействия других загрязняющих веществ или явиться причиной их перехода из донных отложений и взвешенных веществ в водную среду. Биологические эффекты кислотного загрязнения водных объектов начинают проявляться при $pH < 6,0-6,5$. В водных объектах уменьшается видовое разнообразие организмов, резко снижается численность популяций, нарушаются пищевые цепи. Негативное

влияние на биоценозы может оказывать не только понижение рН как таковое, но и усиливающееся при этом токсическое действие ряда компонентов, в частности, тяжелых металлов.

В устье р. Баксан и на участке р. Малка после впадения р. Баксан и до устья выявлена тенденция к увеличению щелочности воды. Можно заметить, что воды р. Баксан, обладают нейтрализующим эффектом, по отношению к водам реки Малка, снижая их кислотность. Таким эффектом можно объяснить тенденцию к росту щелочности воды р. Малка на устьевом участке, после впадения притока р. Баксан.

6.2.3. Общая жесткость

Жесткость воды – свойство воды, обусловленное присутствием в ней растворённых солей щелочноземельных металлов, преимущественно кальция и магния. Суммарное содержание в воде ионов этих металлов называется общей жесткостью.

Жесткость воды выражают в миллимолях КВЭ (количества вещества эквивалента) Ca^{2+} и Mg^{2+} , содержащихся в 1 дм^3 воды – ммоль/дм^3 КВЭ [6]. Согласно ГОСТ 52029 - ммоль/дм^3 КВЭ Ca^{2+} и Mg^{2+} называется градусом жесткости и обозначается °Ж.

В период 2015-2023 гг. ежемесячно нами определялась общая жесткость воды в четырёх пунктах отбора проб. На основании полученных результатов измерений, нами были рассчитаны значения среднемесячного многолетнего значения общей жесткости воды в пунктах отбора проб за период 2015-2023 гг. (таблица 24, рисунок 58).

Общая жесткость воды р. Малка в нижнем течении достигает наибольших значений в период межени и наименьших в период паводка. По результатам многолетних наблюдений наибольшие значения жесткости зафиксированы во всех пунктах отбора в декабре: 7,82, 6,23, 6,36, 5,82 °Ж соответственно.

Таблица 24 – Среднемесячная многолетняя общая жесткость воды в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднемесячная многолетняя общая жесткость, °Ж											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	6,99	7,49	7,09	6,88	5,18	4,10	4,68	4,81	5,30	6,75	7,22	7,82
2	6,15	5,98	6,13	5,79	4,68	3,34	3,18	2,91	4,66	5,21	5,46	6,23
3	6,28	6,18	6,13	5,50	4,57	3,31	2,78	2,82	4,47	5,57	6,20	6,36
4	5,59	5,75	5,67	5,29	4,30	3,09	2,89	2,60	3,45	4,89	5,43	5,82

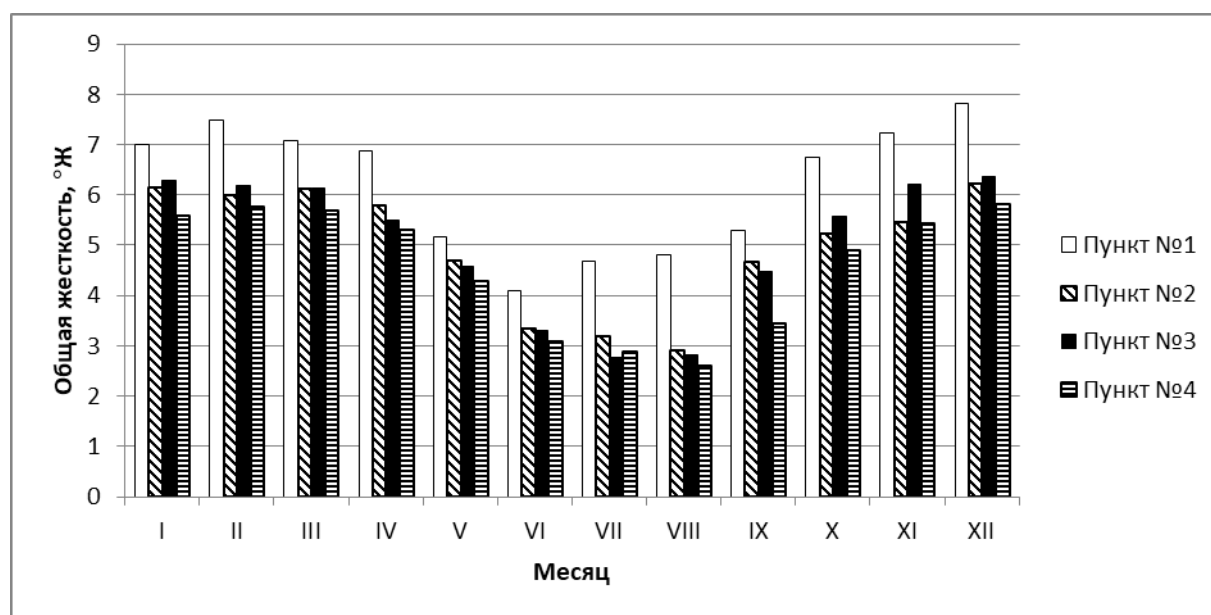


Рисунок 58 – Внутригодовая динамика среднемесячной многолетней общей жесткости воды в пунктах отбора проб

Минимальные значения общей жесткости приходятся на период летнего половодья. Наименьшие значения наблюдались в пункте отбора № 1 в июне 4,10°Ж, в пунктах отбора № 2 и № 4 в августе – 2,91 и 2,60 °Ж соответственно, в пункте № 3 в июле – 2,78 °Ж. Таким образом, значения максимальной жесткости отмеченные в период зимней межени, практически в 2 раза больше минимальных значений установленных в период летнего половодья на всем протяжении исследуемого участка реки. Анализ пространственной динамики изменения общей жесткости речной воды показывает, что жесткость уменьшается по мере приближения к устью. При этом имеет место большая разница в величинах общей жесткости воды из пунктов №1 и №2. Общая жесткость воды, отобранной в

пунктах №2 и №3, отличается, в большинстве случаев, не значительно. Очевидно, что такой характер пространственной изменчивости общей жесткости обусловлен влиянием притока р. Баксан, вода которого имеет меньшее значение общей жесткости.

Нами рассчитаны значения среднегодовых многолетних значений общей жесткости воды в пунктах отбора проб (таблица 25).

Таблица 25 – Среднегодовая многолетняя общая жесткость воды в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднегодовая многолетняя общая жесткость, °Ж									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Средний
1	5,77	6,02	6,25	6,21	6,00	6,55	5,86	6,59	6,47	6,19
2	4,96	4,94	4,87	4,98	4,86	5,31	4,88	4,95	5,06	4,98
3	4,70	4,85	4,96	5,01	5,01	5,42	4,87	5,27	5,03	5,01
4	4,43	4,51	4,53	4,34	4,64	4,80	4,68	4,42	4,73	4,56

Среднегодовое многолетнее значение общей жёсткости воды р. Малка в нижнем течении составило – 5,39 °Ж, р. Баксан в устье – 4,56 °Ж что соответствует воде средней жёсткости.

Для выявления тенденций в изменении значений общей жесткости использован линейный тренд. Анализ динамики среднегодовых многолетних значений общей жесткости (рисунок 59) показывает, что имеется тенденция к росту значений общей жесткости воды во всех четырёх пунктах отбора проб.

Такая тенденция подтверждается результатами ретроспективного анализа. Из литературных справочных данных о химическом составе воды р. Малка (пункт взятия проб станица Прохладная) [4], известно, что в начале 40-х годов XX века среднегодовое значение жесткости составляло 4,47 мг-экв/л, что соответствует 4,47 °Ж.

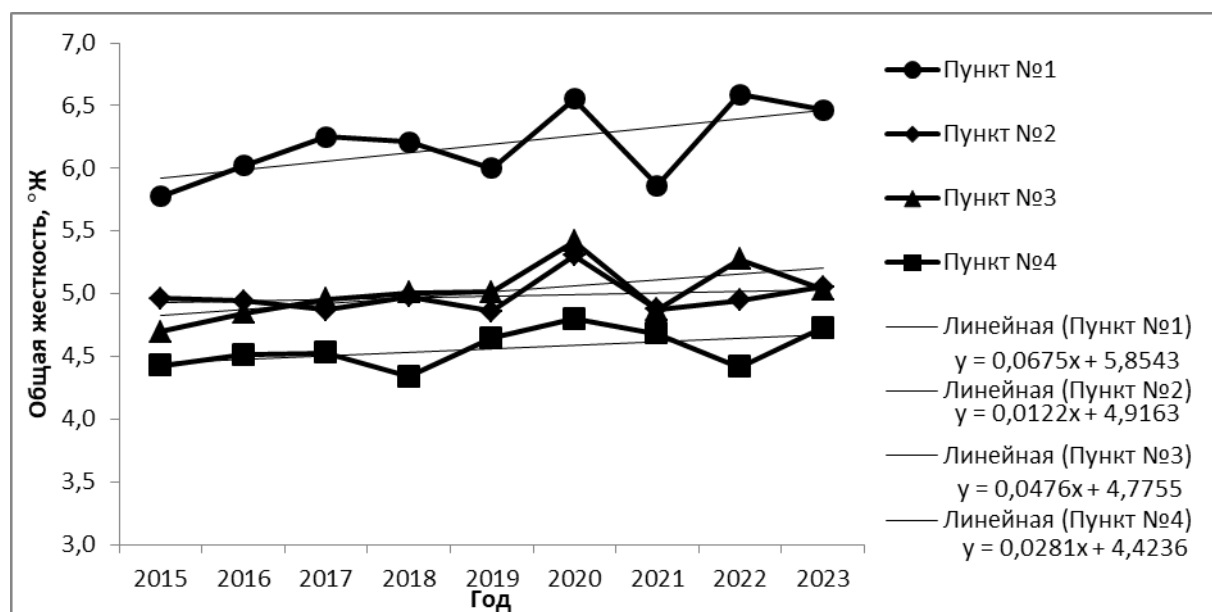


Рисунок 59 – Динамика среднегодовых значений общей жесткости воды в пунктах отбора проб

Сравнивая историческое фоновое значение среднегодовой жесткости с данными полученными нами в современном периоде для пункта отбора проб №2 – 4,98 °Ж, можно заметить рост, который в может быть связан с влиянием климатических факторов, ведущих к постепенному уменьшению расходов воды в р. Малка и некоторому увеличению доли более жестких грунтовых вод в структуре питания реки.

6.2.4. Общая минерализация

Минерализация воды – суммарное содержание в воде растворённых минеральных веществ [130]. Минерализация воды (особенно рек) интересна тем, что отражает в основном результат взаимодействия воды с береговыми подстилающими, а также почвообразующими минералами и породами.

По классификации О.А. Алекина пресные речные воды могут иметь очень малую (менее 100), малую (100-200), среднюю (200-500), повышенную (500-1000) и высокую (более 1000 мг/дм³) минерализацию [5].

Минерализация речных вод зависит, в основном, от типа питания реки. Так как река Малка имеет смешанный тип питания, то и её минерализация определяется

такими факторами, как интенсивность таяния снежного покрова, обильностью дождевых осадков, интенсивностью таяния ледников в истоках реки.

В период 2015 - 2023 гг. ежемесячно нами определялась общая минерализация воды (сухой остаток) в четырёх пунктах отбора проб. На основании полученных результатов измерений, нами были рассчитаны значения среднемесячной многолетней общей минерализации воды в пунктах отбора проб за период 2015-2023 гг. (таблица 25, рисунок 60)

Таблица 26 – Среднемесячная многолетняя общая минерализация воды в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднемесячная многолетняя общая минерализация, мг/дм ³											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	469	480	485	458	392	332	311	324	391	458	488	505
2	410	427	419	405	356	296	242	270	336	382	424	436
3	419	445	444	412	368	308	254	275	333	387	425	440
4	372	381	379	373	308	263	216	254	297	355	379	406

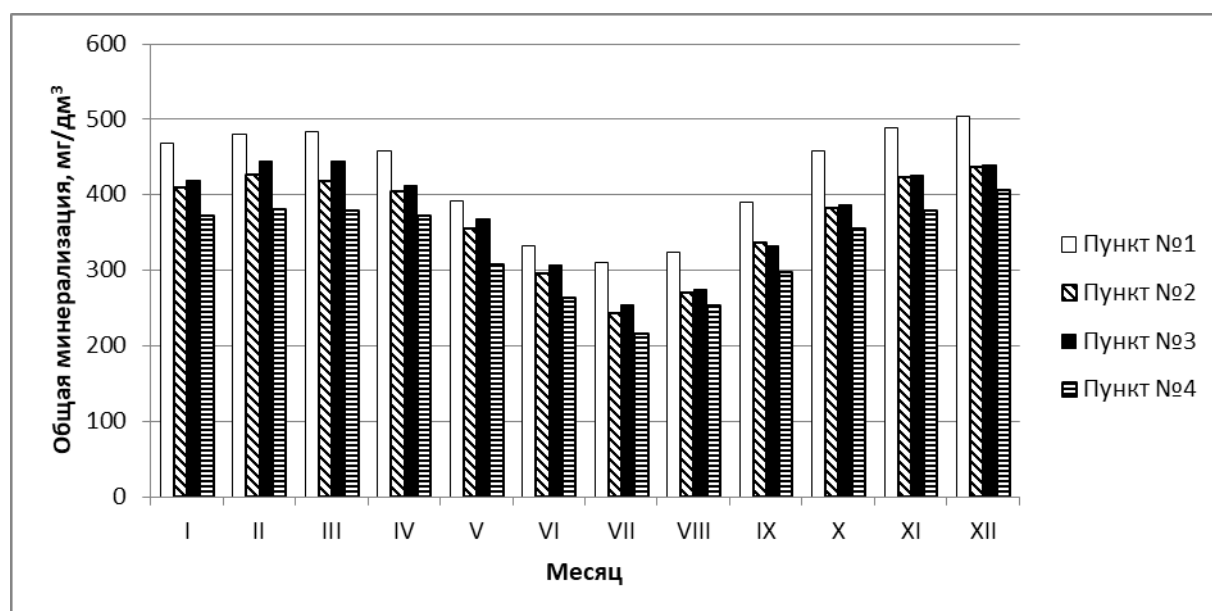


Рисунок 60 – Внутригодовая динамика среднемесячной многолетней общей минерализации воды в пунктах отбора проб

В течение года минерализация исследуемых водных объектов подвергается большим сезонным изменениям. Максимальное количество растворённых минеральных веществ в воде р. Малка в нижнем течении содержится в период, когда питание реки осуществляется грунтовыми водами, и расход воды наименьший: в пунктах отбора № 1, №2 и № 4 в декабре – 505, 436, и 406 мг/дм³ соответственно, в пункте отбора № 3 в феврале – 444 мг/дм³. В этот период вода р. Малка до впадения притока р. Баксан может быть отнесена к водам повышенной минерализации. Наименьшее количество растворённых веществ отмечено во всех пунктах отбора в июле: 311, 242, 254, 216 мг/дм³, соответственно. Значительное падение минерализации связано с поверхностным питанием реки и обильными дождями, обычно выпадающими в этот период. Анализ полученных данных показывает, что минерализация воды по мере приближения к устью несколько снижается. Фактором, приводящим к снижению количества растворённых веществ, является впадение в р. Малка притока р. Баксан, воды которой менее минерализован.

Нами рассчитаны значения среднегодовой многолетней общей минерализации воды в пунктах отбора проб (таблица 27).

Таблица 27 – Среднегодовая многолетняя общая минерализация воды в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднегодовая многолетняя общая минерализация, мг/дм ³									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Средний
1	438	391	397	395	393	446	417	477	466	424
2	366	343	351	350	353	378	366	399	397	367
3	379	354	357	353	354	386	382	398	418	376
4	315	303	309	316	330	341	365	339	369	332

Среднегодовое многолетнее значение минерализации воды р. Малка в нижнем течении составило 389 мг/дм³, р. Баксан в устье 332 мг/дм³, что позволяет

отнести оба объекта по классификации О.А. Алекина [5] к группе рек со средней минерализацией.

Для выявления тенденций в изменении значений общей минерализации использован линейный тренд. Анализ динамики среднегодовых многолетних значений общей минерализации (рисунок 61) показывает, что имеется тенденция к росту значений общей минерализации воды во всех четырёх пунктах отбора проб.

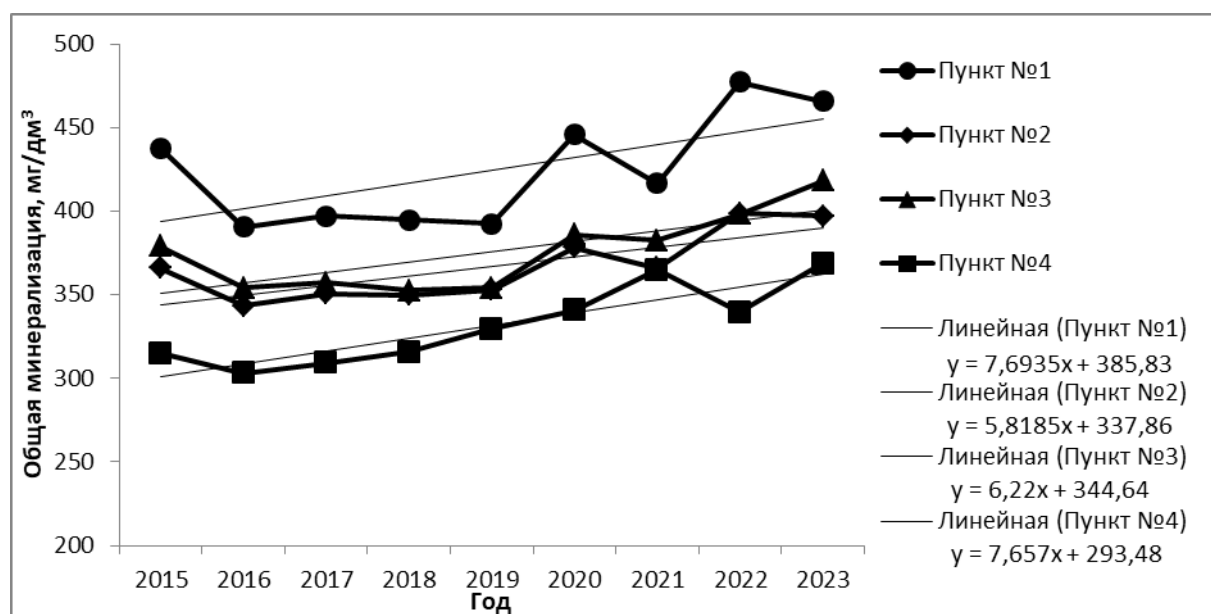


Рисунок 61 – Динамика среднегодовых значений общей минерализации воды в пунктах отбора проб

Такая тенденция подтверждается результатами ретроспективного анализа. Из литературных справочных данных о химическом составе воды р. Малка (пункт взятия проб станица Прохладная) [4], известно, что в начале 40-х годов XX века среднегодовое значение суммы ионов составляло 352 мг/л. Сравнивая историческое фоновое значение минерализации с данными полученными нами в современном периоде для пункта отбора проб №2 – 367 мг/л, можно заметить рост, который может быть связан с постепенным уменьшением расходов воды в р. Малка и повышением интенсивности грунтового питания.

6.2.5. Перманганатная окисляемость

Окисляемость воды – величина, характеризующая содержание в воде органических веществ, окисляемых одним из сильных химических окислителей при определённых условиях. Перманганатная окисляемость характеризует содержание в воде органических и минеральных веществ окисляемых марганцевокислым калием. В среднем 1 мг кислорода перманганатной окисляемости воды приблизительно соответствует 1 мг углерода органических веществ. Перманганатная окисляемость питьевой воды не должна превышать 5 мг[О]/дм³.

В период 2018-2023 гг. ежемесячно нами определялась перманганатная окисляемость воды фильтрованных проб в четырёх пунктах отбора проб. На основании полученных результатов измерений, нами были рассчитаны значения среднемесячной многолетней перманганатной окисляемости воды в пунктах отбора проб за период 2018-2023 гг. (таблица 28, рисунок 62).

Таблица 28 – Среднемесячная многолетняя перманганатная окисляемость воды в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднемесячная многолетняя перманганатная окисляемость, мг[О]/дм ³											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2,01	2,48	2,00	1,41	2,51	4,25	4,67	3,11	2,87	3,21	1,84	2,17
2	1,89	2,16	1,80	1,59	2,80	2,99	5,07	3,83	2,43	3,12	1,68	2,09
3	1,84	2,08	1,92	1,71	2,80	3,45	4,92	3,80	2,48	3,08	1,79	1,99
4	1,53	1,44	1,65	1,33	2,71	2,41	5,07	3,97	2,23	2,92	1,48	2,15

Минимальные среднемесячные многолетние значения перманганатной окисляемости воды отмечаются в апреле и составили в 1,41, 1,59, 1,71 и 1,33 мг[О]/дм³. В апреле начинается подъем уровня рек Малка и Баксан, обусловленный началом таяния ледников и снежного покрова в верховьях рек, что, вероятно, приводит к снижению концентрации органических веществ, а для развития микроорганизмов продуцирующих такие вещества, вода ещё не успевает достаточно прогреться. Максимальные значения перманганатной окисляемости

отмечаются во всех четырёх пунктах июле 4,67, 5,07, 4,92 и 5,07 мг[О]/дм³ соответственно. В этот период расход близок к максимальным значениям.

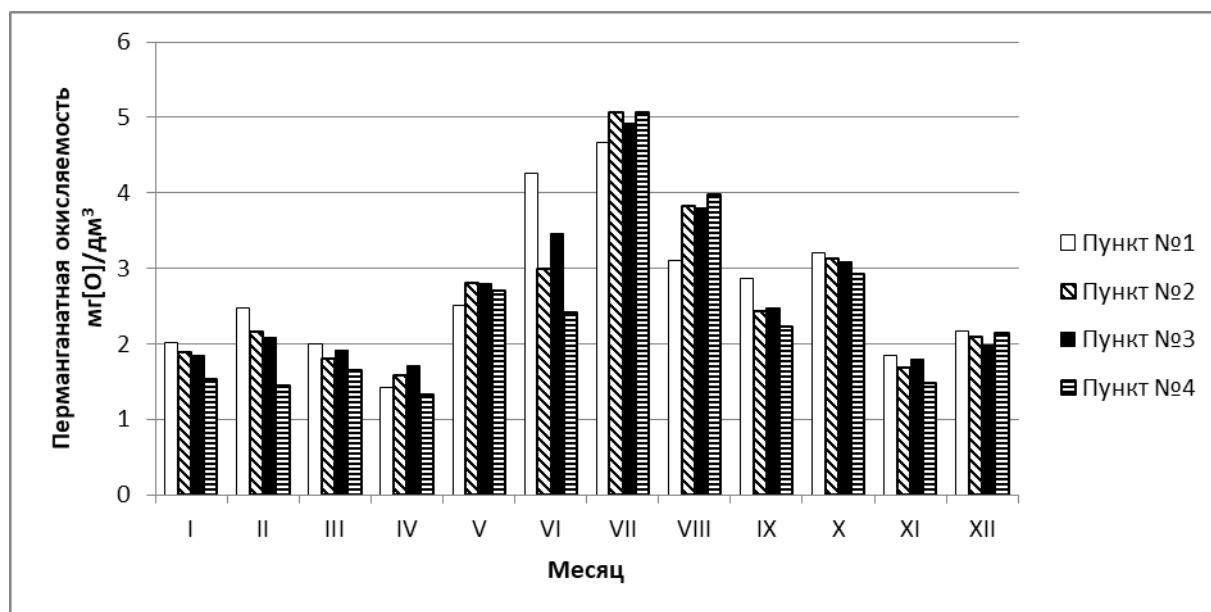


Рисунок 62 – Внутригодовая динамика среднемесячной многолетней перманганатной окисляемости воды в пунктах отбора проб

Нами рассчитаны значения среднегодовой многолетней перманганатной окисляемости воды в пунктах отбора проб (таблица 29)

Среднегодовые значения перманганатной окисляемости воды р. Малка в нижнем течении и р. Баксана в устье не превышают максимальных значений, установленных для питьевой воды.

Таблица 29 – Среднегодовая многолетняя перманганатная окисляемость воды в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднегодовая многолетняя перманганатная окисляемость, мг [О]/дм ³						
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Средний
1	2,99	2,71	2,18	3,09	2,58	2,72	2,71
2	2,77	2,57	2,39	2,88	2,57	2,54	2,62
3	2,82	2,66	2,33	2,95	2,55	2,61	2,65
4	2,55	2,33	2,07	2,67	2,35	2,48	2,41

Для выявления тенденций в изменении значений перманганатной окисляемости использован линейный тренд. Анализ динамики среднегодовых многолетних значений перманганатной окисляемости (рисунок 63) показывает, что имеется тенденция к уменьшению значений перманганатной окисляемости воды нижнем течении р. Малка и росту этого показателя в устье р. Баксан.

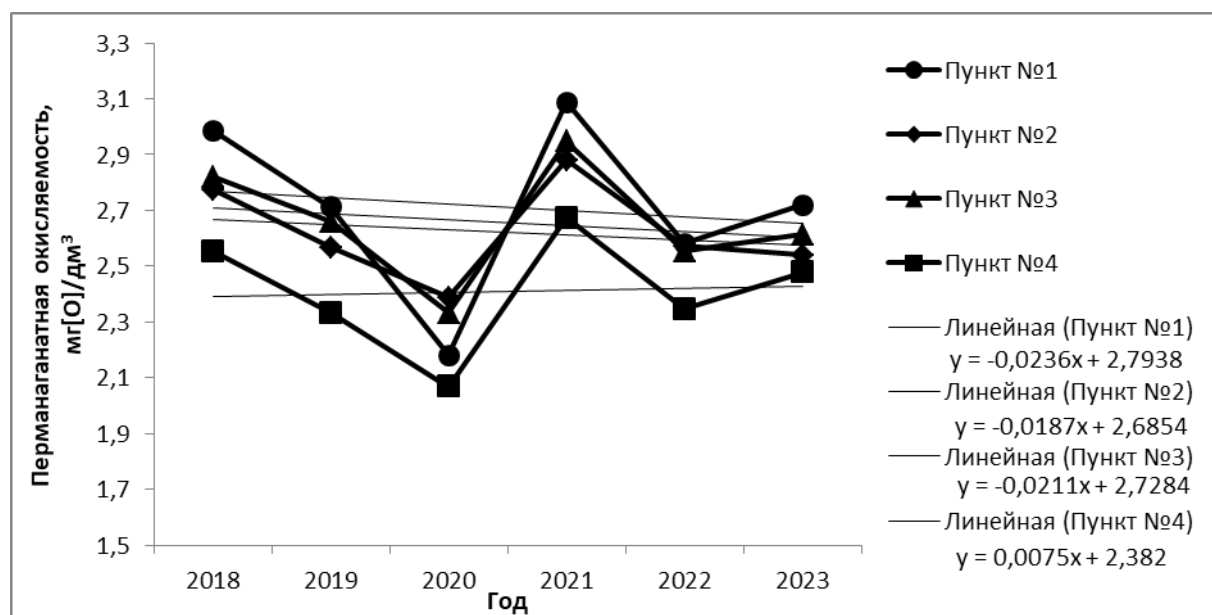


Рисунок 63 – Динамика среднегодовых значений перманганатной окисляемости воды в пунктах отбора проб

Из литературных справочных данных о химическом составе воды р. Малка (пункт взятия проб станица Прохладная) [4], известно, что в начале 40-х годов XX века среднегодовое значение перманганатной окисляемости составляло 2,33 мг[O]/дм³. Сравнивая историческое фоновое значение минерализации с данными полученными нами в современном периоде для пункта отбора проб №2 – 2,62 мг[O]/дм³, можно заметить рост, который в может быть связан с ростом антропогенной нагрузки в современном периоде.

6.3. Пространственно-временная динамика концентраций и стока главных анионов

6.3.1. Карбонаты и гидрокарбонаты

Гидрокарбонатные (HCO_3^-) и карбонатные (CO_3^{2-}) ионы являются важнейшей частью химического состава природных вод. Считается общепризнанным, что источником поступления гидрокарбонатов и карбонатов в поверхностные воды являются природные процессы химического выветривания и растворения карбонатных пород: известняков, доломитов, мергелей, а также карбонатного цемента многих осадочных пород. Концентрация гидрокарбонатов и карбонатов подвержена заметным сезонным изменениям, причем в маломинерализованных водах эти изменения коррелируют с изменением общей минерализации воды. Содержание карбонатов значительно ниже и редко превышает единицы миллиграммов в кубическом дециметре. Количественные соотношения между ними определяются состоянием карбонатно-кальциевой системы и в значительной степени зависят от величины рН. Гидрокарбонаты, будучи производными первой ступени диссоциации угольной кислоты, преобладают в воде в интервале рН 6,0-10,0 (максимальное их содержание отмечается при рН 8,3-8,4). Карбонаты, как продукты второй ступени диссоциации угольной кислоты, появляются при рН > 7 и становятся доминирующей формой производных угольной кислоты при рН > 10,5. Гидрокарбонат- и карбонат-ионы в поверхностных водах существуют преимущественно в растворенном состоянии, хотя при высокой концентрации кальция карбонат-ионы могут образовывать малорастворимый карбонат кальция, присутствующий в воде в виде мелкодисперсных взвешенных частиц. Важнейшими факторами, определяющими режим этих ионов, являются состав и типы вмещающих пород, характер питания водного объекта (снеговое, ледниковое, дождевое), меняющиеся соотношения между поверхностным и подземным стоком [6].

Для расчета содержания карбонат- и гидрокарбонат-ионов в период с 2015 – 2023 гг. ежемесячно нами определялись значения свободной и общей щелочности. Установлено, что свободная щелочность всех анализируемых проб воды была равна нулю, что свидетельствует о том, что в их составе карбонаты отсутствовали или их количество было меньше предела обнаружения используемой нами методики [50]. На основании значений общей щелочности рассчитаны ежемесячные массовые концентрации гидрокарбонатов в воде в четырех пунктах отбора проб. На основании полученных результатов, нами были рассчитаны значения среднемесячной многолетней концентрации гидрокарбонатов в воде в пунктах отбора проб за период 2015-2023 гг. (таблица 30, рисунок 64)

Таблица 30 – Среднемесячная многолетняя концентрация гидрокарбонатов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднемесячная многолетняя концентрация гидрокарбонатов, мг/дм ³											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	212	218	220	208	203	196	170	176	179	201	208	225
2	195	199	199	195	190	176	131	136	152	176	181	193
3	197	201	203	196	190	173	129	136	155	180	183	196
4	183	186	181	182	169	153	116	121	122	154	165	184

За весь период наблюдений во всех пунктах отбора проб, максимальные концентрации гидрокарбонат ионов отмечались в январе и апреле в 5,5% случаев, в феврале – 11,1%, в марте – 25%, в мае – 16,7%, в июне - 2,8%, и в декабре – 33,3%. Минимальные значения концентраций ионов HCO_3^- отмечались в июне в 8,3% случаев, в июле - 44,4%, в августе – 22,2%, и в сентябре – 25,0%.

Наибольшие концентрации гидрокарбонатных ионов зафиксированы в период межени, что, объясняется невысоким расходом воды и грунтовым питанием рек Малка и Баксан. Минимальные концентрации отмечаются в период половодья.

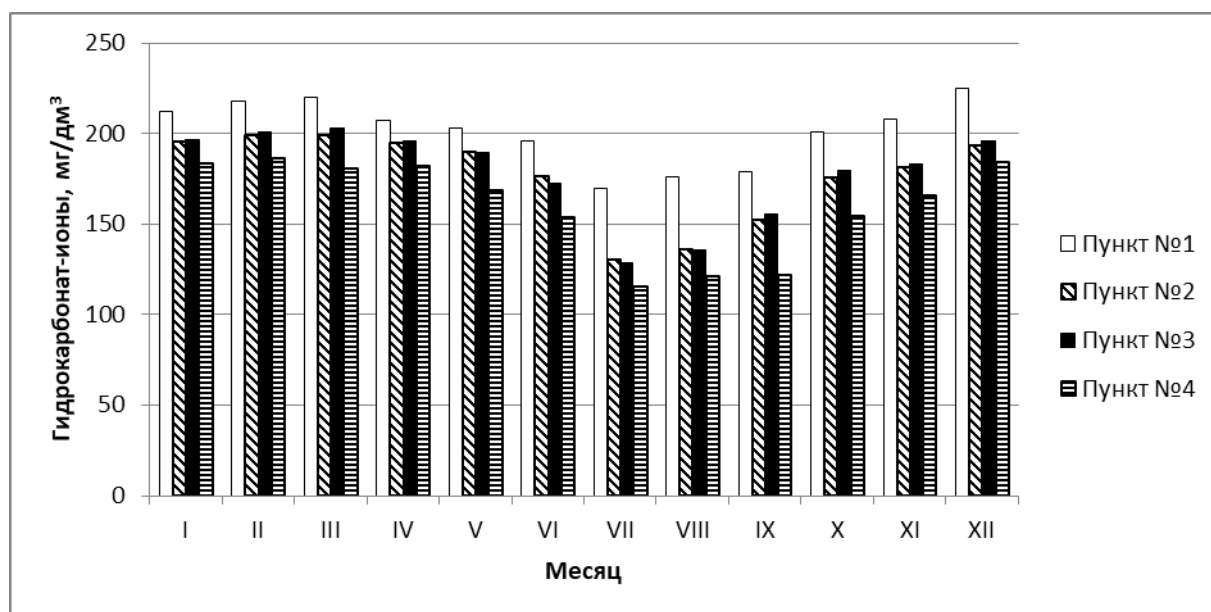


Рисунок 64 – Внутригодовая динамика среднемесячной многолетней концентрации карбонат-ионов в воде в пунктах отбора проб

По результатам многолетних наблюдений максимум концентрации ионов HCO_3^- в пункте отбора № 1 наблюдается в декабре 225 мг/дм^3 , в пунктах отбора № 2 и №3 – в марте 199 и 203 мг/дм^3 соответственно, в пункте отбора №4 – в феврале 186 мг/дм^3 . Минимальное содержание гидрокарбонатов во всех четырёх пунктах отбора отмечается в июле – 170 , 131 , 129 и 116 мг/дм^3 соответственно.

Следует отметить, что концентрация ионов HCO_3^- по мере приближения к устью, после впадения притока р. Баксан уменьшается. Наибольшей разность концентраций гидрокарбонатов в пунктах отбора до и после впадения притока реки Баксан была в период половодья в июле и августе. В период межени содержание карбонатов в воде в пунктах отбора №1, №2 и №3 достаточно близко по значению. Такая динамика изменения концентраций гидрокарбонатов обусловлена влиянием притока – р. Баксан. В период летнего половодья концентрация гидрокарбонатов в реке Баксан значительно ниже, чем в р. Малка до впадения притока, что приводит к тому, что содержание растворимых солей угольной кислоты уменьшается в нижнем течении р. Малка. В период межени, когда в питании и р. Малка и р. Баксан преобладает грунтовая составляющая, разность концентраций гидрокарбонатов в

пунктах отбора №1 и №2 была не большой, что говорит о том, содержание этих веществ в обеих реках близко по значению.

Нами рассчитаны значения среднегодовой и средней многолетней концентрации гидрокарбонат-ионов в воде в пунктах отбора проб (таблица 31).

Таблица 31 – Концентрация гидрокарбонат-ионов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднегодовая концентрация гидрокарбонат-ионов, мг/дм ³									Средняя много-летняя
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1	190	198	200	196	197	220	189	211	211	201
2	171	174	173	173	178	193	169	181	181	177
3	173	172	176	174	176	189	172	188	183	178
4	157	160	159	151	163	170	156	158	165	160

Среднегодовая многолетняя концентрация гидрокарбонатов в воде р. Малка в нижнем течении составила 185 мг/дм³, р. Баксан в устье 160 мг/дм³.

Для выявления тенденций в изменении значений концентрации гидрокарбонат-ионов использован линейный тренд. Анализ динамики среднегодовых значений концентрации гидрокарбонатов (рисунок 65) показывает, что имеется тенденция к росту значений концентрации ионов HCO_3^- в воде во всех четырёх пунктах отбора проб.

Естественные и антропогенные механизмы формирования водного стока и химического состава воды рек отражает изменчивость ионного стока. Изучение сезонной и межгодовой изменчивости химического стока дает интегральное представление о роли хозяйственной деятельности на водосборной территории [93].

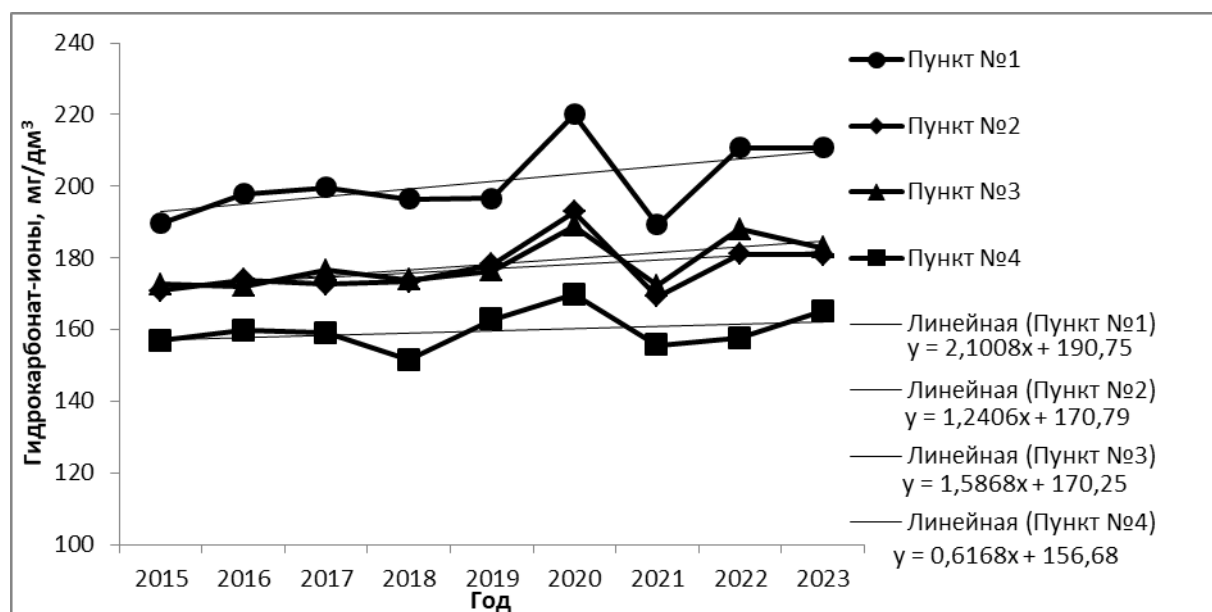


Рисунок 65 – Динамика среднегодовых значений концентрации гидрокарбонат-ионов

На основе данных о ежемесячных концентрациях и среднемесечных расходах воды нами рассчитан ежемесячный объём стока гидрокарбонат-ионов в пунктах отбора проб за период 2015-2023 гг. (Приложение, таблица П.1). На основании полученных результатов, нами были рассчитаны среднемесечные многолетние объёмы ионного стока гидрокарбонатов в пунктах отбора проб за период 2015-2023 гг. (таблица 32).

Таблица 32 – Среднемесечный многолетний объём стока гидрокарбонатов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднемесечный объём стока гидрокарбонат-ионов, тыс.т/мес											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	4,6	4,0	5,2	6,8	11,7	14,5	11,6	10,1	8,3	7,0	5,4	5,3
2	24,8	21,8	25,9	27,1	46,5	87,9	82,5	77,1	47,7	32,3	27,4	27,3
3	25,0	22,0	26,4	27,2	46,6	86,1	81,5	77,0	48,5	33,2	27,7	27,7
4	19,3	17,0	19,3	19,3	31,7	65,3	65,4	61,5	32,5	22,8	20,7	21,7

Сезонное распределение объемов стока гидрокарбонат-ионов в воде исследуемых объектов соответствует изменению их водности в основные сезоны года (таблица 33, рисунок 66). С одной стороны, это подтверждает, что основной вклад в изменчивость ионного стока вносят водность и содержание веществ в речной воде, а с другой – показывает отсутствие значимого негативного воздействия в нижнем течении рек Малка и Баксан.

Таблица 33 – Сезонное распределение объёма ионного стока гидрокарбонатов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Зима		Весна		Лето		Осень	
	тыс.т/сезон	%	тыс.т/сезон	%	тыс.т/сезон	%	тыс.т/сезон	%
1	13,9	14,8	23,6	25,0	36,2	38,3	20,7	21,9
2	74,0	14,0	99,4	18,8	247,5	46,8	107,4	20,3
3	74,6	14,1	100,2	19,0	244,6	46,3	109,4	20,7
4	58,0	14,6	70,3	17,7	192,2	48,5	76,0	19,2

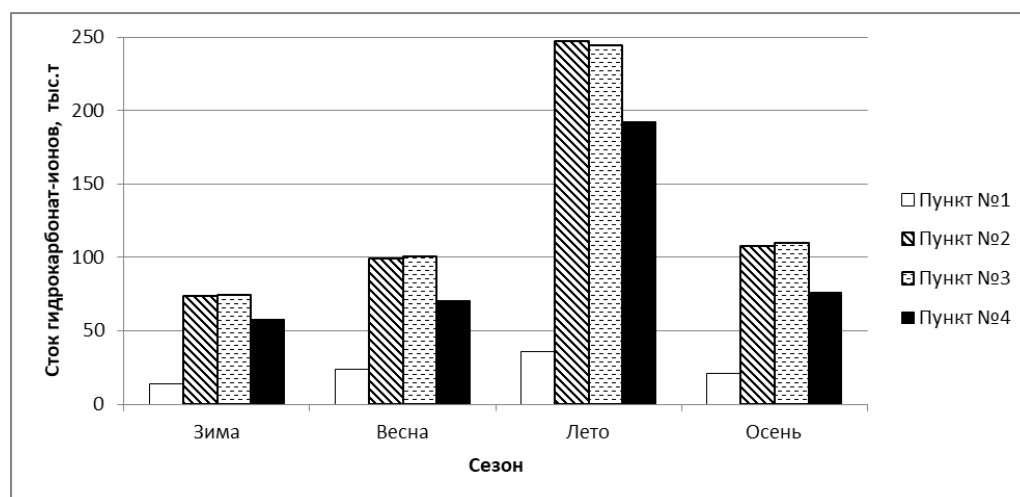


Рисунок 66 – Сезонная изменчивость объёма стока гидрокарбонатов в пунктах отбора проб

Наименьший объём ионного стока гидрокарбонатов приходится на зимний период и составляет для всех исследуемых объектов около 14%. Максимум приходится на летний период. Летом р. Малка до впадения притока р. Баксан (пункт №1) выносит около 38% годового объёма гидрокарбонатов. Доля годового стока

растворимых солей угольной кислоты для р. Баксан (пункт №4) в летний период выше и составляет примерно 48%. Сказываются различия во вкладах составляющих, которые формируют тип питания рек. В устьевой части после слияния р. Малка с притоком, р. Баксан (пункты №2 и №3), доля гидрокарбонат-ионов, выносимых рекой в летний период, составляет примерно 46%.

На основе данных о среднегодовых концентрациях гидрокарбонат-ионов в воде р. Малка и р. Баксан а также значений стока воды выполнен расчет стока гидрокарбонат-ионов (таблица 34).

Таблица 34 – Объём стока гидрокарбонат-ионов в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Объём стока гидрокарбонат-ионов, тыс.т/год									Средний много-летний
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1	87,6	86,7	101,5	96,1	92,1	104,1	82,8	93,7	105,1	94,4
2	502,1	543,3	492,7	544,4	567,2	524,3	516,0	518,1	546,4	528,3
3	507,4	537,7	501,4	546,3	559,9	509,8	519,1	526,1	552,5	528,9
4	384,2	423,3	370,4	404,9	431,5	378,9	399,1	368,8	407,9	396,5

Установлено, что в среднем в год р. Малка до впадения притока р. Баксан выносит 99,4 тыс. т гидрокарбонатов в год, после впадения притока р. Баксан 528,3 тыс. т, а перед впадением в р. Терек около 528,9 тыс. т гидрокарбонатов в год, т.е. на участке в нижнем течении объём стока растворимых солей угольной кислоты возрастает в 5,3 раза. Такой значительный рост объёмов стока обусловлен тем, что приток р. Баксан выносит около 396,5 тыс. т гидрокарбонатов в год. Анализ полученных данных показывает что вклад реки Малка до впадения притока р. Баксан в общий объём стока гидрокарбонат-ионов составляет примерно 18%, приток р. Баксан вносит около 75% общего объёма карбонатов, выносимых р. Малка.

Во временной изменчивости объёмов химического стока гидрокарбонат-ионов отмечается его высокая зависимость от водного стока (рисунок 67). Характер изменения значений ионного стока гидрокарбонатов практически совпадает с характером изменений водного стока.

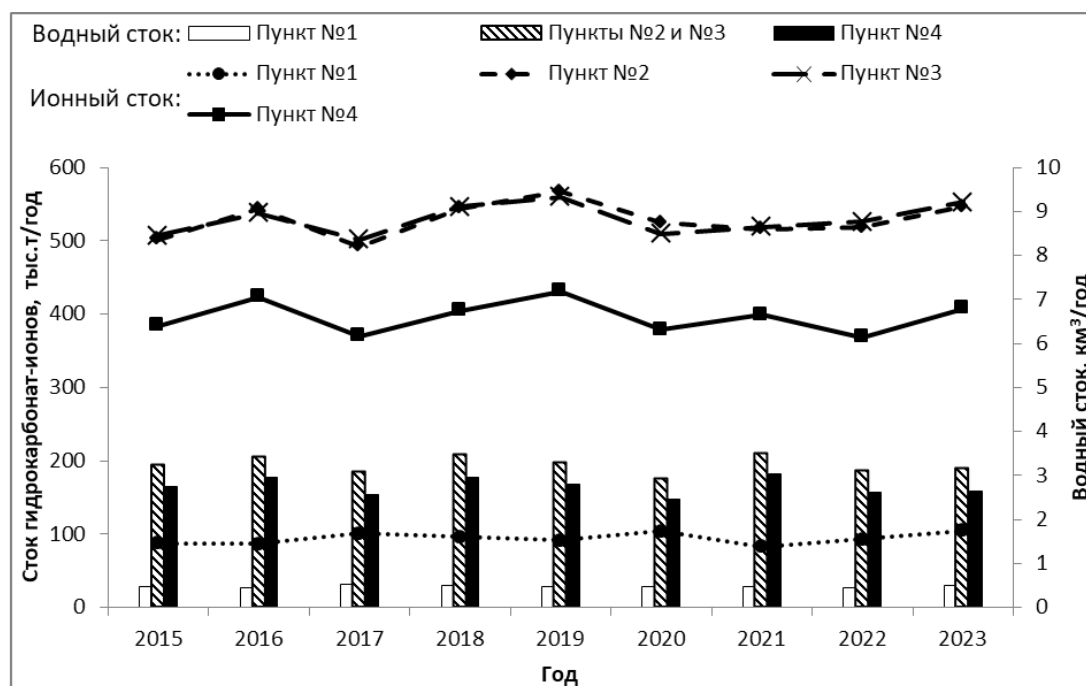


Рисунок 67 – Временная изменчивость водного стока и среднегодовых значений объемов стока гидрокарбонат-ионов в пунктах отбора проб

Для выявления нарушенности ионного стока в современном периоде было рассчитано среднее значение ионного стока карбонат-ионов в современном условно-фоновом периоде и в текущем периоде (таблица 35)

Таблица 35 – Объём и нарушенность стока гидрокарбонат-ионов в современном периоде

Пункт отбора	Среднегодовой объём стока гидрокарбонат-ионов, тыс.т/год		Нарушенность ионного стока, %
	Условно-фоновый период 2015-2019 гг.	Текущий период 2020-2023 гг.	
1	92,8	96,4	3,9
2	529,9	526,2	-0,7
3	530,5	526,9	-0,7
4	402,9	388,7	-3,5

Как видно из полученных данных нарушенность стока имеет как положительные, так и отрицательные значения. Относительные значения нарушенности стока очень низкие. Отмечается прирост на 3,9% стока гидрокарбонатов в р. Малка до впадения р. Баксан (пункт №1) и небольшое

уменьшение на 0,7% в нижнем течении р. Малка после впадения притока р. Баксан (пункт №2) и перед впадением в р. Терек (пункт №3), которое обусловлено уменьшением содержания растворимых солей угольной кислоты в р. Баксан (пункт № 4) на 3,5%.

Для проведения ретроспективного анализа нарушенности стока гидрокарбонатов в современном периоде по сравнению с историческим фоновым периодом, на основании литературных справочных данных о химическом составе воды р. Малка (пункт взятия проб станица Прохладная) [4] нами рассчитана среднегодовая концентрация гидрокарбонат-ионов в начале 40-х годов XX века, которая составила 172 мг/л. Используя литературные справочные данные о многолетних среднегодовых модулях стока р. Малка (место наблюдений станица Прохладная) [157] нами был рассчитан средний суточный расход воды р. Малка, соответствующий историческому фоновому периоду, который составил 109 984 л/с или 110 м³/с. Применяя полученные значения концентраций и расходов нами рассчитан сток гидрокарбонат-ионов в историческом фоновом периоде, который составил 555,42 тыс. т/год. Полученные значения сравнимы с данными полученными нами в современном периоде для пункта отбора проб №2. Расчет нарушенности стока показал, что в современном периоде, по сравнению с историческим фоновым периодом, более чем за 80 лет, сток гидрокарбонат-ионов не претерпел значительных изменений и стал меньше на 4,9%, что сопоставимо с погрешностью методов оценки концентраций. Это указывает на преимущественно природный (естественный) характер формирования ионного стока гидрокарбонатов и отсутствие значимого антропогенного воздействия на него, и подтверждает обоснованность выбора в качестве реперной точки величины стока гидрокарбонат-ионов, при расчётах антропогенной составляющей ионного стока других главных ионов и биогенных веществ.

Для пространственного сопоставления сезонных и среднегодовых значений объёмов ионного стока в пунктах отбора проб нами рассчитана относительная величина – модуль ионного стока, показывающая объём ионного стока с единицы площади водосбора (таблица 36).

Таблица 36 – Сезонное распределение модуля ионного стока гидрокарбонатов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Зима		Весна		Лето		Осень		Год
	тыс.т/сезон · км ²	%	тыс.т/сезон · км ²	%	тыс.т/сезон · км ²	%	тыс.т/сезон · км ²	%	
1	4,6	14,7	7,8	24,9	12,0	38,3	6,9	22,0	31,3
2	7,5	14,0	10,1	18,8	25,2	46,8	10,9	20,3	53,8
3	7,5	14,1	10,0	18,9	24,5	46,2	10,9	20,7	52,9
4	8,5	14,6	10,3	17,7	28,3	48,5	11,2	19,2	58,3

Расчет показывает, что минимальное количество гидрокарбонатов выносится реками Малка и Баксан в зимний период – около 14%. Максимум приходится на летний период: Малка без притока Баксан летом выносит около 38% годового количества гидрокарбонатов, Баксан – около 48%, Малка после слияния с Баксаном – около 46%.

Для визуализации территориальной дифференциации и сезонной изменчивости модуля стока гидрокарбонат-ионов в нижнем течении р. Малка построена соответствующая тематическая карта (рисунок 68).

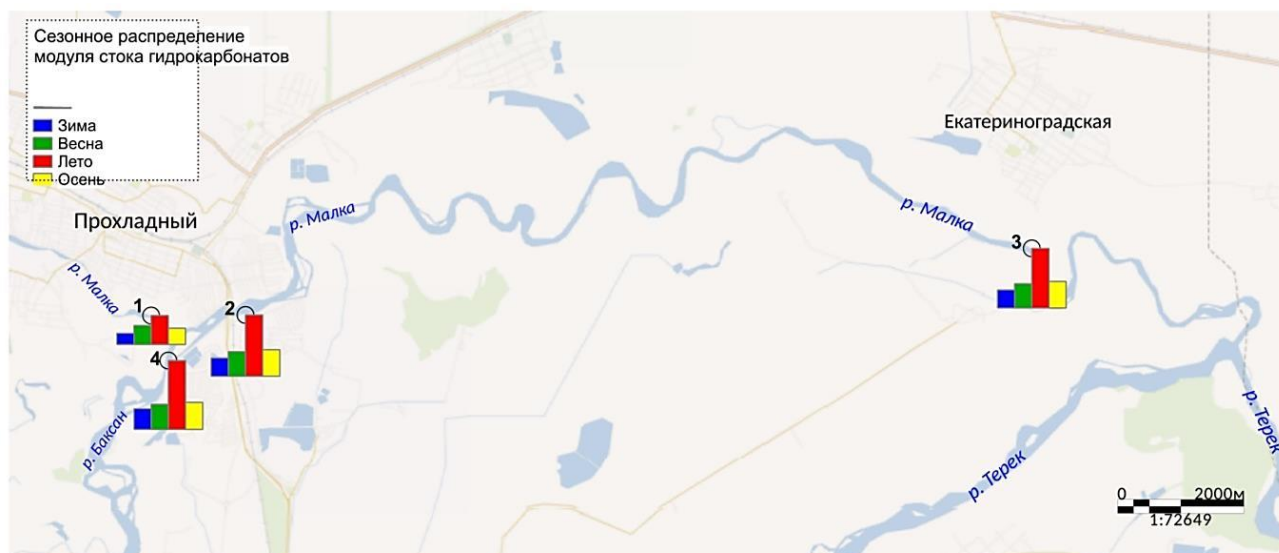


Рисунок 68 – Сезонная изменчивость модуля стока гидрокарбонатов в пунктах отбора проб

6.3.2. Сульфаты

Сульфатный ион (SO_4^{2-}) является одним из главных анионов и присутствует в химическом составе практически всех природных вод. В маломинерализованных водах сульфаты находятся преимущественно в ионной форме. При увеличении минерализации они склонны к образованию ассоциированных нейтральных ионных пар типа CaSO_4 , MgSO_4 [130].

В поверхностные воды сульфаты поступают главным образом за счёт процессов химического выветривания и растворения серосодержащих минералов, в основном, гипса и ангидрита, а также окисления сульфидных минералов и серы. Значительные количества сульфатов поступают в водные объекты в процессе отмирания организмов и окисления веществ растительного и животного происхождения, а также со сточными водами промышленных предприятий коммунально-бытового хозяйства и сельскохозяйственного производства.

Содержание сульфатов в природных водах ограничивается сравнительно малой растворимостью сульфата кальция. Внутригодовые изменения концентрации сульфатов в поверхностных водах суши в естественных условиях обычно коррелируют с изменениями минерализации и связаны, в основном, с особенностями гидрологического режима водного объекта и внутригодовой сменой соотношений в нём поверхностного и подземного стока [130].

Повышенное содержание сульфатов ухудшает органолептические свойства воды. ПДК сульфатов для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляет 500 мг/дм^3 , рыбохозяйственного назначения – 100 мг/дм^3 .

В период с 2015 – 2023 гг. ежемесячно нами определялись концентрации сульфатов в воде из четырёх пунктов отбора проб. На основании полученных результатов, нами были рассчитаны значения среднемесячной многолетней концентрации сульфатов в воде в пунктах отбора проб за период 2015-2023 гг. (таблица 37, рисунок 69)

Таблица 37 – Среднемесячная многолетняя концентрация сульфатов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднемесячная многолетняя концентрация сульфатов, мг/дм ³											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	205	204	196	136	121	95	93	110	133	214	258	312
2	157	155	136	116	99	73	71	93	121	182	222	289
3	151	154	143	113	98	73	67	89	119	196	224	288
4	122	118	109	101	83	63	53	77	111	156	203	259

За весь период наблюдений во всех пунктах отбора проб, максимальные концентрации сульфатов отмечались в декабре. Минимальные значения концентраций ионов SO_4^{2-} отмечались в июне в 36,1% случаев, в июле – 61,1% и в августе 2,8%.

Наибольшие концентрации сульфатов зафиксированы в период зимней межени, что, объясняется невысоким расходом воды и грунтовым питанием рек Малка и Баксан. Наименьшие концентрации отмечаются в период половодья.

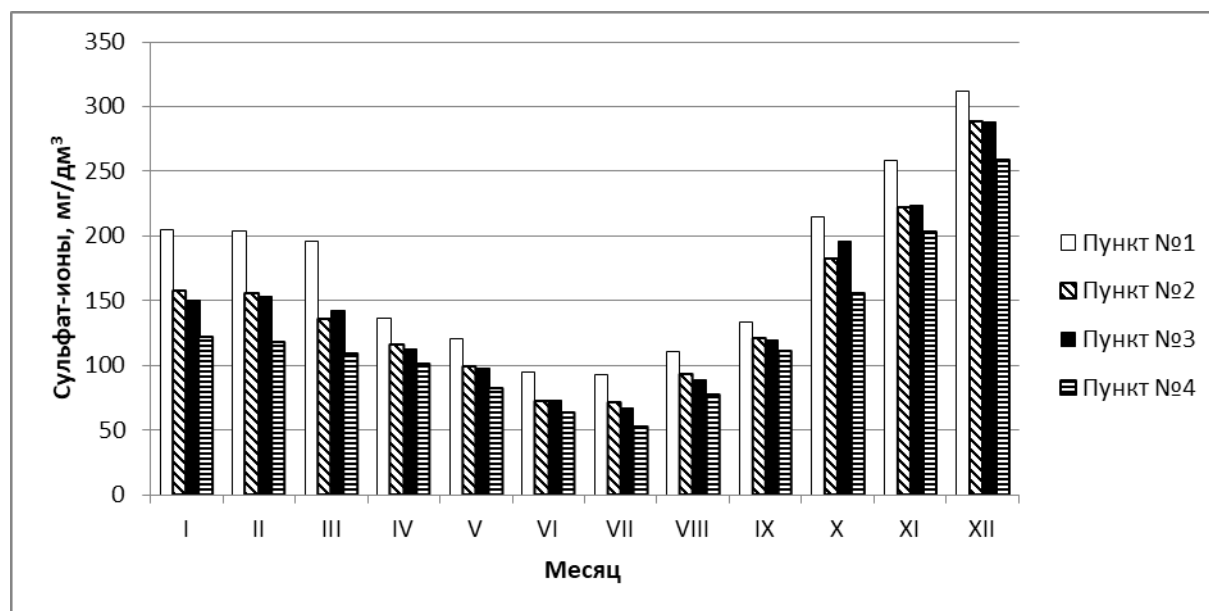


Рисунок 69 – Внутригодовая динамика среднемесячной многолетней концентрации сульфат-ионов в воде в пунктах отбора проб

По результатам многолетних наблюдений максимум концентрации ионов SO_4^{2-} во всех пунктах отбора наблюдается в декабре 312, 289, 288 и 259 мг/дм³ соответственно. Минимальное содержание сульфатов во всех четырёх пунктах отбора отмечается в июле – 93, 71, 57 и 67 мг/дм³ соответственно.

Следует отметить, что концентрация сульфатов по мере приближения к месту впадения р. Малка в р. Терек, уменьшается. В течение всего периода наблюдений концентрация сульфатов в р. Малка (пункт №1) была примерно в 1,4 раза больше, чем в р. Баксан (пункт №4). Разбавляющий эффект Баксана приводит к снижению концентрации сульфатов по мере приближения к месту впадения р. Малка в р. Терек в 1,2 раза. Наибольшей разность концентраций до и после впадения притока реки Баксан была в период половодья, в период зимней межени концентрация сульфатов вниз по течению менялась незначительно.

Нами рассчитаны значения среднегодовой и средней многолетней концентрации сульфат-ионов в воде в пунктах отбора проб (таблица 38)

Таблица 38 – Среднегодовая и средняя многолетняя концентрации сульфат-ионов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднегодовая концентрация сульфат-ионов, мг/дм ³									Средняя много-летняя
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1	172	164	163	161	164	194	177	188	175	173
2	137	137	140	138	135	160	145	149	145	143
3	136	136	140	138	135	159	144	150	145	143
4	112	118	119	113	115	132	127	121	135	121

Среднегодовая многолетняя концентрация сульфатов в воде р. Малка в нижнем течении составила 153 мг/дм³, р. Баксан в устье 121 мг/дм³.

Для выявления тенденций в изменении значений концентрации сульфат-ионов использован линейный тренд. Анализ динамики среднегодовых значений концентрации сульфатов (рисунок 70) показывает, что имеется тенденция к увеличению среднегодовых концентрации сульфатов как в р. Малка, так и в р. Баксан.

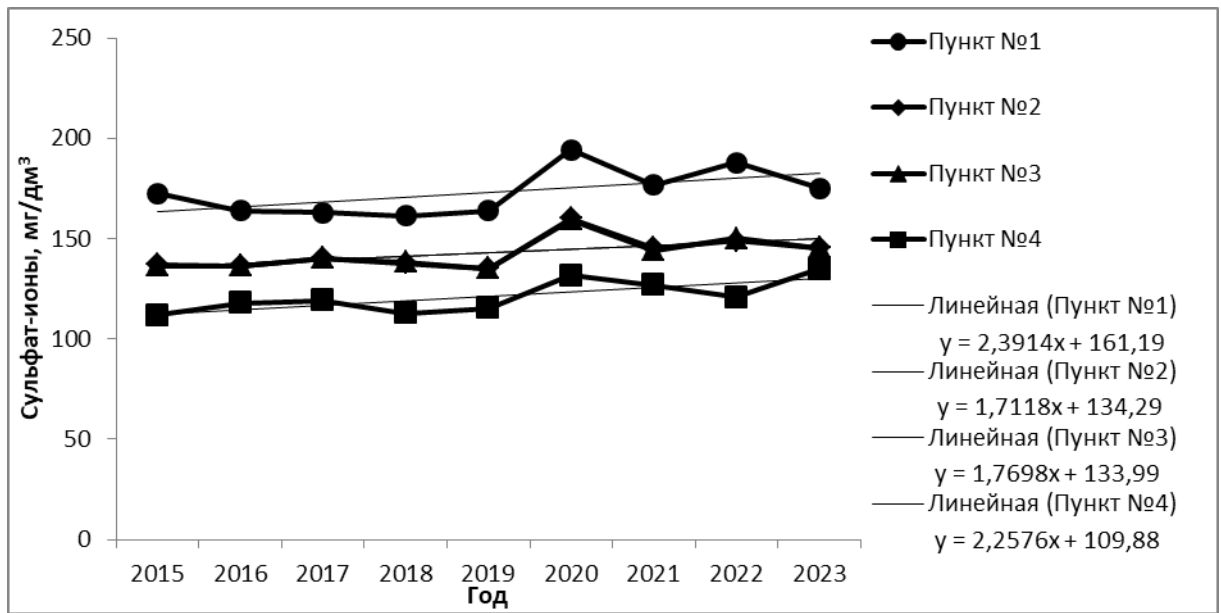


Рисунок 70 - Динамика среднегодовых значений концентрации сульфат-ионов

На основе данных о ежемесячных концентрациях сульфат-ионов и среднемесячных расходах воды нами рассчитан ежемесячный объём стока сульфатов в пунктах отбора проб за период 2015-2023 гг. (Приложение, таблица П.2). На основании полученных результатов, нами были рассчитаны среднемесячные многолетние объёмы ионного стока сульфатов в пунктах отбора проб за период 2015-2023 гг. (таблица 39).

Таблица 39 – Среднемесячный многолетний объём стока сульфатов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднемесячный объём стока сульфат-ионов, тыс.т/мес											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	4,5	3,8	4,6	4,4	7,0	7,0	6,3	6,3	6,1	7,5	6,7	7,3
2	19,9	17,0	17,7	16,0	23,9	36,3	45,0	52,5	37,6	33,2	33,4	40,8
3	19,1	16,8	18,5	15,6	23,8	36,4	42,4	50,2	37,0	35,6	33,7	40,7
4	12,8	10,7	11,5	10,7	15,4	27,1	29,6	39,1	29,4	22,8	25,3	30,5

Сезонное распределение объемов стока сульфат-ионов в воде исследуемых объектов соответствует изменению их водности и типа питания в основные сезоны года (таблица 40, рисунок 71). Превышение объёма зимнего стока над объёмом весеннего стока сульфатов связано с тем, что в зимний период как для р. Малка, так и для р. Баксан свойственно питание подземными водами, в которых в течение всего года сохраняется высокая концентрация сульфатов.

Таблица 40 - Сезонное распределение объёма ионного стока сульфатов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Зима		Весна		Лето		Осень	
	тыс.т/сезон	%	тыс.т/сезон	%	тыс.т/сезон	%	тыс.т/сезон	%
1	15,5	21,7	16,0	22,3	19,7	27,5	20,3	28,4
2	77,7	20,8	57,5	15,4	133,8	35,8	104,2	27,9
3	76,6	20,7	58,0	15,7	129,1	34,9	106,3	28,7
4	54,0	20,4	37,6	14,2	95,8	36,2	77,5	29,3

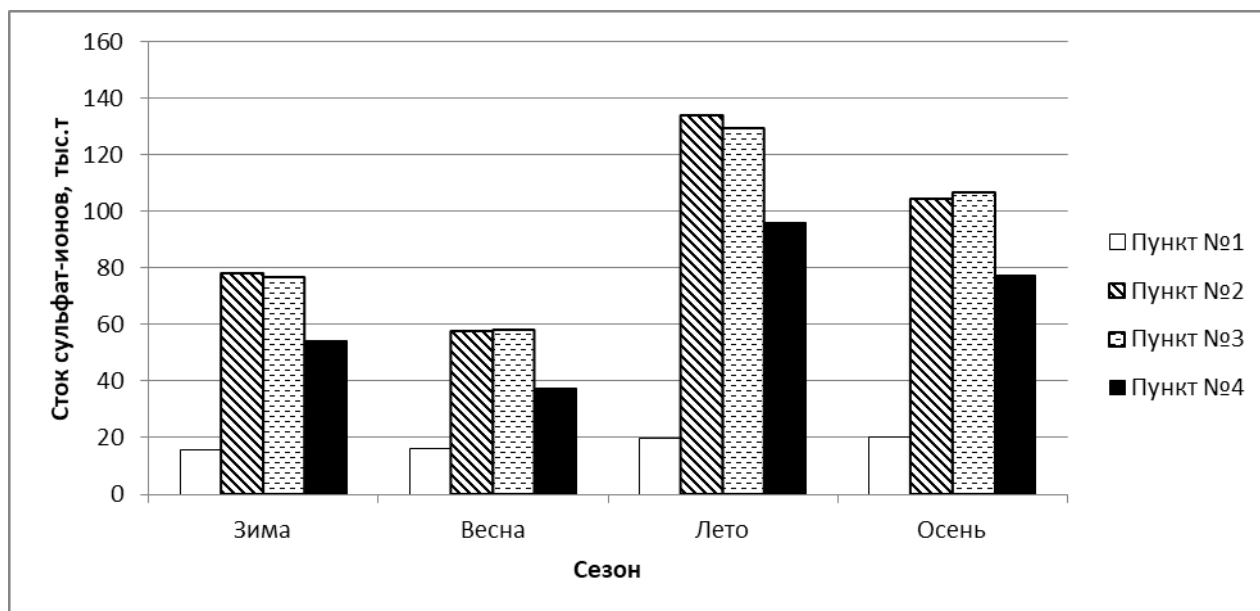


Рисунок 71 – Сезонная изменчивость объёма стока сульфатов в пунктах отбора проб

Наименьший объём ионного стока сульфатов приходится на весенний период и составляет от 14 до 22 % общего годового объёма. Максимум для всех

исследуемых объектов приходится на летний период и составляет от 27 до 36% общего объёма годового стока сульфатов.

На основе данных о среднегодовых концентрациях сульфат-ионов в воде рек Малка и Баксан, а также значений стока воды выполнен расчет среднегодовых и среднемноголетних стоков сульфат-ионов (таблица 41).

Таблица 41 - Объём стока сульфат-ионов в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Объём стока сульфат-ионов, тыс.т/год									Средний много- летний
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1	69,0	63,2	74,1	69,0	65,3	81,7	67,5	74,9	78,9	71,5
2	355,1	384,0	361,6	374,9	361,3	385,9	380,0	381,8	374,4	373,2
3	348,7	381,7	357,9	372,7	361,3	380,3	373,5	381,6	371,4	369,9
4	250,1	282,7	251,8	264,4	259,6	250,7	276,4	261,7	287,2	265,0

Установлено, что в среднем в год р. Малка до впадения притока р. Баксан выносит 71,5 тыс. т сульфатов в год, после впадения притока р. Баксан 373,2 тыс. т, а перед впадением в р. Терек 369,9 тыс. т сульфатов в год, т.е. на участке в нижнем течении объём стока сульфатов возрастает в 5,2 раза. Такой значительный рост объёмов стока обусловлен тем, что приток р. Баксан выносит около 265 тыс. т сульфатов в год. Анализ полученных данных показывает, что несмотря на то, что массовая концентрация сульфатов в р. Малка до впадения притока р. Баксан почти в 1,5 раза выше, чем в р. Баксан, её вклад в общий объём стока сульфат-ионов составляет около 20%, приток р. Баксан вносит более 70% общего объёма сульфатов, выносимых р. Малка.

Во временной изменчивости объёмов химического стока сульфат-ионов отмечается, прямая зависимость их стока от водного стока (рисунок 72).

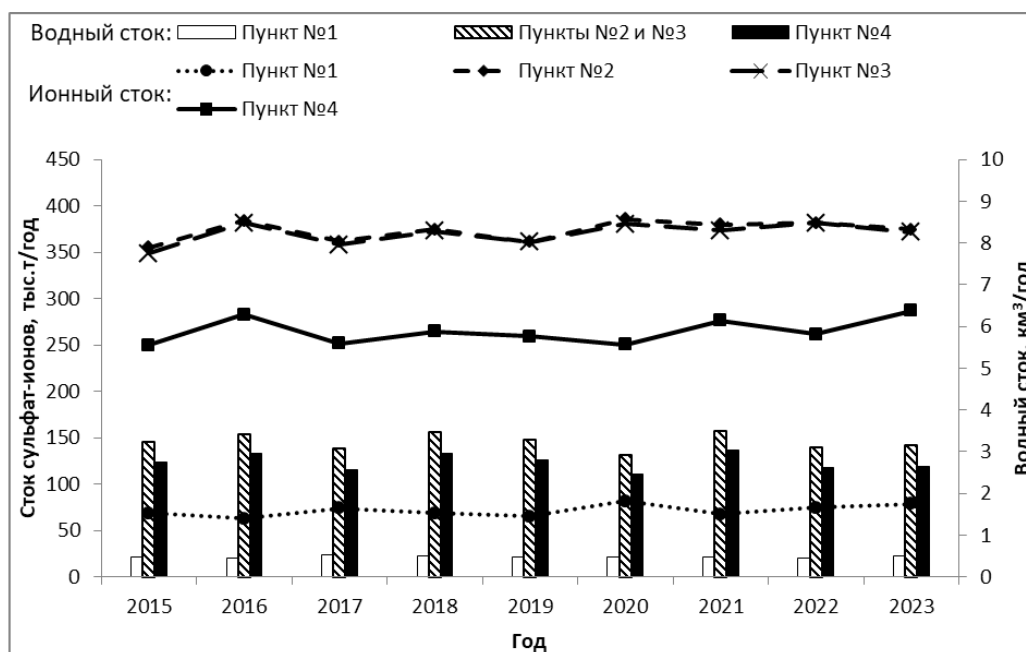


Рисунок 72 – Временная изменчивость водного стока и среднегодовых значений объемов стока сульфат-ионов в пунктах отбора проб

Для выявления нарушенности ионного стока сульфат-ионов в современном периоде было рассчитано среднее значение ионного стока в современном условно-фоновом периоде и в текущем периоде (таблица 42).

Таблица 42 – Объем и нарушенность стока сульфат-ионов в современном периоде

Пункт отбора	Объем стока сульфат-ионов, тыс.т/год		Нарушенность ионного стока, %
	Условно-фоновый период 2015-2019 гг.	Текущий период 2020-2023 гг.	
1	68,1	75,7	11,2
2	367,4	380,5	3,6
3	364,5	376,7	3,4
4	261,7	269,0	2,8

Как видно из полученных данных нарушенность стока сульфат-ионов в современном периоде имеет только положительные значения. Наиболее существенный прирост стока сульфатов на 11,2% отмечается в р. Малка до впадения р. Баксан (пункт №1). Заметен менее интенсивный рост стока сульфатов на 3,6% в нижнем течении р. Малка после впадения притока р. Баксан (пункт №2)

на 3,4% и перед впадением в р. Терек (пункт №3). Сток сульфатов р. Баксан (пункт № 4) имеет тенденцию к увеличению на 2,8%.

Для проведения ретроспективного анализа нарушенности стока сульфатов в современном периоде по сравнению с историческим фоновым периодом, на основании литературных справочных данных о химическом составе воды р. Малка (пункт взятия проб станица Прохладная) [4] нами рассчитана среднегодовая концентрация сульфат-ионов в начале 40-х годов XX века, которая составила 111,2 мг/л. Применяя полученные значения концентраций сульфатов и расходов воды нами рассчитан сток сульфат-ионов в историческом фоновом периоде, который составил 328,81 тыс. т./год. Полученные значения сопоставлялись с данными полученными нами в современном периоде для пункта отбора проб №2. Расчет нарушенности стока показал, что в современном периоде, по сравнению с историческим фоновым периодом, более чем за 80 лет, сток сульфат-ионов увеличился на 13,5%. Расчет показал, что антропогенная составляющая стока сульфат-ионов в современном периоде составляет 60,47 тыс. т/год или 16%, что свидетельствует об интенсивном влиянии антропогенных факторов на рост стока сульфатов.

Для пространственного сопоставления сезонных и среднегодовых значений объёмов ионного стока в пунктах отбора проб нами рассчитана относительная величина – модуль ионного стока, показывающая объём ионного стока с единицы площади водосбора (таблица 43).

Таблица 43 – Сезонное распределение модуля ионного стока сульфатов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Зима		Весна		Лето		Осень		Год
	тыс.т/ сезон · км ²	%	тыс.т/ сезон · км ²	%	тыс.т/ сезон · км ²	%	тыс.т/ сезон · км ²	%	
1	5,1	21,7	5,3	22,3	6,5	27,5	6,7	28,4	23,7
2	7,9	20,8	5,9	15,4	13,6	35,8	10,6	27,9	38,0
3	7,7	20,7	5,8	15,7	12,9	34,9	10,6	28,7	37,0
4	7,9	20,4	5,5	14,2	14,1	36,2	11,4	29,3	39,0

Расчет показывает, что минимальное количество сульфатов выносится реками Малка Баксан в весенний период – около 15%. Максимум приходится на летний период около 35%. В целом среднегодовое значение модуля стока сульфатов р. Баксан в 1,6 раза больше, чем р. Малка без притока.

Для визуализации территориальной дифференциации и сезонной изменчивости модуля стока сульфат-ионов в нижнем течении р. Малка построена соответствующая тематическая карта (рисунок 73).

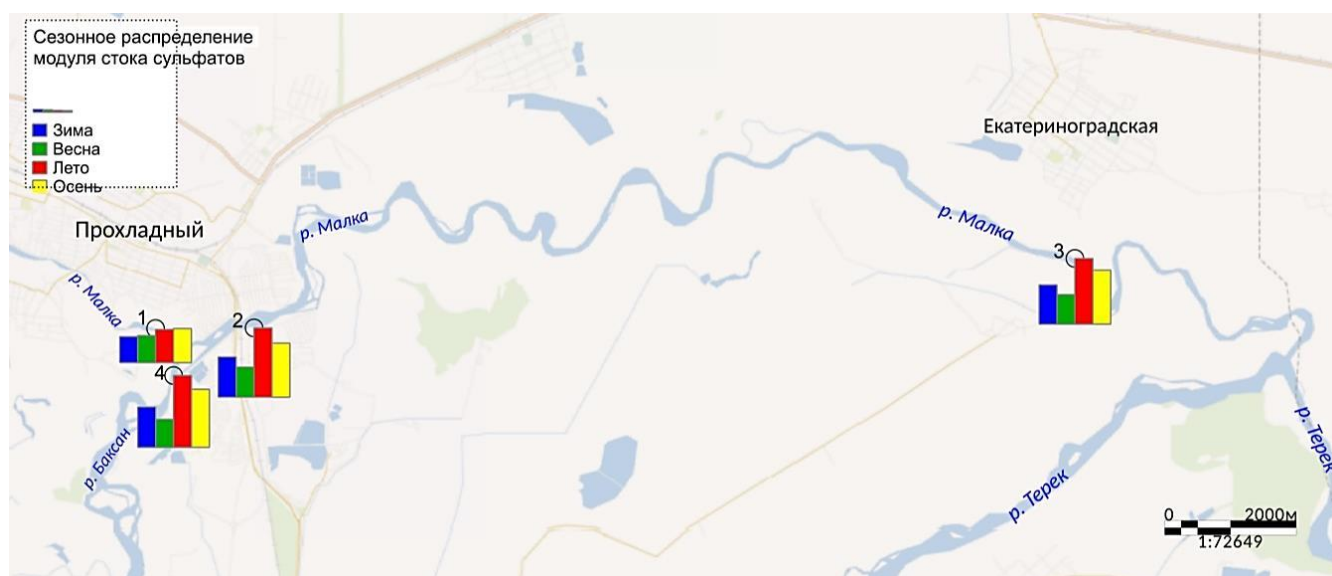


Рисунок 73 – Сезонная изменчивость модуля стока сульфатов в пунктах отбора проб

6.3.3 Хлориды

Хлориды (Cl^-) в природных водах – относятся к главным ионам природных вод и присутствуют в водах любых типов. Основными источниками поступления хлоридов в водные объекты являются соленосные отложения, магматические породы, в состав которых входят хлорсодержащие минералы (хлорапатит, содомит и др.), подземные воды хлоридного состава, вулканические выбросы, засоленные почвы, из которых хлориды вымываются атмосферными осадками. Большие количества хлоридов попадают в воду с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами [6].

Хлориды обладают высокой миграционной способностью, что обусловлено хорошей растворимостью их в воде, слабо выраженной способностью к сорбции взвесями и донными отложениями и практическим отсутствием накопления водными организмами. Внутригодовые изменения концентрации хлоридов в поверхностных водах суши связаны, в основном, с гидрологическим режимом водных объектов [6].

Повышенные концентрации хлоридов ухудшают вкусовые качества воды, делая её непригодной для питьевого водоснабжения, а также уменьшают или же полностью исключают возможность использования для технических, хозяйственных целей и орошения сельскохозяйственных территорий. ПДК хлоридов для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляет 350 мг/дм³, рыбохозяйственного назначения – 300 мг/дм³.

В период с 2015 – 2023 гг. ежемесячно нами определялись концентрации хлоридов в воде из четырёх пунктов отбора проб. На основании полученных результатов, нами были рассчитаны значения среднемесячной многолетней концентрации хлоридов в воде в пунктах отбора проб за период 2015-2023 гг. (таблица 44, рисунок 74).

Таблица 44 – Среднемесячная многолетняя концентрация хлоридов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднемесячная многолетняя концентрация хлоридов, мг/дм ³											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	29,4	30,4	30,0	28,5	21,8	14,0	13,2	13,7	17,7	25,1	31,7	32,7
2	17,0	18,8	17,9	18,7	16,2	9,4	6,3	8,9	12,3	14,8	15,2	16,0
3	17,4	18,8	18,1	18,7	16,4	9,4	6,3	8,7	12,8	15,6	15,2	16,3
4	14,7	15,9	16,0	15,9	13,5	7,0	4,8	5,6	7,3	10,1	11,7	13,5

За весь период наблюдений во всех пунктах отбора проб, максимальные концентрации хлоридов отмечались в феврале в 38,9% случаев, в марте – 11,1%, в апреле – 27,8%, в мае – 2,8%, и в декабре – 19,4%. Минимальные значения

концентраций ионов Cl^- отмечались в июне в 13,9% случаев, в июле – 75,0%, и в августе – 8,3%.

Наибольшие концентрации хлоридов зафиксированы в период зимней межени, что, объясняется невысоким расходом воды и грунтовым питанием рек Малка и Баксан. Наименьшие концентрации отмечаются в период половодья.

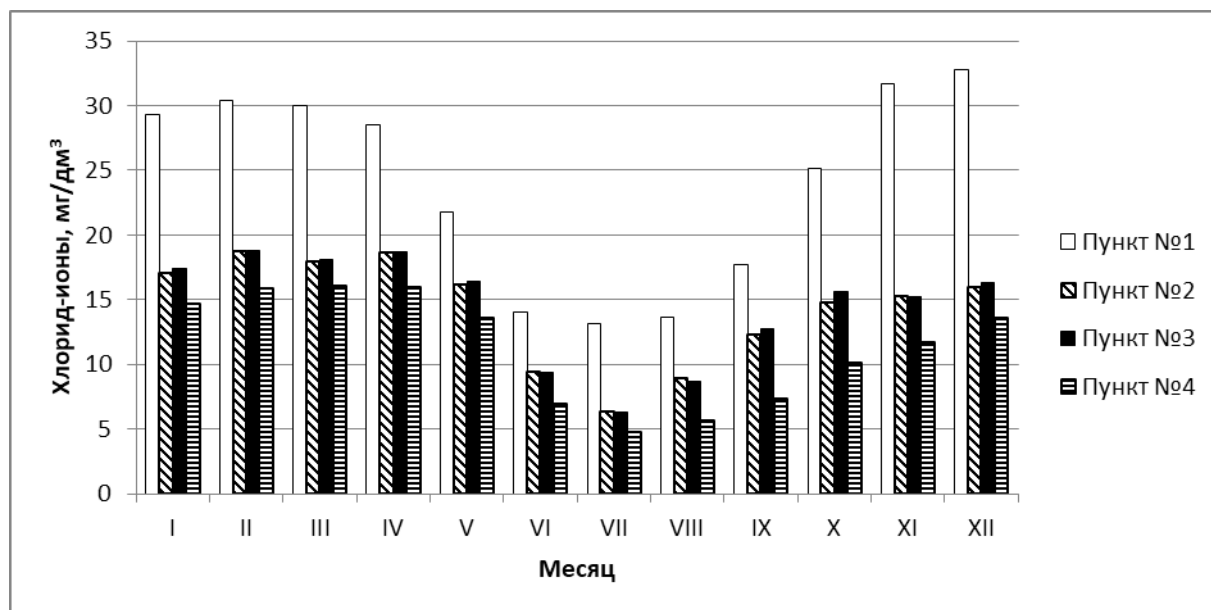


Рисунок 74 – Внутригодовая динамика среднемесячной многолетней концентрации хлорид-ионов в воде в пунктах отбора проб

По результатам многолетних наблюдений максимум концентрации ионов Cl^- в пункте отбора № 1 наблюдается в декабре $32,7 \text{ мг/дм}^3$, в пунктах отбора № 2 и № 3 – в феврале $18,8 \text{ мг/дм}^3$ в каждом, в пункте отбора №4 – в марте $16,0 \text{ мг/дм}^3$. Минимальное содержание хлоридов во всех четырёх пунктах отбора отмечается в июле – $13,2$, $6,3$, $6,3$ и $4,8 \text{ мг/дм}^3$ соответственно.

Следует отметить, что концентрация хлоридов по мере приближения к месту впадения р. Малка в р. Терек, уменьшается. В течении всего периода наблюдений концентрация хлоридов в р. Малка (пункт №1) была примерно в 2 раза больше, чем в р. Баксан (пункт №4). Разбавляющий эффект Баксана приводит к снижению концентрации хлоридов по мере приближения к устью р. Малка практически в 1,5 раза. Наибольшей разность концентраций до и после впадения

притока р. Баксан была в период межени, и оставалась существенной в течение всех сезонов.

Нами рассчитаны значения среднегодовой и средней многолетней концентрации хлорид-ионов в воде в пунктах отбора проб (таблица 45)

Таблица 45 – Концентрация хлорид-ионов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднегодовая концентрация хлорид-ионов, мг/дм ³									Средняя много-летняя
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1	22,8	23,5	25,0	22,5	23,6	27,7	23,2	23,3	24,6	24,0
2	14,3	13,1	14,3	13,3	14,7	15,6	14,2	14,8	14,4	14,3
3	14,2	13,1	14,3	13,3	14,7	16,3	14,3	15,3	14,8	14,5
4	11,4	10,1	12,2	10,7	11,2	12,1	11,1	11,2	12,2	11,3

Среднегодовая многолетняя концентрация хлоридов в воде р. Малка в нижнем течении составила 17,6 мг/дм³, р. Баксан в устье 11,3 мг/дм³.

Для выявления тенденций в изменении значений концентрации хлорид-ионов использован линейный тренд. Анализ динамики среднегодовых значений концентрации хлоридов (рисунок 75) показывает, что имеется тенденция к увеличению концентрации хлоридов как в р. Малка, так и в р. Баксан.

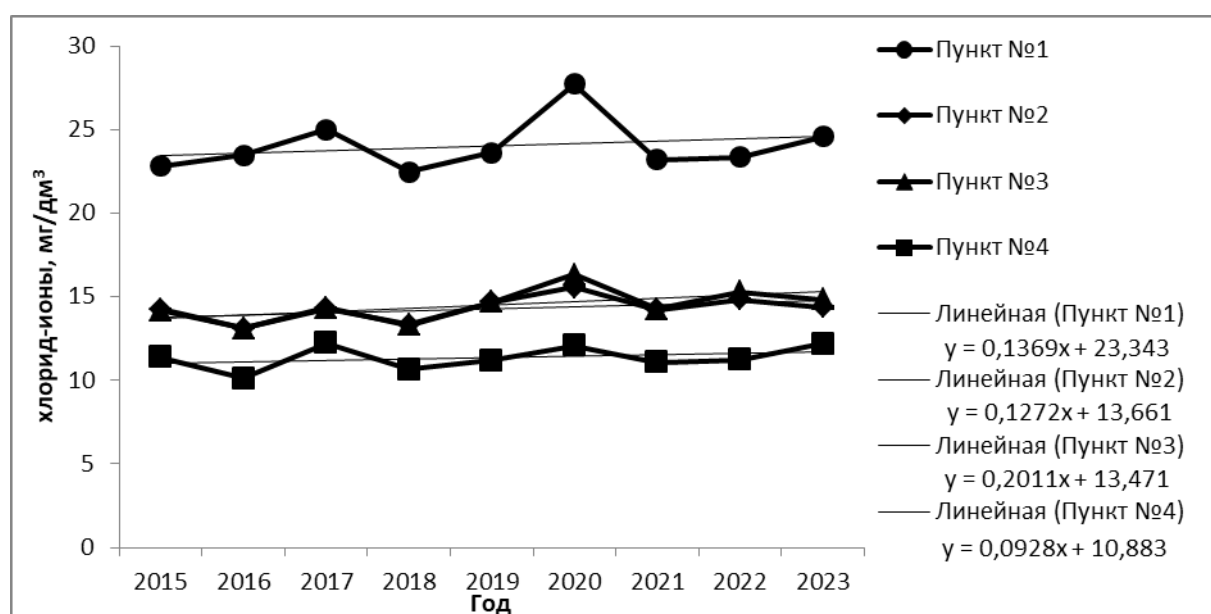


Рисунок 75 – Динамика среднегодовых значений концентрации хлорид-ионов

На основе данных о ежемесячных концентрациях хлоридов-ионов и среднемесячных расходах воды нами рассчитан ежемесячный объём стока хлоридов в пунктах отбора проб за период 2015-2023 гг. (Приложение, таблица П.3). На основании полученных результатов, нами были рассчитаны среднемесячные многолетние объёмы ионного стока хлоридов в пунктах отбора проб за период 2015-2023 гг. (таблица 46).

Таблица 46 – Среднемесячный многолетний объём стока хлоридов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Среднемесячный объём стока хлорид-ионов, тыс.т/мес											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0,6	0,6	0,7	0,9	1,3	1,0	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8
2	2,2	2,1	2,3	2,6	3,9	4,5	4,0	5,0	3,8	2,7	2,3	2,2
3	2,2	2,1	2,3	2,6	4,0	4,6	4,0	4,9	3,9	2,9	2,3	2,3
4	1,5	1,4	1,7	1,7	2,5	2,9	2,7	2,9	2,0	1,5	1,5	1,6

Сезонное распределение объёмов стока хлорид-ионов в воде исследуемых объектов соответствует изменению их водности в основные сезоны года (таблица 47, рисунок 76). С одной стороны, это подтверждает, что основной вклад в изменчивость ионного стока вносят водность и содержание веществ в речной воде, а с другой – показывает отсутствие значимого негативного воздействия в нижнем течении рек Малка и Баксан.

Таблица 47 – Сезонное распределение объёма ионного стока хлоридов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Зима		Весна		Лето		Осень	
	тыс.т/сезон	%	тыс.т/сезон	%	тыс.т/сезон	%	тыс.т/сезон	%
1	2,0	19,6	2,9	28,6	2,7	26,9	2,5	24,8
2	6,5	17,1	8,8	23,4	13,6	36,0	8,8	23,4
3	6,6	17,3	8,9	23,4	13,4	35,4	9,1	23,9
4	4,6	19,2	5,9	24,8	8,5	35,4	4,9	20,5

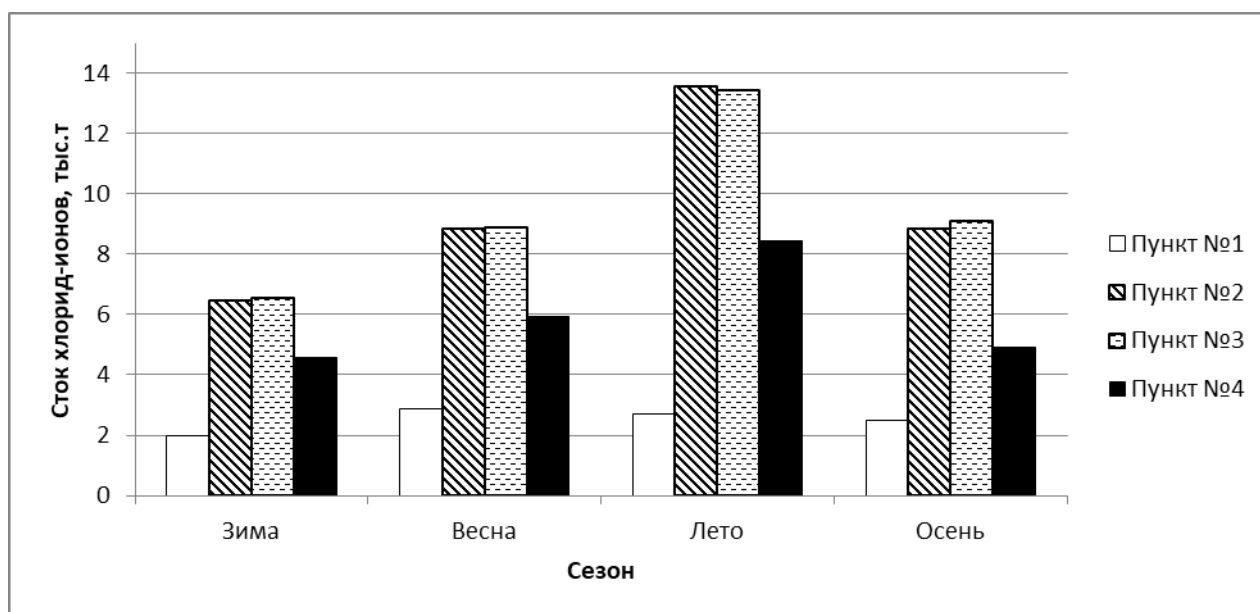


Рисунок 76 – Сезонная изменчивость объёма стока хлоридов в пунктах отбора проб

Наименьший объём ионного стока хлоридов наблюдается зимой и составляет от 17 до 19 % общего годового объёма. Максимум для р. Малка до впадения притока р. Баксан (пункт №1) наблюдается весной и составляет 28,6% годового объёма хлоридов. Максимальный объём стока хлоридов р. Малка после впадения притока р. Баксан (пункт №2), перед впадением Малки в Терек (пункт №3) и р. Баксан (пункт №4) наблюдается летом и составляет соответственно 36,0, 35,4, 35,4%.

На основе данных о среднегодовых концентрациях хлорид-ионов в воде рек Малка и Баксан, а также значений стока воды выполнен расчет среднегодовых и среднемноголетних стоков хлорид-ионов (таблица 48).

Таблица 48 – Объём стока хлорид-ионов в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Объём стока хлорид-ионов, тыс.т/год									Средний много-летний
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1	9,3	9,2	11,3	9,6	9,7	12,2	9,4	9,6	10,5	10,1
2	37,3	36,4	38,3	35,8	40,0	39,1	36,8	37,9	37,5	37,7
3	37,1	36,4	37,3	36,4	39,9	40,9	36,8	38,8	38,3	38,0
4	23,6	23,1	25,0	24,0	24,8	23,6	22,8	22,6	25,2	23,9

Установлено, что в среднем в год р. Малка до впадения притока р. Баксан выносит 10,1 тыс. т хлоридов в год, после впадения притока р. Баксан 37,7 тыс. т, а перед впадением в р. Терек около 38,0 тыс. т хлоридов в год, т.е. на участке в нижнем течении объём стока хлоридов возрастает в 3,8 раза. Такой значительный рост объёмов стока обусловлен тем, что приток р. Баксан выносит около 23,9 тыс. т хлоридов в год. Анализ полученных данных показывает, что несмотря на то, что массовая концентрация хлоридов в р. Малка до впадения притока р. Баксан почти в 2 раза выше, чем в р. Баксан, её вклад в общий объём стока хлорид-ионов составляет только 26,8%, приток р. Баксан вносит около 63,4% общего объёма хлоридов, выносимых р. Малка.

Во временной изменчивости объёмов химического стока хлорид-ионов отмечается, что в отличие от гидрокарбонат-ионов зависимость стока хлоридов от водного стока выражена слабее (рисунок 77).

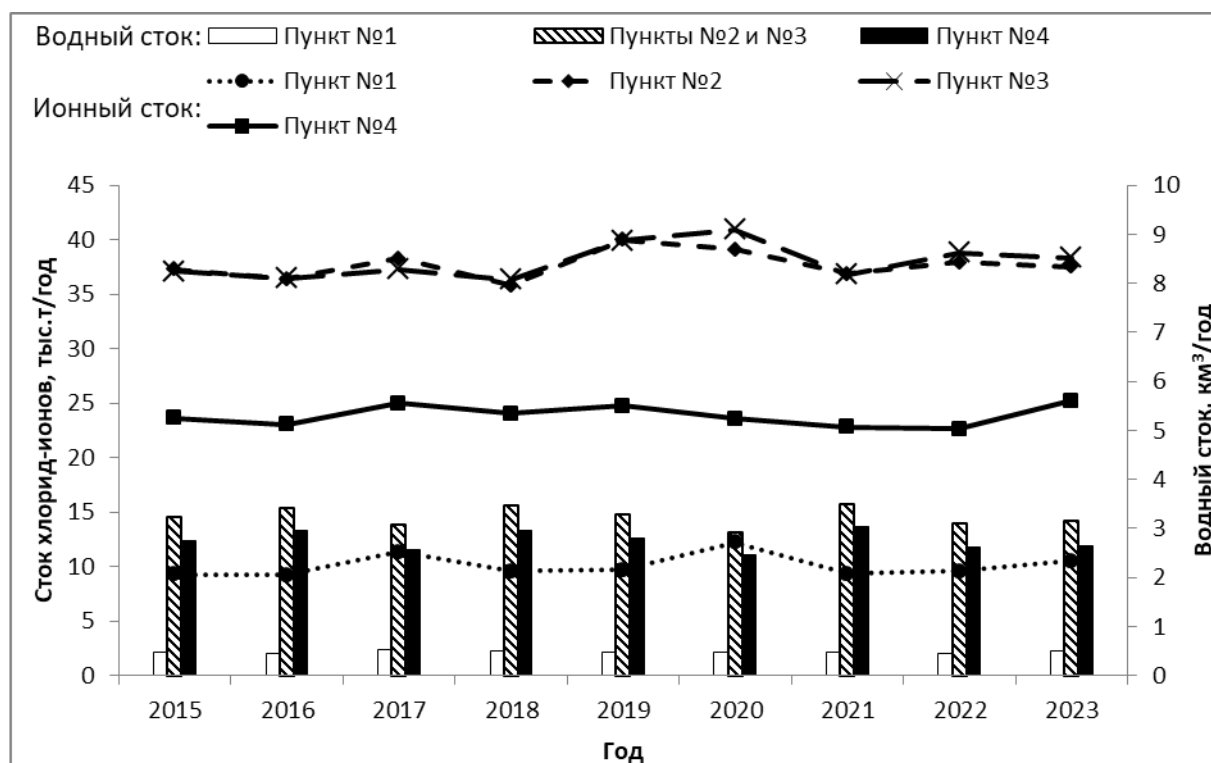


Рисунок 77 – Временная изменчивость водного стока и среднегодовых значений объемов стока хлорид-ионов в пунктах отбора проб

Для выявления нарушенности ионного стока хлорид-ионов в современном периоде было рассчитано среднее значение ионного стока в современном условно-фоновом периоде и в текущем периоде (таблица 49)

Таблица 49 – Объём и нарушенность стока хлорид-ионов в современном периоде

Пункт отбора	Объём стока хлорид-ионов, тыс.т/год		Нарушенность ионного стока, %
	Условно-фоновый период 2015-2019 гг.	Текущий период 2020-2023	
1	9,8	10,4	6,1
2	37,6	37,8	0,5
3	37,4	38,7	3,5
4	24,1	23,6	-2,1

Как видно из полученных данных нарушенность стока имеет как положительные, так и отрицательные значения. Абсолютные значения нарушенности стока небольшие. Наиболее заметный прирост стока хлоридов на 6,1% стока отмечается в р. Малка до впадения р. Баксан (пункт №1). Заметен незначительный рост стока хлоридов на 0,5% в нижнем течении р. Малка после впадения притока р. Баксан (пункт №2) и более интенсивный рост на 3,5% и перед впадением в р. Терек (пункт №3). Сток хлоридов р. Баксан (пункт № 4) имеет тенденцию к уменьшению на 2,1%.

Для проведения ретроспективного анализа нарушенности стока хлоридов в современном периоде по сравнению с историческим фоновым периодом, на основании литературных справочных данных о химическом составе воды р. Малка (пункт взятия проб станица Прохладная) [4] нами рассчитана среднегодовая концентрация хлорид-ионов в начале 40-х годов XX века, которая составила 6,47 мг/л. Применяя полученные значения концентраций хлоридов и расходов воды нами рассчитан сток сульфат-ионов в историческом фоновом периоде, который составил 22,43 тыс. т/год. Полученные значения сопоставлялись с данными полученными нами в современном периоде для пункта отбора проб №2. Расчет нарушенности стока показал, что в современном периоде, по сравнению с историческим фоновым периодом, более чем за 80 лет, сток хлорид-

ионов увеличился на 68%. Расчет показал, что антропогенная составляющая стока хлорид-ионов в современном периоде составляет 16,34 тыс. т/год или 43%, что свидетельствует о значительном влиянии антропогенных факторов на рост стока хлоридов. Значительное увеличение стока хлоридов в современном периоде может быть вызвано антропогенным воздействием: повышенным содержанием их в промышленно-бытовых сточных водах, в дренажных стоках с орошаемых территорий и т.п., а также и природными факторами, прежде всего, высокой миграционной способностью хлорид-ионов и хорошей растворимостью минералов – хлоридов щелочных и щелочно-земельных металлов.

Для пространственного сопоставления сезонных и среднегодовых значений объёмов ионного стока в пунктах отбора проб нами рассчитана относительная величина – модуль ионного стока, показывающая объём ионного стока с единицы площади водосбора (таблица 50).

Таблица 50 – Сезонное распределение модуля ионного стока хлоридов в воде в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Зима		Весна		Лето		Осень		Год
	тыс.т/ сезон · км ²	%	тыс.т/ сезон · км ²	%	тыс.т/ сезон · км ²	%	тыс.т/ сезон · км ²	%	
1	0,7	19,6	1,0	28,6	0,9	26,9	0,8	24,8	3,3
2	0,7	17,1	0,9	23,4	1,4	36,0	0,9	23,4	3,8
3	0,7	17,3	0,9	23,4	1,3	35,4	0,9	23,9	3,8
4	0,7	19,2	0,9	24,8	1,2	35,4	0,7	20,5	3,5

Расчет показывает, что минимальное количество хлоридов выносятся реками Малка Баксан в зимний период – около 17%. Максимум приходится на весенний и летний период: Малка без притока Баксан весной выносит около 28% годового количества хлоридов, Баксан летом – около 35%, Малка после слияния с Баксаном – около 36%. В целом по среднемноголетние годовые значения модуля стока хлоридов весьма близки, из чего можно сделать вывод о равномерном распределении этих веществ на протяжении всего бассейна р. Малка.

Для визуализации территориальной дифференциации и сезонной изменчивости модуля стока хлорид-ионов в нижнем течении реки Малка построена соответствующая тематическая карта (рисунок 78).

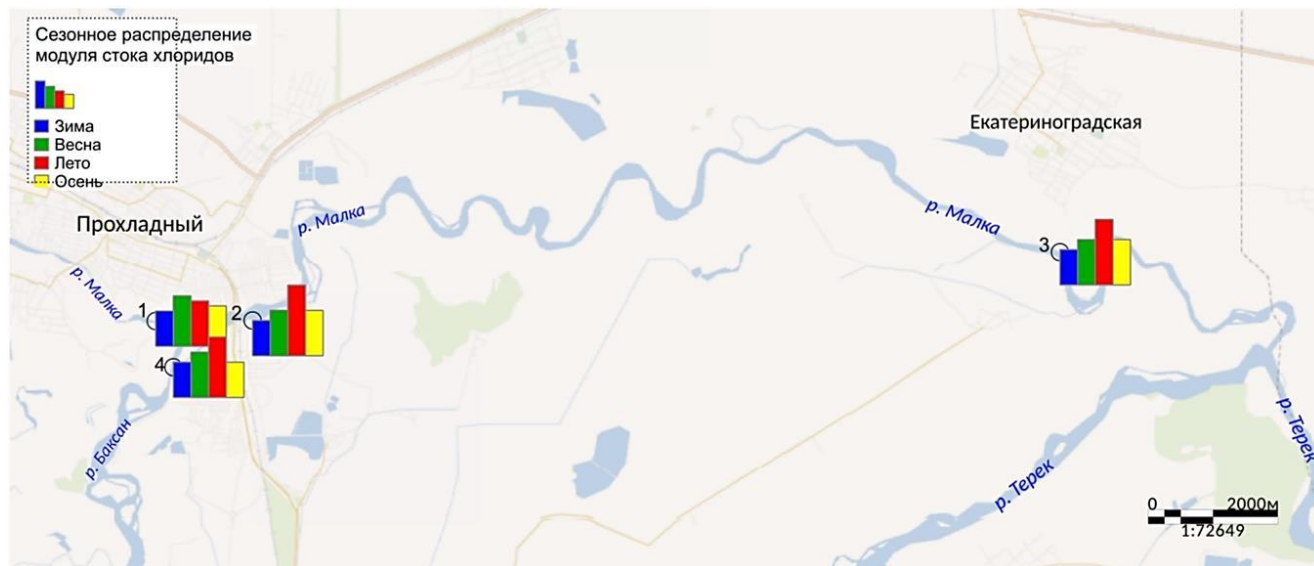


Рисунок 78 – Сезонная изменчивость модуля стока хлоридов в пунктах отбора проб

5.5.4. Структура стока основных ионов

Нами рассчитан вклад ионов HCO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^- в формирование общего годового модуля стока главных анионов (таблица 51).

Таблица 51 – Структура модуля стока основных анионов в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Вклад аниона в модуль стока, %								
	HCO_3^-			SO_4^{2-}			Cl^-		
	Минимальный	Максимальный	Средний многолетний	Минимальный	Максимальный	Средний многолетний	Минимальный	Максимальный	Средний многолетний
1	51,9	55,1	53,6	39,1	42,2	40,6	5,4	6,2	5,7
2	55,2	58,6	56,2	37,3	40,7	39,7	3,7	4,3	4,0
3	54,8	58,3	56,5	37,6	40,9	39,5	3,8	4,4	4,1
4	56,5	60,3	57,9	36,3	40,1	38,7	3,2	3,9	3,5

Анализ временной изменчивости структуры стока главных анионов показывает относительное постоянство. Максимальные и минимальные значения отклоняются от среднемноголетнего на небольшую величину.

Для визуализации территориальной дифференциации структуры модуля стока главных анионов в нижнем течении реки Малка построена соответствующая тематическая карта (рисунок 79).

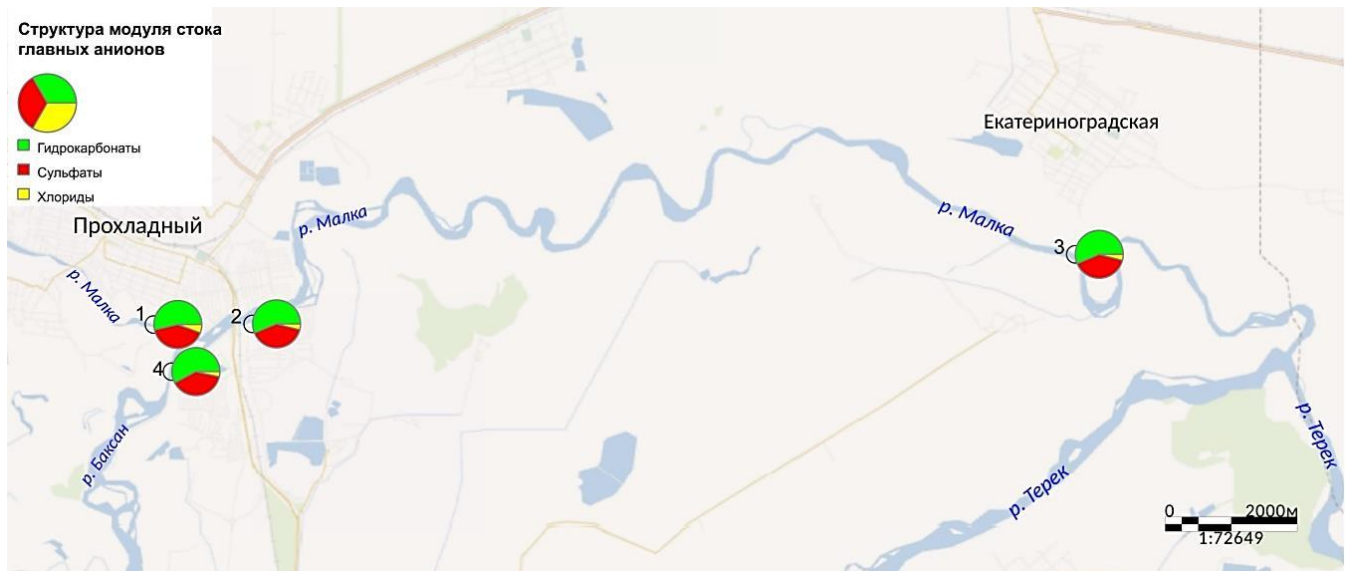


Рисунок 79 – Пространственная изменчивость структуры модуля стока основных анионов в пунктах отбора проб

Во всех пунктах отбора проб преобладающими ионами являются гидрокарбонат-ионы, в структуре ионного стока р. Малка до впадения притока р. Баксан они составляют около 54%, после впадения притока р. Баксан вклад карбонатов возрастает до 56%, что обеспечивается тем, что в структуре модуля стока анионов рекой Баксан гидрокарбонаты составляют около 58%. Вторым по количественному вкладу в формирование общего модуля стока главных анионов является сульфат-ион. В отличие от гидрокарбонат-иона, его вклад уменьшается вниз по течению реки и составляет в пункте отбора №1 около 41% в пунктах отбора № 2 и № 3 около 40%. В структуре модуля стока анионов р. Баксан вклад сульфатов составляет около 39%. Вклад хлоридов, в формирование модуля стока наименьший, при этом он также убывает вниз по течению и составляет в пункте отбора №1 около 6%, в пунктах №2 и №3 около 4%. В структуре модуля стока главных анионов р. Баксан хлориды составляют 3,5%.

6.4. Пространственно-временная динамика концентраций и стока биогенных веществ: нитраты, нитриты, соединения железа

Один из главных показателей, характеризующих состояние природных вод – содержание биогенных веществ. К биогенным, принадлежат вещества, в той или иной мере, связанные своим происхождением с жизнедеятельностью водных организмов; присутствие же этих веществ в воде, в свою очередь, определяет возможность существования водных организмов [6]. К основным биогенными веществам относят соединения азота и железа.

В природных водах азот присутствует в виде двух основных групп – азота неорганических соединений (минерального азота) и азота, входящего в состав органических веществ. Соединения азота имеют особое значение для развития жизни в водных объектах. При отсутствии азотсодержащих соединений в воде рост и развитие водной растительности прекращается, в то же время избыток этих соединений приводит к негативным последствиям, способствуя процессам эвтрофикации водного объекта и ухудшению качества воды.

Источниками поступления соединений азота в природные воды являются: разложение клеток отмерших организмов, прижизненные выделения гидробионтов, атмосферные осадки, фиксация из воздуха в результате жизнедеятельности азотфиксирующих бактерий. Значительное количество азота может попадать в водные объекты с бытовыми, сельскохозяйственными и промышленными сточными водами. Понижение содержания соединений азота в водоёмах связано, в основном, с потреблением их водными растениями. Некоторую роль в этом процессе играет денитрификация.

Содержание азота в природных водах является одним из показателей санитарного состояния водоёма. Превышение нормативов по концентрации минерального азота является мерой степени загрязнённости воды. Основными аллохтонными источниками минерального азота в поверхностных водных объектах является поступление с атмосферными осадками и поверхностным стоком с территории водосбора, автохтонными – внутриводоёмные процессы

жизнедеятельности и распада органического вещества в водной среде, прижизненные выделения гидробионтов. В последнее время большое значение приобретает поступление минерального азота с сельскохозяйственных полей, на которые вносятся в значительных количествах удобрения, содержащие азот (азотные удобрения, навоз, растительный перегной), а также с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами.

Из неорганических соединений азота в природных водах содержатся нитраты и нитриты. Нитраты в природных водах представляют собой конечный продукт минерализации органических азотсодержащих веществ; их содержание в воде, как правило, значительно превышает содержание аммонийного и нитритного азота. В незагрязнённых водных объектах концентрация нитратов обычно не превышает десятых долей миллиграмма в кубическом дециметре. Для нитратов характерно значительное уменьшение содержания в вегетационный период за счёт потребления водными растениями и увеличение осенью при отмирании водных организмов и распаде органических веществ. Максимальное содержание нитратов наблюдается в зимний период.

ПДК нитратного азота в природных водах составляет $9,1 \text{ мг/дм}^3$ для водных объектов рыбохозяйственного назначения и 10 мг/дм^3 – хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения.

Нитриты в природных водах представляют собой промежуточный продукт биохимического окисления аммиака или восстановления нитратов. Появление нитритов в природных водах связано главным образом с процессами распада органических веществ и нитрификации [130].

Нитриты – неустойчивые компоненты, поэтому в незагрязнённых поверхностных водах они присутствуют в незначительных количествах (до 10 мкг/дм^3). Повышение содержания нитритов указывает на усиление процессов биохимического разложения органических остатков в условиях дефицита кислорода и является одним из критериев сильного загрязнения водного объекта. Наибольшее содержание нитриов наблюдается к концу лета, что связано с протеканием процессов отмирания водных организмов и разложением

органических остатков, а также увеличением интенсивности процесса восстановления нитритов бактериями-денитрификаторами.

Содержание нитритов в природных водах нормируется. ПДК нитритов для водных объектов рыбохозяйственного назначения – 0,02 мг/дм³, хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения – 1,0 мг/дм³ в пересчёте на азот.

Наряду с соединениями азота к биогенным веществам, относится соединения железа.

Железо играет важную физиологическую и биохимическую роль в живых организмах. Оно входит в состав молекул порфиринов и белков, которые переносят кислород, катализирует процесс синтеза хлорофилла, участвует в биохимических окислительно-восстановительных реакциях. [166].

Железо – химический элемент, содержащийся во многих минералах и горных породах, поэтому в природных водах концентрации этого элемента обычно выше других металлов [165]. Основным природным источником поступления железа в поверхностные воды являются процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их растворением. Значительная часть железа поступает с подземным стоком [6].

Антропогенное загрязнение водных объектов соединениями железа обусловлено их поступлением со сточными водами многих отраслей промышленности, прежде всего горнодобывающих, металлургических, химических предприятий [130].

Железо является одним из важнейших элементов, принимающих активное участие в биохимических процессах, протекающих в живых организмах. В связи с этим его часто включают в группу биогенных элементов [129].

Соединения железа могут присутствовать в водах в двух степенях окисления – Fe(II) и Fe(III), которые представлены тремя миграционными формами – растворённой, коллоидной и взвешенной. Растворённое железо может находиться в ионной форме, в виде гидроксокомплексов типа $[\text{Fe}(\text{OH})_2]^+$; $[\text{Fe}_2(\text{OH})_2]^{4+}$; $[\text{Fe}_2(\text{OH})_3]^+$; $[\text{Fe}_2(\text{OH})_3]^{3+}$; $[\text{Fe}(\text{OH})_3]^-$ и комплексных соединений с

минеральными и органическими веществами вод (преимущественно в виде комплексов с гуминовыми и фульвокислотами) [6].

На состав и формы нахождения соединений железа в водах оказывают существенное влияние такие факторы, как величина рН и Eh, присутствие природных комплексообразователей (гуминовых и фульвокислот), содержание растворенного кислорода, сероводорода, диоксида углерода, а также наличие микроорганизмов, окисляющих и восстанавливающих железо. Для обозначения суммарной концентрации всех растворенных форм железа в воде используют термин «железо общее». В речных водах концентрация железа общего в большинстве случаев находится в пределах от 0,01 до 1,0 мг/дм³. Она подвержена заметным сезонным изменениям, обусловленным как участием этого металла в физико-химических и биологических процессах, активно протекающих в водной среде, так и гидрологическим режимом водного объекта [130]. ПДК железа общего для водных объектов рыбохозяйственного назначения – 0,1 мг/дм³.

В период с 2018-2023 гг. ежемесячно нами определялись концентрации нитратов, нитритов и общего железа в воде из четырёх пунктов отбора проб. На основании полученных результатов, нами были рассчитаны значения среднемесячной многолетней концентрации нитратов, нитритов и общего железа в воде в пунктах отбора проб за период 2018-2023 гг. (таблица 52, рисунок 80).

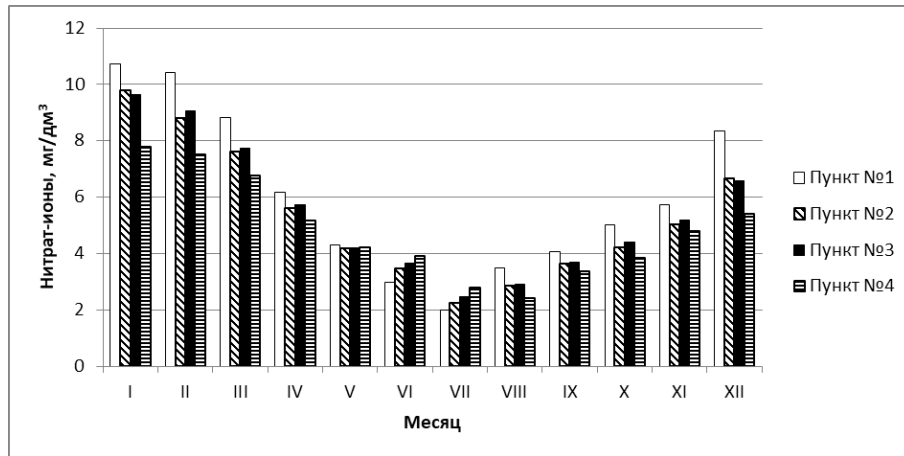
За весь период наблюдений во всех пунктах отбора проб, максимальные концентрации нитратов отмечались в январе в 75% случаев, в феврале – 16,6%, в апреле и декабре – по 4,2%. Минимальные значения концентраций ионов NO₃⁻ отмечались в мае в 12,5% случаев, в июне – 8,3%, в июле – 45,8%, августе – 25% и в сентябре – 4,2%. Прослеживается достаточно выраженное постоянство во времени появления максимальных и минимальных концентраций нитратов

Таблица 52 – Среднемесячная многолетняя концентрация биогенных веществ в воде в пунктах отбора проб

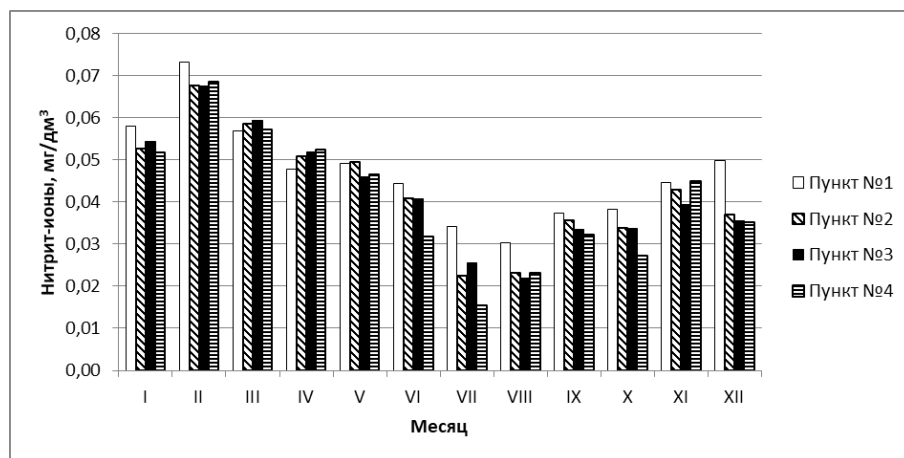
Ионы	Пункт отбора	Среднемесячная многолетняя концентрация сульфатов, мг/дм ³											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
NO ₃ ⁻	1	10,73	10,44	8,81	6,16	4,29	2,96	2,00	3,47	4,06	5,01	5,75	8,36
	2	9,79	8,79	7,62	5,62	4,17	3,46	2,25	2,85	3,63	4,21	5,02	6,65
	3	9,66	9,08	7,73	5,72	4,21	3,64	2,46	2,90	3,70	4,40	5,17	6,60
	4	7,79	7,50	6,77	5,18	4,22	3,89	2,79	2,40	3,37	3,83	4,78	5,40
NO ₂ ⁻	1	0,058	0,073	0,057	0,048	0,049	0,044	0,034	0,030	0,037	0,038	0,045	0,050
	2	0,053	0,068	0,058	0,051	0,049	0,041	0,022	0,023	0,036	0,034	0,043	0,037
	3	0,054	0,067	0,059	0,052	0,046	0,041	0,026	0,022	0,034	0,034	0,039	0,036
	4	0,052	0,068	0,057	0,052	0,046	0,032	0,015	0,023	0,032	0,027	0,045	0,035
Fe ²⁺ , Fe ³⁺	1	0,148	0,128	0,140	0,151	0,151	0,217	0,354	0,467	0,444	0,287	0,225	0,141
	2	0,141	0,134	0,139	0,154	0,155	0,231	0,294	0,400	0,310	0,197	0,193	0,140
	3	0,139	0,135	0,139	0,158	0,150	0,233	0,291	0,413	0,319	0,214	0,208	0,138
	4	0,137	0,145	0,137	0,153	0,147	0,215	0,220	0,271	0,214	0,165	0,160	0,124

Максимальные концентрации нитритов отмечались в январе в 25% случаев, в феврале – 37,5%, в апреле и мае – по 12,5%, в июне, ноябре и декабре – по 4,2%. Минимальные значения концентраций ионов NO₂⁻ отмечались в январе в 12,5% случаев, в июне, сентябре и ноябре – по 4,2%, в июле – 41,7%, в августе – 20,8% и в октябре – 8,3%. Нитриты, в отличие от нитратов более широкий диапазон появления максимальных и минимальных концентраций.

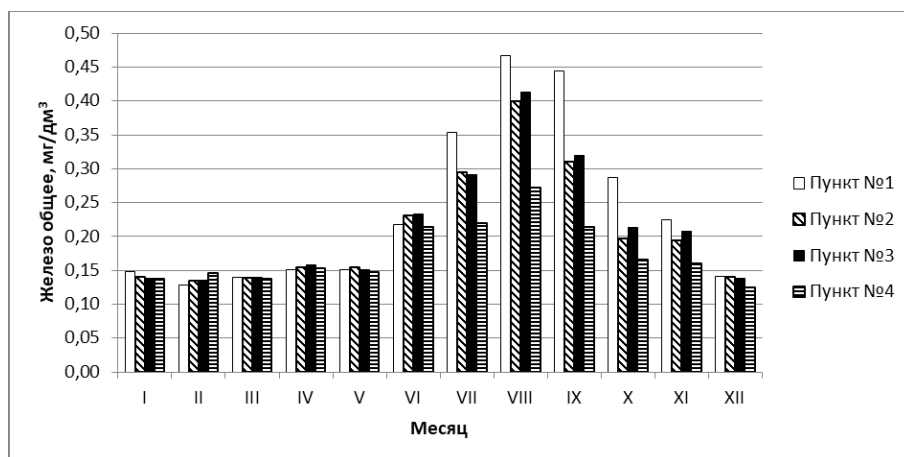
Максимальные концентрации соединений железа отмечались в августе в 87,5% случаев, и в сентябре – 12,5%. Минимальные значения концентраций общего железа отмечались в январе в 8,3% случаев, в феврале и марте – по 20,8%, в мае – 12,5%, в июне – 4,2%, и декабре – 33,3%. Для соединений железа прослеживается довольно постоянный период проявления максимальных концентраций, при этом период проявления минимальных концентраций имеет достаточно большую вариабельность.



а



б



в

Рисунок 80 – Внутригодовая динамика среднемесячной многолетней концентрации нитрат-ионов (а), нитрит-ионов (б) и соединений железа (в) в воде в пунктах отбора проб

Обобщая можно сказать, что наибольшие концентрации нитратов во всех пунктах отбора проб отмечаются в период зимней межени, что, объясняется невысоким расходом воды и грунтовым питанием рек Малка и Баксан.

Наименьшие концентрации отмечаются в период летнего половодья. Для нитритов тенденция аналогичная нитратам, но с большим разбросом появления максимальных концентраций по месяцам в течение одного периода. Наибольшие концентрации соединений железа в противоположность соединениям азота, фиксируются в период летнего половодья. Минимальные значения концентраций достаточно рассеяны по всем сезонам года.

По результатам многолетних наблюдений максимум концентрации нитрат-ионов и нитрит-ионов во всех пунктах отбора наблюдается в январе. Минимальное содержание нитратов в трёх пунктах отбора на р. Малка отмечается в июле, а в устье р. Баксан – в августе. Меньше всего нитритов обнаруживается в пунктах отбора №1 и №3 в августе, в пунктах отбора №2 и №4 в июле. Максимальные концентрации соединений железа обнаруживаются во всех пунктах отбора проб в августе, минимальным содержание соединений железа в воде в трёх пунктах на реке Малка (№1 - №3) фиксируется в феврале, в пункте отбора на р. Баксан (№4) – в декабре.

Для оценки влияния р. Баксан на содержание биогенных веществ в воде реки Малка в нижнем течении, используя полученные нами данные о ежемесячных многолетних концентрациях нитрит-ионов, нитрат-ионов и общего железа, рассчитан среднемноголетний ежемесячный прирост (убыль) их концентрации в воде р. Малка, после впадения притока р. Баксан, в процентах (таблица 53, рисунок 81). Положительные значения соответствуют приросту, отрицательные – убыли.

Анализируя результаты расчетов относительно вклада р. Баксан в изменение концентрации биогенных веществ в воде р. Малка в нижнем течении, можно заметить, что загрязнение р. Малки нитратами при слиянии с водами р. Баксан, зафиксировано только в период с июня по июль. Максимальный прирост концентрации нитрат-ионов составляет до 17% (рисунок 81а).

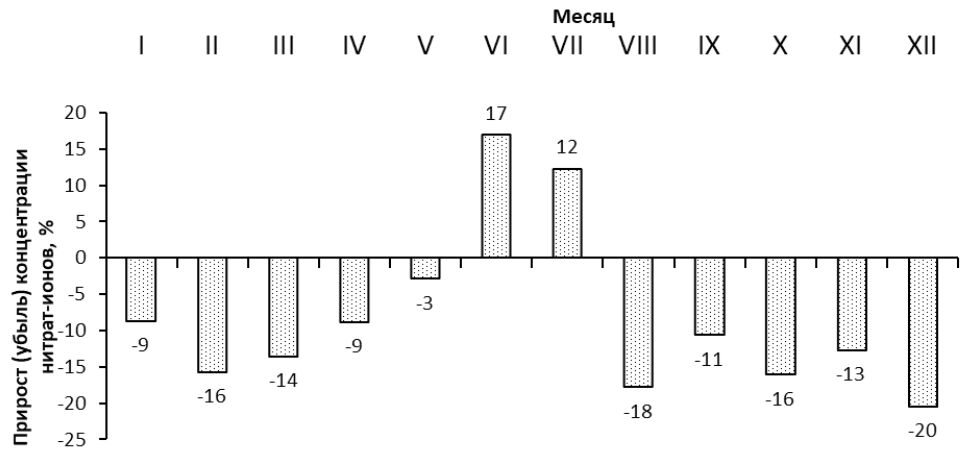
Таблица 53 – Среднегодуальный ежемесячный прирост (убыль) концентрации биогенных веществ в водах р. Малка в нижнем течении

Ионы	I, %	II, %	III, %	IV, %	V, %	VI, %	VII, %	VIII, %	IX, %	X, %	XI, %	XII, %	Ср., %
NO_3^-	-9	-16	-14	-9	-3	17	12	-18	-11	-16	-13	-20	-11
NO_2^-	-9	-8	3	6	1	-8	-34	-23	-5	-11	-4	-26	-9
$\text{Fe}_2^+, \text{Fe}_3^+$	-6	5	0	4	0	7	-18	-12	-28	-26	-8	-2	-11

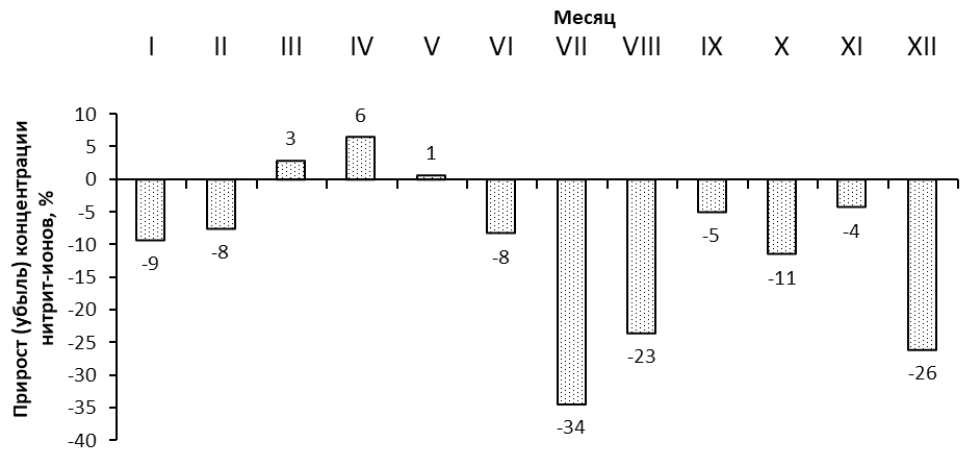
В остальные месяцы впадение притока Баксан приводило к снижению концентрации ионов NO_3^- за счет эффекта разбавления, который наиболее сильно был выражен в декабре и в августе, и сопровождался убылью концентрации нитратов в нижнем течении реки Малка на 20%. По среднегодовым значениям, слияние реки Малка с притоком Баксан, приводит к уменьшению концентрации нитратов на 11%.

Расчет показал, что по содержанию нитритов загрязняющий эффект р. Баксан, по отношению к р. Малка проявляется в период с марта по май, вначале половодья, достигая максимума в апреле, когда прирост концентрации нитритов в воде р. Малка, после слияния с Баксаном составляет до 6%. В остальные месяцы проявляется разбавляющий эффект р. Баксан, приводящий к уменьшению концентрации нитритов в Малке (рисунок 81 б). Наиболее сильно разбавляющий эффект проявляется в июле, при этом концентрация нитрит-ионов уменьшается на 34%. Анализ среднегодовых значений показывает, что р. Баксан в течении года уменьшает концентрацию нитрит-ионов, фиксируемую в воде р. Малка до впадения притока на 9%.

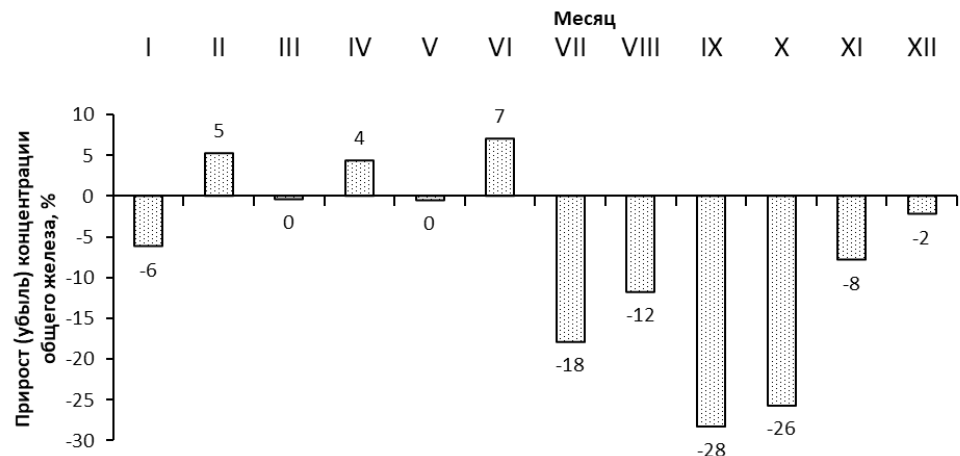
Следует отметить, что начиная с 2022 года проявляется устойчивый рост загрязняющего эффекта р. Баксан, приводящий к значительному увеличению концентрации нитрит-ионов в реке Малка [181, 197].



а



б



в

Рисунок 81 – Среднеголетний ежемесячный прирост (убыль) концентрации нитрит-ионов (а), нитрат-ионов (б), общего железа (в) в воде р. Малка в нижнем течении после впадения притока – р. Баксан

Концентрация соединений железа в нижнем течении р. Малка, так же зависит от его содержания в водах р. Баксан. Загрязняющий эффект притока Баксан по отношению к р. Малка по результатам многолетних наблюдений фиксируется в феврале, апреле, июне (рисунок 88в). Максимально он выражается в июне, и сопровождается приростом концентрации железа в воде р. Малка после впадения притока Баксан на 7%. В марте и мае, влияние Баксана на содержание соединений железа в р. Малка существенно не проявляется. В остальные месяцы проявлялся разбавляющий эффект Баксана по отношению к Малке, который в большей степени выражается в сентябре снижением концентрации общего железа в нижнем течении р. Малка на 28%. По среднегодовым значениям, слияние реки Малка с притоком Баксан, приводит к уменьшению концентрации общего железа на 11%.

Нами рассчитаны значения среднегодовой и средней многолетней концентрации биогенных веществ в воде в пунктах отбора проб (таблица 54)

Таблица 54 – Среднегодовая концентрация биогенных веществ в воде в пунктах отбора проб

Ионы	Пункт отбора	Среднегодовая концентрация, мг/дм ³						Средняя многолетняя
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	
NO ₃ ⁻	1	7,22	6,49	8,32	4,41	4,88	4,70	6,00
	2	6,13	6,20	7,61	4,09	4,05	3,95	5,34
	3	6,29	6,16	7,47	4,32	4,17	4,22	5,44
	4	5,31	6,17	6,98	3,62	3,37	3,51	4,83
NO ₂ ⁻	1	0,054	0,037	0,064	0,068	0,036	0,022	0,047
	2	0,047	0,031	0,052	0,052	0,041	0,034	0,043
	3	0,048	0,031	0,051	0,050	0,041	0,034	0,042
	4	0,046	0,029	0,046	0,039	0,043	0,039	0,040
Fe ₂ ⁺ , Fe ₃ ⁺	1	0,266	0,215	0,212	0,275	0,222	0,238	0,238
	2	0,225	0,202	0,197	0,231	0,196	0,193	0,207
	3	0,237	0,202	0,203	0,226	0,200	0,201	0,211
	4	0,190	0,168	0,145	0,190	0,175	0,175	0,174

Среднегодовая многолетняя концентрация нитрат-ионов в воде р. Малка в нижнем течении составила 5,59 мг/дм³, р. Баксан в устье – 4,83 мг/дм³; нитрит-

ионов – 0,043 и 0,040 мг/дм³ соответственно; соединений железа – 0,217 и 0,174 мг/дм³ соответственно.

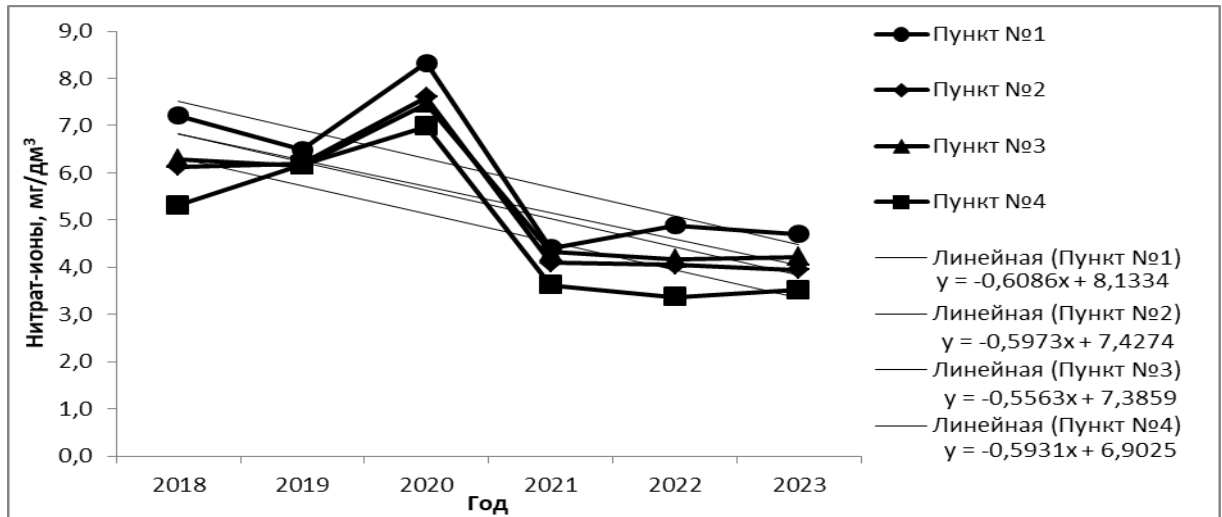
Для выявления тенденций в изменении значений концентрации биогенных веществ использован линейный тренд. Анализ динамики среднегодовых значений концентрации нитратов, нитритов и соединений железа показывает, что имеется тенденция к их уменьшению как в р. Малка, так и в р. Баксан (рисунок 82).

Наблюдается различная интенсивность уменьшения концентраций биогенных веществ во времени. Концентрации нитратов снижаются равномерно во всех пунктах отбора проб (рисунок 82а). Концентрации нитритов снижаются очень не равномерно (рисунок 82б).

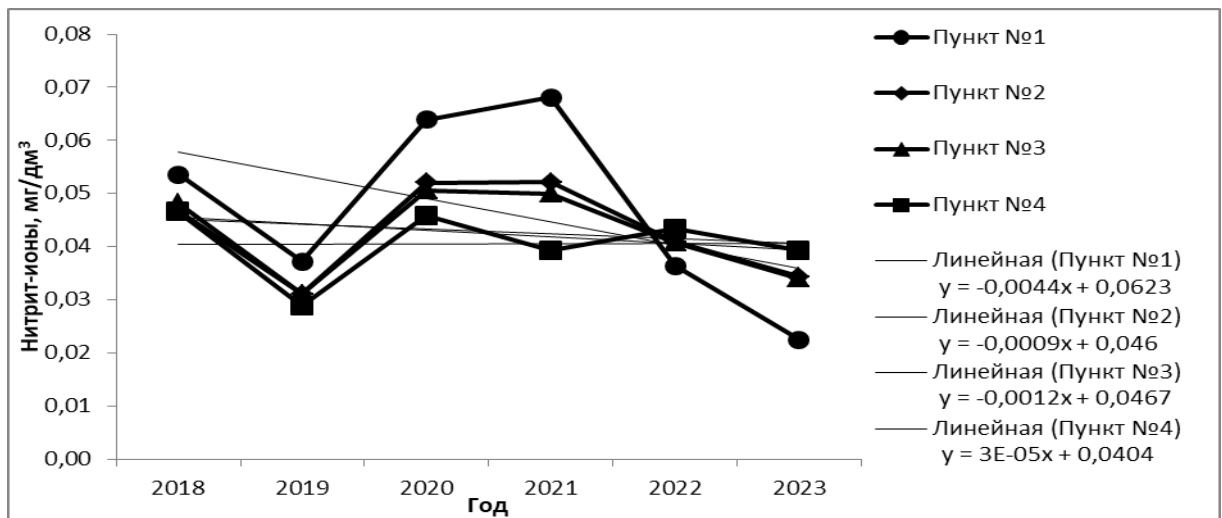
Начиная с 2022 года их концентрации стали значительно меньше в р. Малка до притока р. Баксан, при этом оставаясь практически неизменными в воде р. Баксан в устье, что повлекло за собой заметное увеличение концентрации ионов NO_2^- в нижнем течении р. Малка, после слияния с Баксаном [195]. Характер динамики, наблюдаемый для концентрации нитритов в пунктах отбора № 2 и № 3 практически идентичен, что говорит об отсутствии источников существенного загрязнения этими веществами на участке реки от впадения притока р. Баксан, до впадения р. Малка в р. Терек.

Концентрация соединений железа демонстрирует отрицательный тренд (рисунок 82в). Наблюдается равномерное уменьшение содержания железа в водах р. Малка в трёх пунктах отбора проб. В р. Баксан концентрация общего железа практически не претерпела значительных изменений за весь период наблюдений.

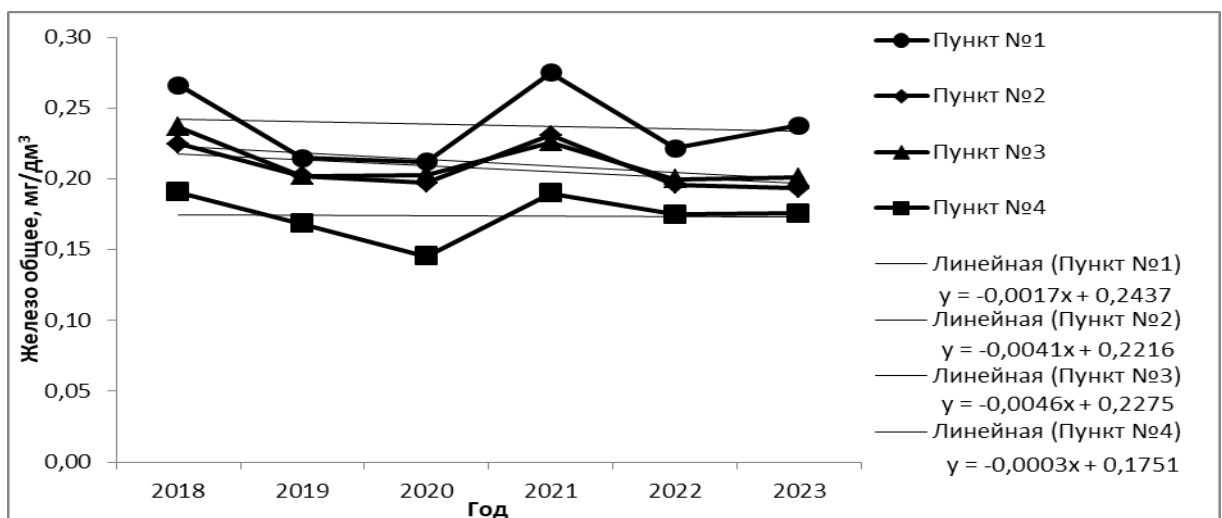
На основе данных о ежемесячных концентрациях биогенных веществ и среднемесячных расходах воды нами рассчитан ежемесячный объём стока нитратов (Приложение, таблица П.4), нитритов (Приложение, таблица П.5) и общего железа (Приложение, таблица П.6) в пунктах отбора проб за период 2018-2023 гг. На основании полученных результатов, нами были рассчитаны среднемесячные многолетние объёмы ионного биогенных веществ в пунктах отбора проб за период 2018-2023 гг. (таблица 55)



а



б



в

Рисунок 82 – Динамика среднегодовых значений концентрации нитрат-ионов (а), нитрит-ионов (б) и соединений железа (в)

Таблица 55 – Среднемесячный многолетний объем стока биогенных веществ в воде в пунктах отбора проб

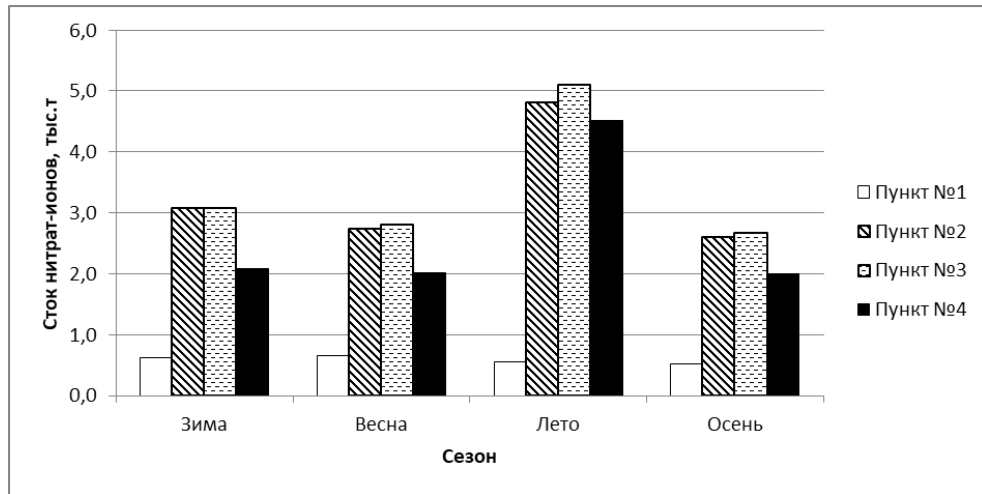
Ионы	Пункт отбора	Среднемесячный объем стока, тыс.т/мес											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
NO ₃ ⁻	1	0,2408	0,1959	0,2116	0,1891	0,2505	0,2207	0,1334	0,2032	0,1898	0,1766	0,1467	0,1889
	2	1,2166	0,9345	0,9806	0,7689	0,9904	1,7323	1,4254	1,6510	1,0955	0,7643	0,7326	0,9189
	3	1,1978	0,9638	0,9952	0,7881	1,0147	1,8543	1,5634	1,6749	1,1182	0,8002	0,7555	0,9131
	4	0,7949	0,6583	0,7101	0,5473	0,7559	1,6831	1,5912	1,2450	0,8516	0,5663	0,5763	0,6224
NO ₂ ⁻	1	0,0013	0,0014	0,0013	0,0015	0,0030	0,0033	0,0022	0,0017	0,0017	0,0013	0,0011	0,0012
	2	0,0064	0,0071	0,0076	0,0071	0,0126	0,0212	0,0145	0,0134	0,0106	0,0062	0,0062	0,0050
	3	0,0066	0,0071	0,0077	0,0073	0,0115	0,0211	0,0164	0,0128	0,0100	0,0059	0,0059	0,0047
	4	0,0051	0,0059	0,0060	0,0056	0,0087	0,0135	0,0088	0,0121	0,0082	0,0040	0,0054	0,0040
Fe ²⁺ , Fe ³⁺	1	0,0033	0,0024	0,0033	0,0047	0,0090	0,0160	0,0232	0,0269	0,0213	0,0102	0,0058	0,0032
	2	0,0175	0,0143	0,0180	0,0217	0,0403	0,1223	0,1887	0,2305	0,0931	0,0370	0,0282	0,0193
	3	0,0173	0,0144	0,0181	0,0223	0,0392	0,1233	0,1868	0,2382	0,0961	0,0400	0,0302	0,0190
	4	0,0140	0,0127	0,0145	0,0169	0,0293	0,0970	0,1261	0,1417	0,0536	0,0251	0,0193	0,0143

Сезонное распределение объемов стока биогенных веществ в воде исследуемых объектов зависит от водности и типа питания в основные сезоны года (таблица 56, рисунок 83).

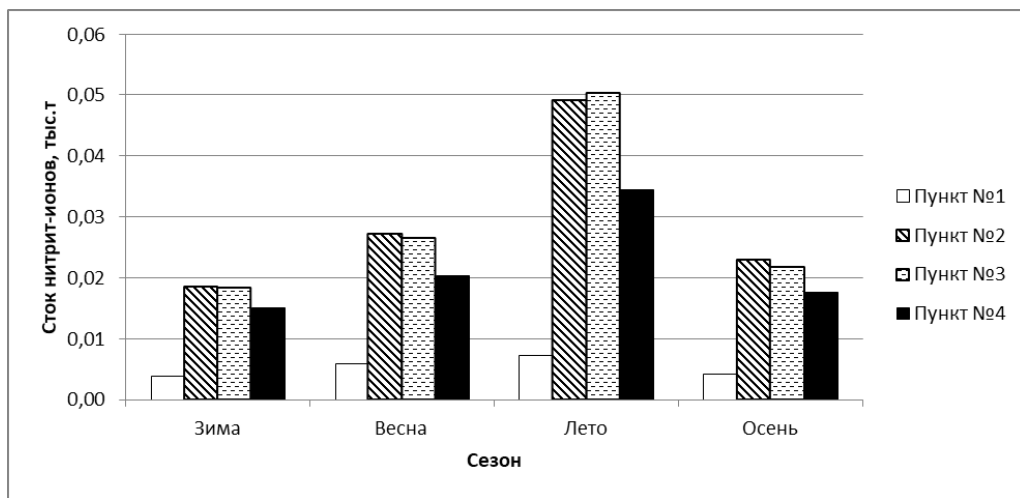
Таблица 56 – Сезонное распределение объема стока биогенных веществ в воде в пунктах отбора проб

Ионы	Пункт отбора	Зима		Весна		Лето		Осень	
		тыс.т/сезон	%	тыс.т/сезон	%	тыс.т/сезон	%	тыс.т/сезон	%
NO ₃ ⁻	1	0,63	26,65	0,65	27,74	0,56	23,74	0,51	21,86
	2	3,07	23,24	2,74	20,74	4,81	36,40	2,59	19,62
	3	3,07	22,54	2,80	20,51	5,09	37,34	2,67	19,60
	4	2,08	19,58	2,01	18,99	4,52	42,63	1,99	18,81
NO ₂ ⁻	1	0,0038	18,19	0,0058	27,70	0,0073	34,62	0,0041	19,49
	2	0,0186	15,76	0,0273	23,15	0,0490	41,64	0,0229	19,45
	3	0,0184	15,75	0,0265	22,67	0,0503	43,00	0,0217	18,57
	4	0,0151	17,21	0,0204	23,28	0,0344	39,36	0,0176	20,16
Fe ²⁺ , Fe ³⁺	1	0,0089	6,86	0,0171	13,24	0,0661	51,12	0,0372	28,78
	2	0,0511	6,15	0,0801	9,64	0,5415	65,16	0,1583	19,05
	3	0,0507	6,00	0,0796	9,43	0,5482	64,89	0,1662	19,68
	4	0,0410	7,27	0,0606	10,73	0,3648	64,64	0,0979	17,35

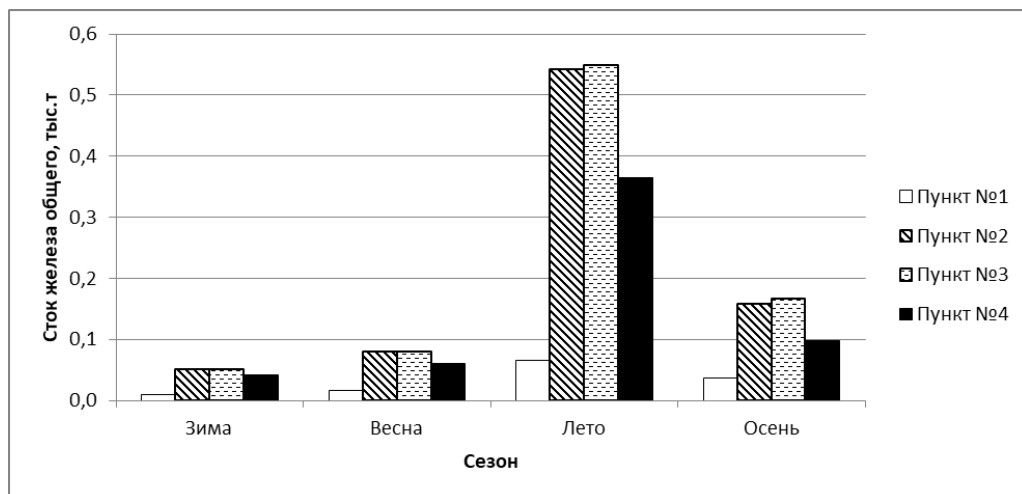
Наименьший объем ионного стока нитратов в р. Малка до впадения притока р. Баксан приходится на осенний период. Больше всего нитратов выносятся р. Малка (пункт №1) весной до 27,7 % общего годового объема. Можно заметить, что внутригодовое распределение ионного стока нитратов в р. Малка до слияния с Баксаном, достаточно равномерное по сезонам (рисунок 83а).



а



б



в

Рисунок 83 – Сезонная изменчивость объёма стока нитрат-ионов (а), нитрит-ионов (б) и общего железа (в) в пунктах отбора проб

Для остальных пунктов отбора, наблюдается выраженная дифференциация объёмов стока нитрат-ионов в зависимости от времени года. Для р. Малка после впадения притока р. Баксан (пункт №2) и перед впадением в р. Терек (пункт №3), как и для р. Баксан в устье (пункт №4), максимальный объём стока нитрат-ионов наблюдается летом, в период половодья. Минимальный объём стока нитратов в пунктах наблюдения № 2, 3 и 4 приходится на осень и составляет около 19% годового объёма стока.

Можно заметить, что зимой, весной и осенью объёмы стока нитратов в пунктах отбора № 2, № 3 и № 4 сопоставимы между собой, но летом наблюдается увеличение этого показателя. Летние объёмы стока нитратов больше минимальных осенних значений почти в 2 раза. Это объясняется тем, что антропогенная составляющая стока нитратов р. Баксан в летний период, намного больше, чем р. Малка до впадения притока.

Для стока нитритов наблюдается выраженная дифференциация по сезонам года, и зависимость от водности рек, во всех пунктах отбора проб. Максимальные объёмы наблюдаются летом в период половодья. Минимумы наблюдаются зимой в период межени. Летние объёмы стока нитритов превосходят зимние примерно в 2 раза.

Сезонная изменчивость стока соединений железа соответствует водности исследуемых объектов. Максимальные объёмы стока соединений железа отмечаются летом, минимальные – зимой. Следует отметить, что объём летнего стока железа в 10 раз превосходит объём зимнего стока.

На основе данных о среднегодовых концентрациях биогенных веществ в водах р. Малка и р. Баксан а также значений стока воды выполнен расчет среднегодовых и среднемноголетних стоков нитратов, нитритов и соединений железа (таблица 57).

Установлено, что в среднем в год р. Малка до впадения притока р. Баксан выносит 2,4 тыс. т нитратов в год, после впадения притока р. Баксан 13,2 тыс. т, а перед впадением в р. Терек 13,6 тыс. т нитратов в год, т.е. на участке в нижнем течении объём стока нитратов возрастает в 5,5 раз. Рост объёмов стока обусловлен тем, что приток р. Баксан выносит около 10,6 тыс. т нитратов в год. Анализ полученных данных

показывает, что вклад р. Баксан в формирование общего годового объёма стока нитратов рекой малка в р. Терек составляет около 80%, в то время как р. Малка без своего главного притока выносит до 18% объёма нитратов в год.

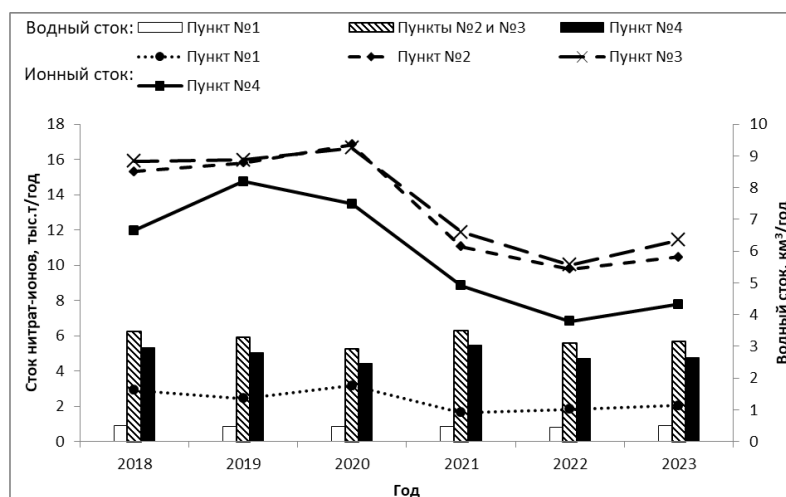
Таблица 57 – Объём стока биогенных веществ в пунктах отбора проб

Ионы	Пункт отбора	Объём стока, тыс.т/год					Средний многолетний	
		2018	2019	2020	2021	2022		2023
NO ₃ ⁻	1	2,9107	2,4496	3,1850	1,6538	1,8442	2,0403	2,3473
	2	15,3021	15,8142	16,8433	11,0527	9,7761	10,4772	13,2110
	3	15,8944	15,9615	16,6444	11,8803	10,0165	11,4384	13,6392
	4	11,9630	14,7416	13,4740	8,8393	6,8145	7,7822	10,6025
NO ₂ ⁻	1	0,0247	0,0156	0,0290	0,0319	0,0148	0,0103	0,0211
	2	0,1387	0,0919	0,1209	0,1608	0,1041	0,0902	0,1178
	3	0,1454	0,0924	0,1197	0,1469	0,1049	0,0921	0,1169
	4	0,1132	0,0723	0,0836	0,0859	0,0883	0,0817	0,0875
Fe ₂ ⁺ , Fe ₃ ⁺	1	0,1554	0,1192	0,1073	0,1450	0,1103	0,1389	0,1294
	2	0,9645	0,8160	0,7239	1,0069	0,7628	0,7121	0,8310
	3	1,0271	0,8057	0,7344	0,9903	0,7716	0,7396	0,8448
	4	0,6426	0,5313	0,4050	0,7195	0,5660	0,5219	0,5644

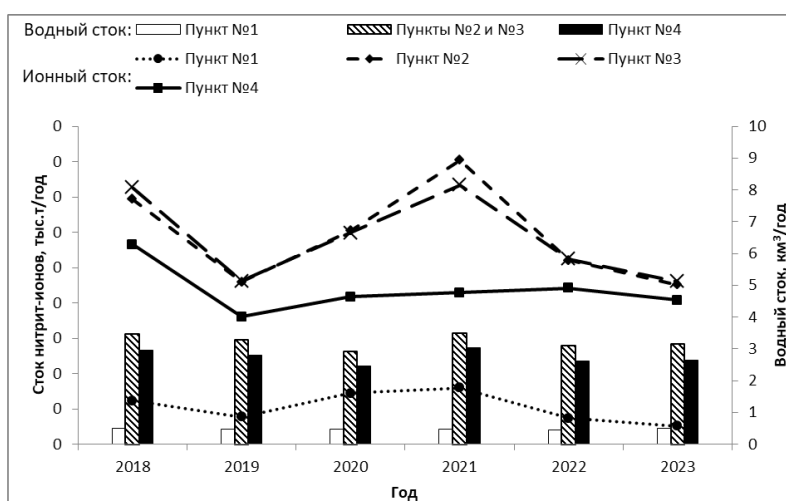
Средний многолетний объём стока нитритов р. Малка в пункте №1 составляет 0,02 тыс. т в год. Река Баксан (пункт №4) выносит в р. Малка 0,09 тыс. т нитритов в год. Слияние р. Малка с р. Баксан приводит к тому, что в реку Терек р. Малка выносится до 0,12 тыс. т нитритов в год. При этом р. Баксан выносит до 74% годового объёма стока нитритов, р. Малка без главного притока выносит до 17% объёма нитритов в год.

Средний многолетний объём стока соединений железа р. Малка до слияния с р. Баксан составляет 0,13 тыс. т в год. Слияние с р. Баксан, которая выносит до 0,56 тыс. т соединений железа в год, приводит к тому, что р. Малка выносит в р. Терек до 0,84 тыс. т растворенных соединений железа в год. Река Баксан выносит до 67% годового объёма стока соединений железа, р. Малка без главного притока выносит до 15% объёма соединений железа в год.

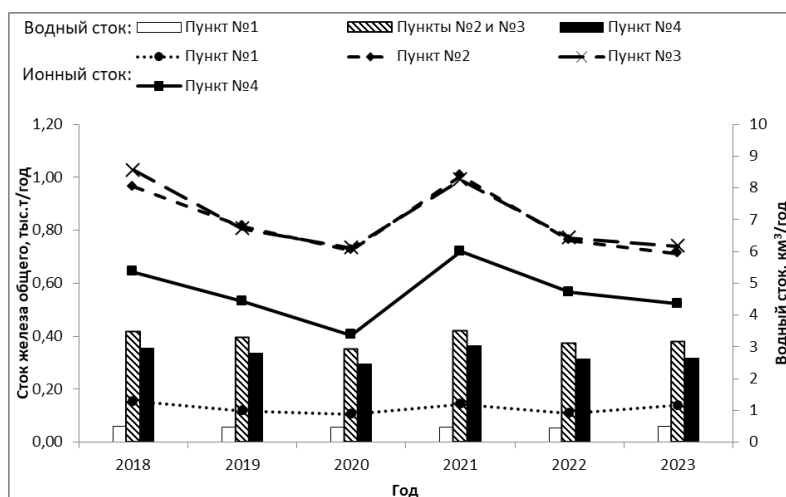
Сток биогенных соединений в пунктах отбора проб не всегда пропорционален водному стоку, так как подвержен антропогенному влиянию значительно больше, чем сток основных ионов (рисунок 84).



а



б



в

Рисунок 84 – Временная изменчивость водного стока и среднегодовых значений объемов стока биогенных веществ в пунктах отбора проб: нитраты (а), нитриты (б), соединения железа (в)

Анализ временной изменчивости стока нитратов показывает, что наиболее сильным антропогенное воздействие было в период с 2018 по 2020 год, когда корреляция между химическим и водным стоком практически отсутствует (рисунок 84а). Особенно это заметно для р. Баксан (пункт №4) и р. Малка после слияния с р. Баксан (пункты №2 и 3).

В период 2021-2023 гг. корреляция химического и водного стока становится заметно выраженной, что говорит о снижении антропогенной составляющей в сток нитратов. Подтверждением этого обстоятельства может служить и снижение массовой концентрации нитратов в воде исследуемых объектов.

Временная динамика нитритов показывает, что имеется взаимосвязь объёмов стока ионов NO_2^- с водностью исследуемых объектов. При этом в 2021 году наблюдался более интенсивный рост концентрации нитритов в р. Малка, чем в р. Баксан, что возможно связано с сильным загрязнением р. Малка в этот период на всем протяжении реки, сопровождающимся процессами нитрификации.

Сопоставление временной изменчивости водного стока и среднегодовых значений стока соединений железа, показывает, что имеется достаточно выраженная корреляция между ними величин в течение всего периода наблюдений.

Для проведения ретроспективного анализа нарушенности стока биогенных веществ в современном периоде по сравнению с историческим фоновым периодом, на основании литературных справочных данных о химическом составе воды р. Малка (пункт взятия проб станица Прохладная) [4] нами рассчитана среднегодовая концентрация общего железа в начале 40-х годов XX века, которая составила менее 0,1 мг/л. Используя полученные значения концентраций общего железа и расходов воды нами рассчитан сток общего железа в историческом фоновом периоде, который составил 0,35 тыс. т/год. Полученные значения сопоставлялись с данными полученными нами в современном периоде для пункта отбора проб №2. Расчет нарушенности стока показал, что в современном периоде, по сравнению с историческим фоновым периодом, более чем за 80 лет, сток общего железа увеличился на 139,6%, т.е. возрос практически в 1,4 раза, антропогенная составляющая стока общего железа составляет 0,5 тыс. т/год или

60 %, что свидетельствует об очень высоком влиянии антропогенных факторов на рост стока общего железа.

Трансформация термического режима, приведшая к росту температуры речной воды могла способствовать увеличению числа микроорганизмов, окисляющих и восстанавливающих железо, и переводящих его из взвешенной в растворимую форму. Значительному росту стока общего железа в современном периоде способствовало хозяйственное освоение пойменных геосистем р. Малка. Развитие сельского хозяйства способствует повышению содержания общего железа в речной воде в связи с возможным попаданием в почву и водоем неочищенных стоков животноводческих ферм, использованием железосодержащих инсектицидов (например, железного купороса) для борьбы с вредителями, интенсивной мелиорацией полей, приводящей к вымыванию из почв растворимых гидроксокомплексов железа и комплексов железа с гуминовыми и фульвокислотами. Как показывают наши расчеты значительное влияние на величину стока общего железа р. Малка оказывает приток р. Баксан, в верховьях которого долгое время функционировал Тырныаузский горно-обогатительный комбинат, загрязняя окружающую среду тяжелыми металлами.

Согласно литературным данным [4], нитраты в химическом составе воды р. Малка в нижнем течении в историческом фоновом периоде отсутствовали, из чего следует, что весь сток ионов NO_3^- обусловлен антропогенными факторами, наиболее весомым, из которых является сельско-хозяйственное освоение долины р. Малка.

Для пространственного сопоставления сезонных и среднегодовых значений объёмов стока биогенных веществ в пунктах отбора проб нами рассчитан модуль стока нитратов, нитритов и соединений железа (таблица 58).

Расчет показывает, что минимальное количество нитратов выносится реками Малка и Баксан в осенний период. Максимум приходится на летний период. В целом, среднемноголетние годовые значения модуля стока нитратов р. Баксан в 2 раза больше, чем р. Малка без притока. Меньше всего нитритов и соединений железа в течении года выносится р. Малка зимой, максимум приходится на летний период. Река Баксан выносит с одного квадратного

километра в 1,8 раза больше нитритов и в 1,9 раза больше соединений железа, чем р. Малка до слияния с Баксаном.

Таблица 58 – Сезонное распределение модуля стока биогенных веществ в пунктах отбора проб

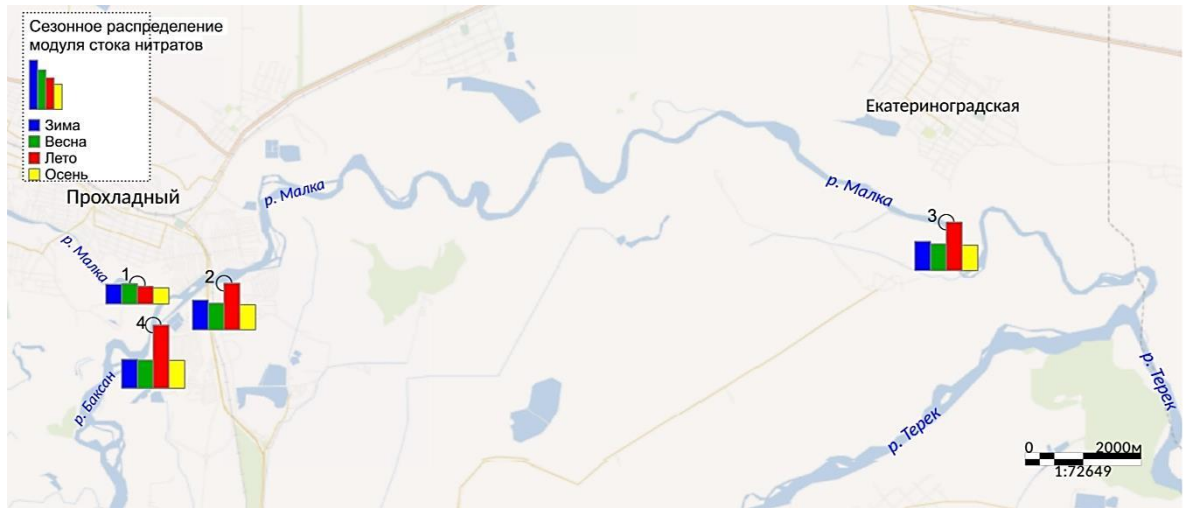
Ионы	Пункт отбора	Зима		Весна		Лето		Осень		Год
		тыс.т./сезон·км ²	%	тыс.т./сезон·км ²	%	тыс.т./сезон·км ²	%	тыс.т./сезон·км ²	%	тыс.т./сезон·км ²
NO ₃ ⁻	1	0,2072	26,65	0,2156	27,74	0,1846	23,74	0,1699	21,86	0,7772
	2	0,3126	23,24	0,2790	20,74	0,4897	36,40	0,2640	19,62	1,3453
	3	0,3075	22,54	0,2798	20,51	0,5093	37,34	0,2674	19,60	1,3639
	4	0,3052	19,58	0,2961	18,99	0,6646	42,63	0,2933	18,81	1,5592
NO ₂ ⁻	1	0,0013	18,19	0,0019	27,70	0,0024	34,62	0,0014	19,49	0,0070
	2	0,0019	15,76	0,0028	23,15	0,0050	41,64	0,0023	19,45	0,0120
	3	0,0018	15,75	0,0027	22,67	0,0050	43,00	0,0022	18,57	0,0117
	4	0,0022	17,21	0,0030	23,28	0,0051	39,36	0,0026	20,16	0,0129
Fe ²⁺ , Fe ³⁺	1	0,0029	6,86	0,0057	13,24	0,0219	51,12	0,0123	28,78	0,0428
	2	0,0052	6,15	0,0082	9,64	0,0551	65,16	0,0161	19,05	0,0846
	3	0,0051	6,00	0,0080	9,43	0,0548	64,89	0,0166	19,68	0,0845
	4	0,0060	7,27	0,0089	10,73	0,0537	64,64	0,0144	17,35	0,0830

Для визуализации территориальной дифференциации и сезонной изменчивости модуля стока биогенных веществ в нижнем течении р. Малка построены соответствующие тематические карты (рисунок 85).

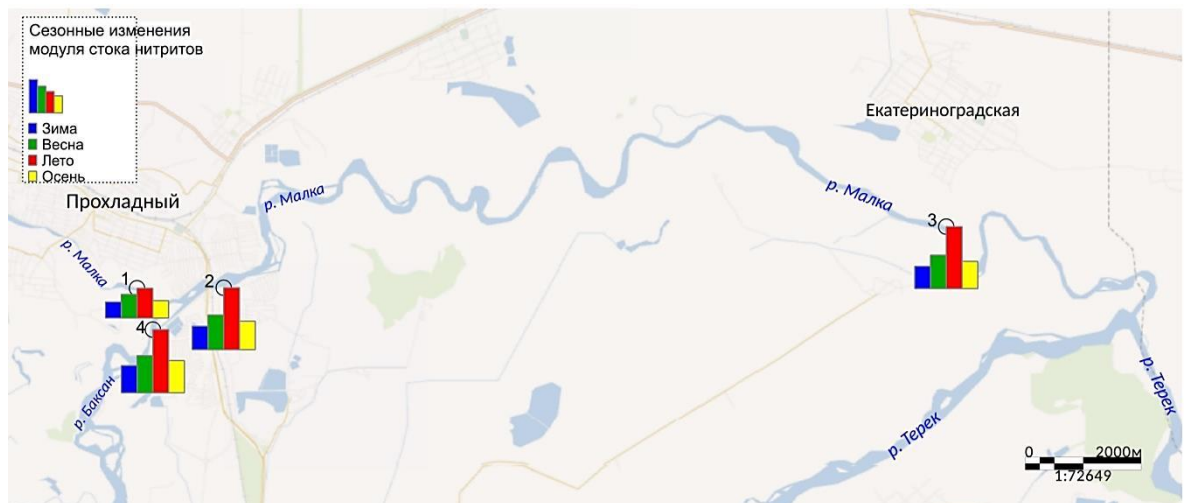
Для анализа структуры суммарного модуля стока биогенных веществ, нами рассчитан вклад ионов NO₃⁻, NO₂⁻, Fe²⁺ и Fe³⁺ в формирование общего годового модуля стока главных анионов (таблица 59).

Таблица 59 – Структура модуля стока основных биогенных веществ в пунктах отбора проб

Пункт отбора	Вклад иона в модуль стока, %								
	NO ₃ ⁻			NO ₂ ⁻			Fe ²⁺ и Fe ³⁺		
	Минимальный	Максимальный	Средний много-летний	Минимальный	Максимальный	Средний много-летний	Минимальный	Максимальный	Средний много-летний
1	90,3	95,9	94,0	0,5	1,7	0,8	3,2	7,9	5,2
2	90,4	95,2	93,3	0,5	1,3	0,8	4,1	8,2	5,9
3	91,3	95,1	93,4	0,5	1,1	0,8	4,2	7,6	5,8
4	91,2	96,5	94,2	0,5	1,2	0,8	2,9	7,6	5,0



а



б



в

Рисунок 85 – Сезонная изменчивость модуля стока биогенных веществ в пунктах отбора проб: нитратов (а), нитритов (б), соединений железа (в)

Анализ временной изменчивости структуры стока биогенных веществ показывает его стабильность во времени для всех анализируемых объектов. Для визуализации территориальной дифференциации структуры модуля стока биогенных веществ в нижнем течении р. Малка построена соответствующая тематическая карта (рисунок 86).

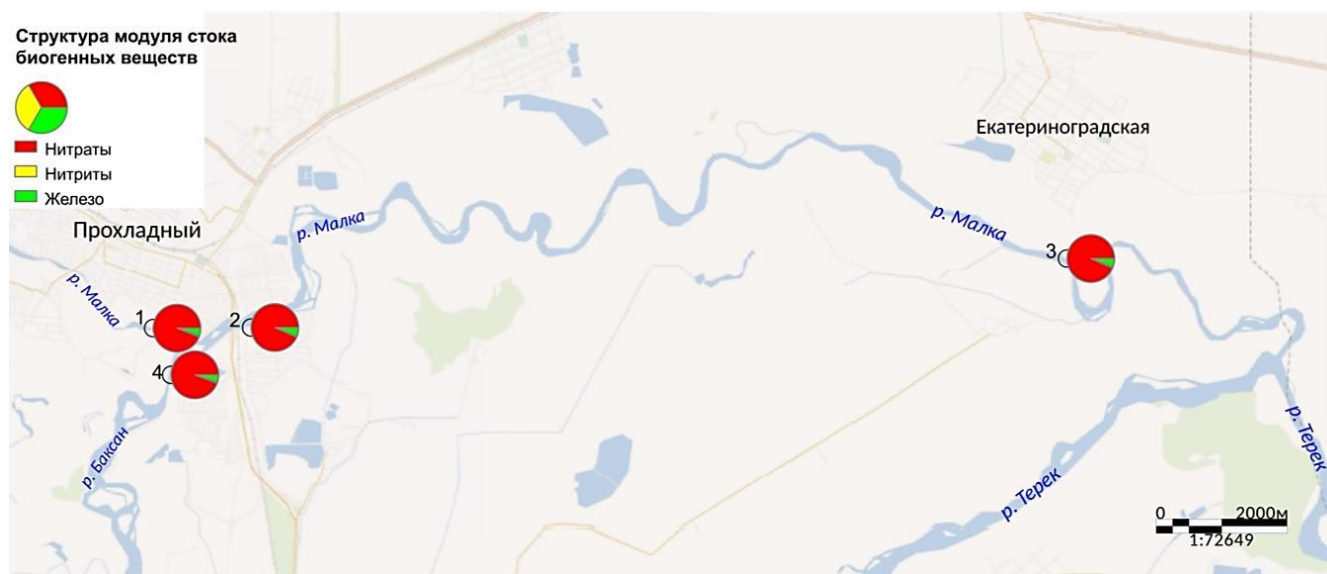


Рисунок 86 – Пространственная изменчивость структуры модуля стока биогенных веществ в пунктах отбора проб

В структуре модуля стока биогенных веществ, во всех пунктах отбора проб, преобладающими являются нитрат-ионы, они составляют около 94% суммарного значения. Максимальные и минимальные вклады нитратов отклоняются от средней величины незначительно. Вторым по количественному вкладу в формирование общего модуля стока биогенных веществ является общее железо, его вклад составляет около 5%. Вклад нитритов, в формирование модуля стока биогенных веществ наименьший - около 0,8%, при этом они показывают наибольшую амплитуду значений во времени.

6.5. Химический состав подземных вод и их значение в формировании стока главных анионов и биогенных веществ

Вместе с поверхностными водами вода, содержащаяся в недрах, является национальным достоянием государства и составляет основу водного фонда Российской Федерации. Подземные воды отличаются большим разнообразием химического состава, формируемого под влиянием гидрогеологических условий региона. Известно также, что состав подземной воды определяется теми породами в толще земной коры, между которыми она залегает. Геологические пласты и время формирования бассейна влияют на то, какие микроэлементы растворены в подземной воде [95].

Отсутствие прямого контакта с атмосферой и земной поверхностью, а также глубина залегания оказывают влияние на химический состав подземных вод. При этом атмосферные осадки и речные воды могут поступать в подземные воды, фильтруясь через слой почвы и грунта. Одним из основных факторов взаимного влияния подземных и поверхностных вод будет положение относительно базиса эрозии – самого низкого уровня вреза крупной реки, которая дренирует гидрогеологический район [5].

Река Малка относится к рекам со смешанным питанием, в период межени большей частью она питается подземными водами, которые оказывают значительное влияние на химический сток реки.

Нами изучена внутригодовая динамика химического состава воды подземного источника, расположенного на пойменном участке р. Малка в нижнем течении, результаты исследования представлены в работе [189]. Ежемесячно в течение 2023 года отбирались пробы воды подземного источника.

В момент взятия пробы измеряли температуру воды и воздуха, определяли расход (таблица 60).

Таблица 60 – Температура воздуха, температура и расход воды

Месяц	Температура воздуха, °С	Температура воды, °С	Расход, дм ³ /с
I	+5,7	+14,5	4,47
II	+11,5	+14,7	4,55
III	+20,0	+14,8	4,67
IV	+20,1	+14,8	4,76
V	+26,9	+14,9	4,81
VI	+25,3	+14,8	4,95
VII	+29,1	+14,9	4,83
VIII	+34,8	+14,8	4,45
IX	+25,9	+14,8	4,77
X	+25,3	+14,8	4,85
XI	+14,6	+14,7	4,44
XII	+6,6	+14,5	4,41

Установлено, что температура воды подземного источника остаётся практически постоянной в течение года и составляет в среднем 14,75 °С. Водоносные слои, расположенные глубоко под землей, мало подвержены сезонным изменениям температуры. На незначительное колебание температуры воды подземного источника могут влиять тектонические процессы. На достаточно большой глубине, превышающей 100 м, температура горных пород может повышаться, подогревая контактирующие с ними подземные воды.

Для изучения закономерностей водного режима подземного источника нами определен расход воды (таблица 60). В течение года расход претерпевал незначительные изменения (рисунок 87), достигая максимальных значений в июне (4,95 дм³/с) и минимальных в декабре (4,41 дм³/с). Среднегодовой расход источника составил 4,66 дм³/с.

Прозрачность всех взятых проб превышала 35 см – максимальное значение на используемом приборе. Количественная оценка интенсивности запаха всех взятых проб воды, нагретых до 20 и 60 °С, соответствовала 0 баллов, ощутимый запах отсутствовал.

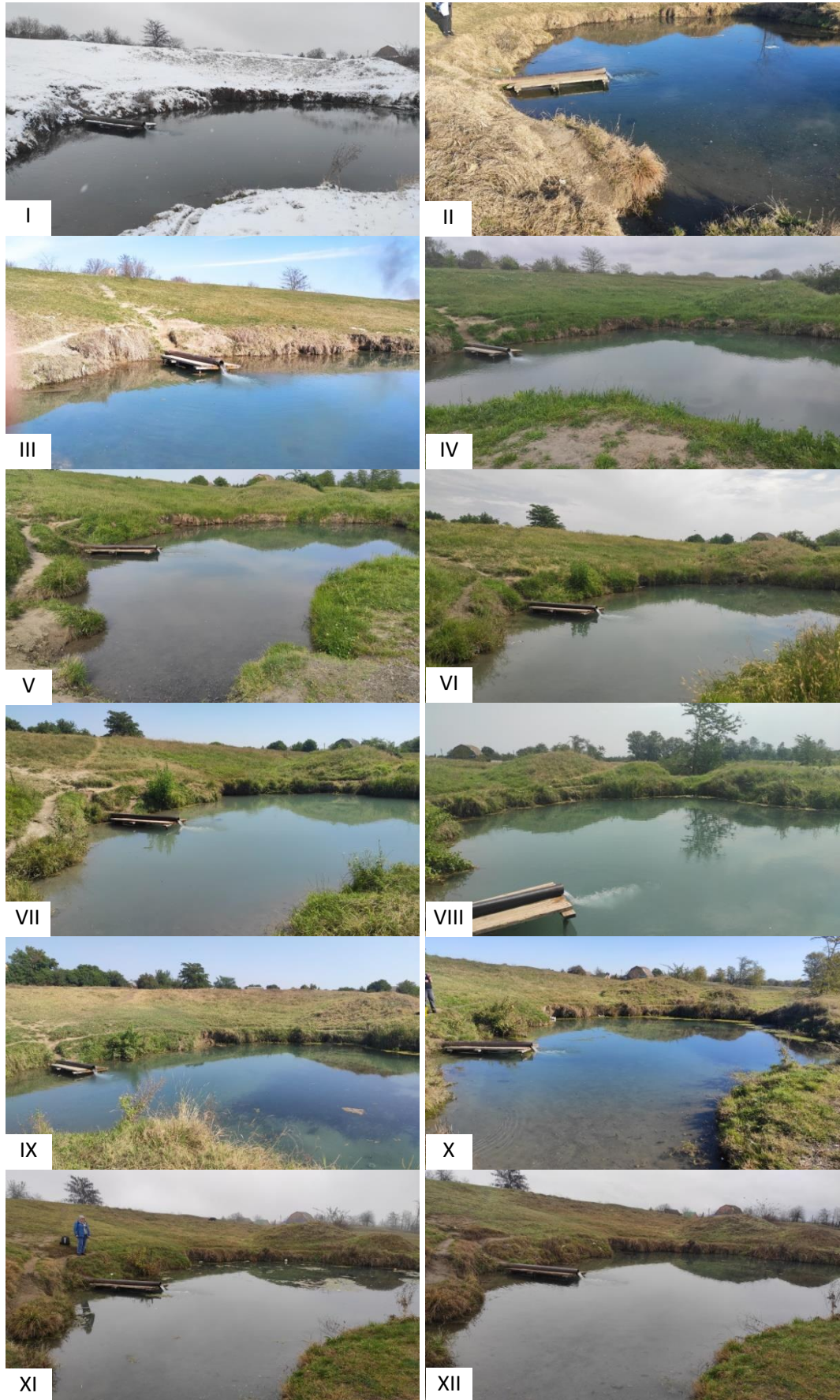


Рисунок 87 – Сезонные фотографии подземного источника, расположенного на пойменном участке в нижнем течении р. Малка (фото автора, 2023 г.).

Измерение рН проводили в лабораторных условиях, термостатируя исследуемые образцы при 20 °С. Максимальное значение водородного показателя составило 6,86, минимальное – 6,14 (таблица 61).

Таблица 61 – Значение рН, минерализация, жесткость и перманганатная окисляемость

Месяц	рН	Минерализация (сухой остаток), мг/дм ³	Жёсткость, °Ж	Перманганатная окисляемость, мг[О]/дм ³
I	6,86	303	3,81	1,84
II	6,46	300	3,85	1,92
III	6,23	305	3,70	2,08
IV	6,46	307	3,80	2,16
V	6,14	303	4,07	1,92
VI	6,46	287	4,39	1,84
VII	6,86	296	4,04	1,92
VIII	6,86	313	3,84	1,76
IX	6,54	307	4,09	1,76
X	6,46	313	3,84	1,84
XI	6,46	313	3,84	1,84
XII	6,86	333	3,79	1,84

Среднегодовое значение рН – 6,55, что соответствует допустимому интервалу значений рН, определяемому от 6 до 9 [153]. Вода подземного источника по уровню рН относится к нейтральным (рисунок 88а). Значение рН большинства проб исследованной нами воды подземного источника обратно пропорционально содержанию гидрокарбонатов (таблица 62).

Минерализация подземных вод в большей степени зависит от скорости движения воды в породе, наличия трещин, глубины залегания вод от поверхности, возможного подтока воды из расположенных выше горизонтов, фильтрации речных вод и других условий [5]. В течение года минерализация исследуемой воды подземного источника подвергается небольшим сезонным изменениям (таблица 61, рисунок 88б).

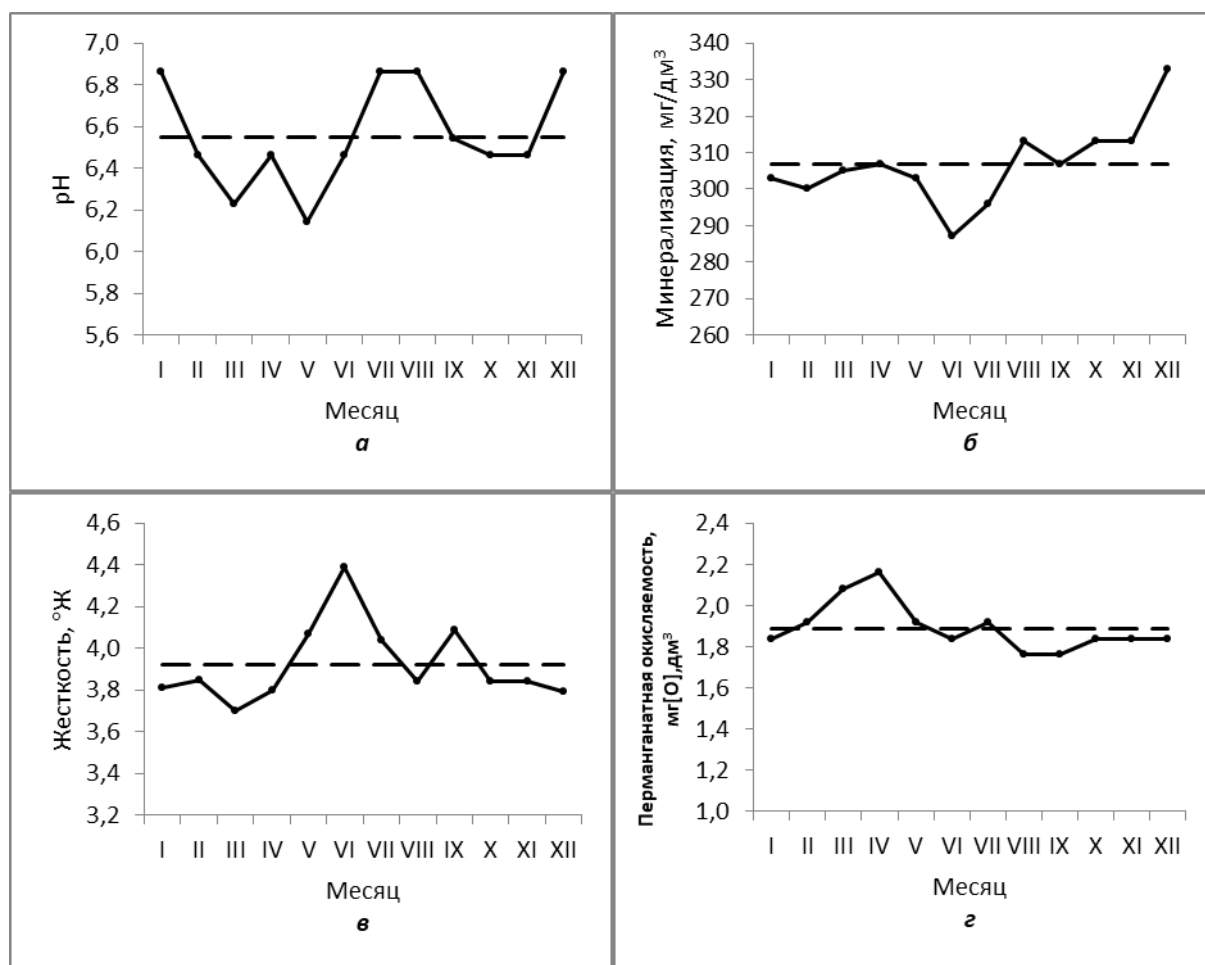


Рисунок 88 – Внутригодовая динамика значений рН (а), минерализации (б), жесткости (в) и перманганатной окисляемости (г) воды подземного источника (пунктирная линия соответствует среднегодовому значению)

Максимальное количество растворённых в воде подземного источника веществ зафиксировано в декабре (333 мг/дм³), когда расход был наименьшим (4,41 дм³/с), минимальное – в июне (287 мг/дм³), соответствующее наибольшему расходу 4,95 дм³/с. Среднегодовая минерализация подземного источника составила 307 мг/дм³, что соответствует «пресным водам».

Общая жёсткость исследуемой воды в течение года менялась не значительно, при этом достигала максимума в июне (4,39 °Ж) и минимума в марте (3,07 °Ж) (таблица 61, рисунок 88в). Среднегодовое значение жёсткости составило 3,92 °Ж, что соответствует требованиям санитарных правил и нормам

для питьевой воды нецентрализованного водоснабжения [152]. Согласно, шкале, приведённой в [130], анализируемая вода относится к водам «средней жёсткости».

Показателем, характеризующим интегральную загрязненность воды, обусловленную содержанием окисляющихся органических и неорганических примесей, является перманганатная окисляемость. Содержание органических загрязняющих веществ характерно в основном для вод поверхностных источников. Вода подземных источников в качестве легкоокисляющихся соединений может содержать неорганические ионы, в частности Fe^{2+} , Co^{2+} . Минимальное значение перманганатной окисляемости воды подземного источника зафиксировано в августе и сентябре $1,76 \text{ мг[O]/дм}^3$, максимальное – в апреле $2,16 \text{ мг[O]/дм}^3$ (рисунок 87г). В эти же месяцы в пробах воды зафиксировано минимальное и максимальное содержание общего железа (таблица 62). Среднегодовое значение перманганатной окисляемости воды подземного источника составило $1,89 \text{ мг[O]/дм}^3$. Согласно санитарным правилам и нормам [152], для питьевой воды нецентрализованного водоснабжения перманганатная окисляемость не может превышать $5,0 \text{ мг[O]/дм}^3$.

Главными компонентами ионного состава природных вод являются карбонат- и гидрокарбонат-ионы. Их возникновение обусловлено процессами растворения солей угольной кислоты, в большей степени карбонатов кальция и магния. Было установлено, что свободная щелочность всех анализируемых проб воды равна нулю, что свидетельствует об отсутствии карбонатов в составе анализируемых проб воды или их количество меньше предела обнаружения используемой нами методики. На основании значений общей щелочности рассчитана ежемесячная массовая концентрация гидрокарбонатов в анализируемых пробах воды (таблица 62).

Таблица 62 – Химический состав воды подземного источника

Месяц	Гидро-карбонаты, мг/дм ³	Хлориды, мг/дм ³	Сульфаты, мг/дм ³	Нитриты, мг/дм ³	Нитраты, мг/дм ³	Железо общее, мг/дм ³
I	139	10,10	130	0,0013	1,81	0,095
II	140	10,80	122	0,0018	2,02	0,107
III	141	10,50	123	0,0023	2,07	0,147
IV	143	12,66	119	0,0017	1,52	0,170
V	146	13,36	113	0,0009	1,21	0,100
VI	140	7,15	119	0,0010	0,75	0,075
VII	138	9,84	123	0,0019	1,39	0,107
VIII	139	9,83	147	0,0016	1,42	0,026
IX	138	8,94	142	0,0009	1,58	0,026
X	136	8,44	150	0,0010	1,97	0,045
XI	140	8,94	160	0,0013	1,83	0,052
XII	138	11,62	173	0,0011	1,71	0,084

Концентрация гидрокарбонат-ионов в пробах анализируемой воды в течение года не претерпевает значительных изменений (рисунок 89а). Максимальная концентрация была зафиксирована в мае (146 мг/дм³), минимальная – в октябре (136 мг/дм³). Среднегодовое значение массовой концентрации ионов HCO_3^- составило 140 мг/дм³. Содержание карбонатов и гидрокарбонатов в воде нецентрализованного водоснабжения не нормируется..

К главным ионам химического состава природных вод относятся хлоридные ионы. Источниками хлоридов в подземных водах являются магматические породы, в состав которых входят хлорсодержащие минералы и соленосные отложения. Установлено, что концентрация хлоридов в анализируемых пробах не высока (10,18 мг/дм³) и подвержена сезонной изменчивости (таблица 62, рисунок 89б). Максимальные значения зафиксированы в мае (13,36 мг/дм³), минимальные – в июне (7,15 мг/дм³). Содержание хлоридов в исследуемой воде значительно ниже порогового значения, установленного санитарными правилами и нормами для вод нецентрализованного водоснабжения – 350 мг/дм³ [153].

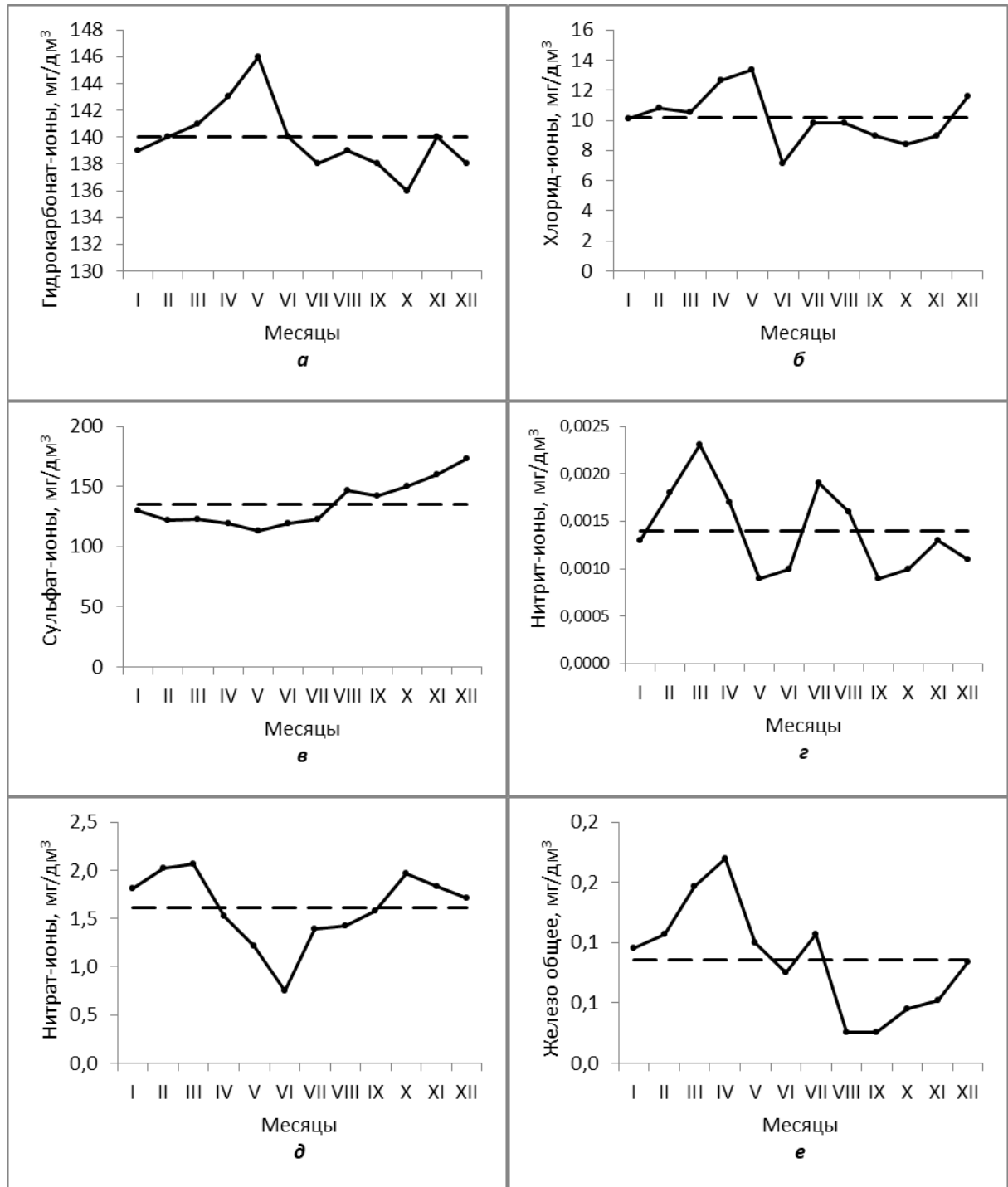


Рисунок 89 – Внутригодовая динамика массовой концентрации гидрокарбонатов (а), хлоридов (б), сульфатов (в), нитритов (г), нитратов (д) и общего железа (е) в воде подземного источника (пунктирная линия соответствует среднегодовому значению)

Появление сульфатов в подземных водах обусловлено контактом с гипсом, входящим в состав осадочных горных пород, процессами окисления самородной

серы и сульфидов. Максимальная концентрация сульфатов в пробах исследуемой подземной воды была зафиксирована в декабре (173 мг/дм^3), минимальная – в мае (113 мг/дм^3) (таблица 62, рисунок 89в). Среднегодовая концентрация сульфатов составила 135 мг/дм^3 . Содержание сульфатов в исследуемой воде ниже порогового значения, установленного санитарными правилами и нормами для вод нецентрализованного водоснабжения, – 500 мг/дм^3 [153].

Важными показателями качества и индикатором чистоты природных вод являются соединения азота. Нитриты и нитраты относятся к биогенным веществам. Вместе с тем нитраты и нитриты могут появляться в природных водах и неорганическим путем. Нитриты неустойчивы и в поверхностных водах под воздействием кислорода воздуха достаточно быстро окисляются до нитратов. В связи с этим концентрация нитритов в поверхностных водах достаточно низкая, в то время как в подземных водах, не контактирующих с атмосферой, концентрация нитритов обычно выше. Нами установлено, что в исследуемых пробах воды подземного источника концентрация нитритов очень низкая. Наибольшая концентрация нитрит-ионов зафиксирована в марте ($0,0023 \text{ мг/дм}^3$), минимальная – в мае и сентябре ($0,0009 \text{ мг/дм}^3$) (таблица 62, рисунок 89г). Среднегодовая концентрация нитрит-ионов в исследуемой воде составила $0,0014 \text{ мг/дм}^3$. Содержание нитритов в исследуемой воде не превышало $3,0 \text{ мг/дм}^3$ – ПДК, установленной санитарными правилами и нормами [152].

Наибольшая концентрация нитратов зафиксирована в марте ($2,07 \text{ мг/дм}^3$), минимальная – в июне ($0,75 \text{ мг/дм}^3$) (таблица 62, рисунок 89д). Среднегодовая концентрация нитритов в исследуемой воде составила $1,61 \text{ мг/дм}^3$, что значительно ниже $45,0 \text{ мг/дм}^3$ установленной ПДК [152].

В составе поверхностных и подземных вод часто содержатся соединения железа, которое входит в состав многих горных пород. В составе подземных вод в связи с отсутствием контакта с кислородом воздуха преобладают ионы Fe^{2+} , находящиеся в растворённом состоянии в виде гидрокарбоната железа (II). В исследуемых пробах подземной воды нами определена массовая концентрация общего железа. Наибольшее содержание общего железа зафиксировано в апреле

(0,170 мг/дм³), наименьшее – в августе и сентябре (0,026 мг/дм³) (таблица 62, рисунок 88е). Среднегодовая концентрация общего железа в исследуемых пробах воды составила 0,086 мг/дм³, что значительно ниже 0,3 мг/дм³ установленной ПДК [152].

Исследование проб воды методом рентгенофлуоресцентного анализа показало наличие в их составе таких микроэлементов, как медь, рубидий, кобальт, цинк, европий, серебро, ванадий. Качественный микроэлементный состав в течение года не изменялся.

Санитарно-микробиологический анализ проб воды подземного источника, отобранных в декабре 2023 г., показал, что патогенная микрофлора в них не обнаружена (таблица 63).

Таблица 63 – Результаты санитарно-микробиологического анализа воды подземного источника

Определяемый показатель	Единица измерения	Результаты испытания
<i>Esherichia coli</i>	КОЕ/100 см ³	0
Сальмонелла	КОЕ/дм ³	Не обнаружено
Обобщённые колиформные бактерии	КОЕ/100 см ³	0
Общее микробное число	КОЕ/см ³	0
Энтерококки	КОЕ/100 см ³	Не обнаружено

Для оценки вклада подземных вод расположенных на пойменном участке реки Малка в нижнем течении, в общий объём стока реки Малка, нами рассчитан объём стока главных ионов и биогенных веществ, выносимых подземными водами. В соответствии с официальными картографическими данными представленными в Базе знаний Института геоэкологии РАН (<https://hgepro.ru/mapgis/>) (рисунок 90) на исследуемой территории расположено месторождение питьевых пресных подземных вод (№6 на карте). По данным ФГУПП «Гидроспецгеология», по состоянию на 1 января 2014 года запасы МПВ «Прохладненское» оценивались в 93 тыс. м³/сут. (рисунок 91).

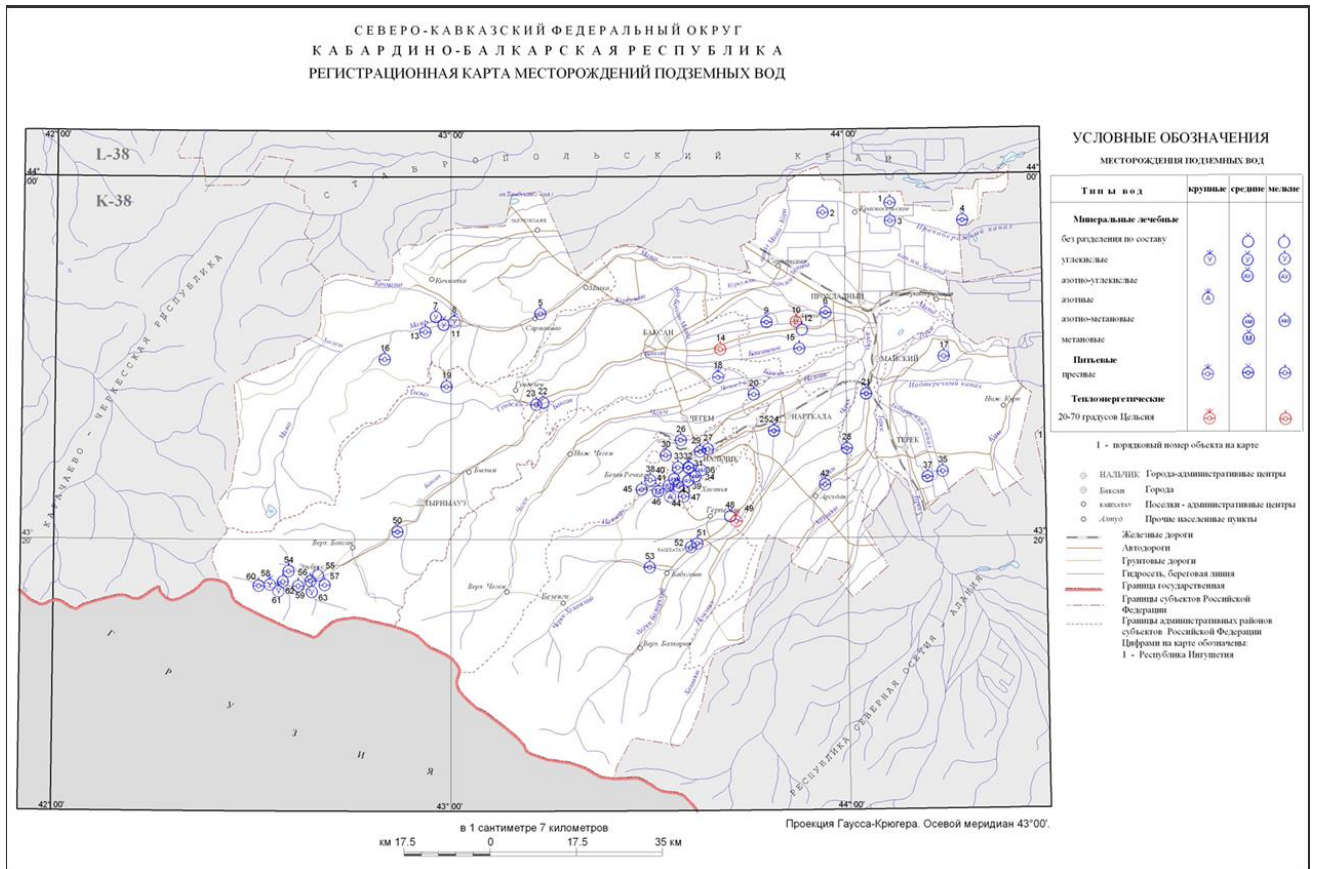


Рисунок 90 – Регистрационная карта месторождений подземных вод расположенных на территории Кабардино-Балкарской Республики

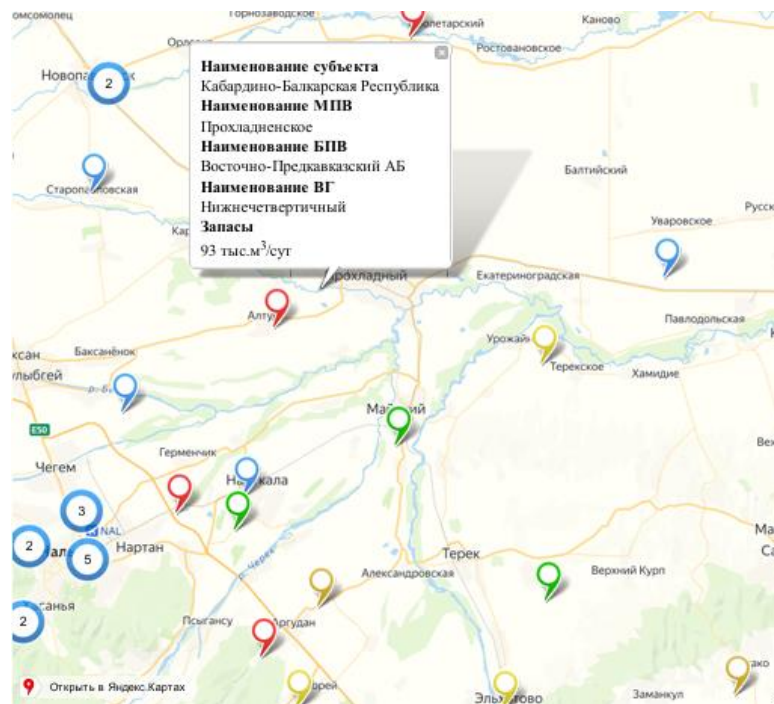


Рисунок 91 – Фрагмент карты месторождений подземных вод территории Российской Федерации по состоянию на 01.01.2014 г.

На основе полученных нами данных о среднегодовых концентрациях и литературных данных о запасах воды рассчитан годовой объём стока главных ионов и биогенных веществ (таблица 64).

Таблица 64 – Среднегодовой объём стока главных ионов и биогенных веществ водами МПВ «Прохладненское»

Показатель	Среднегодовая концентрация, мг/дм ³	Среднесуточный объём стока, т/сут	Среднегодовой объём стока, т/год	Вклад МПВ «Прохладненское» в химический сток реки Малка, %
Гидрокарбонаты	139,83	13,00	4746,64	5,03
Хлориды	10,18	0,95	345,62	3,42
Сульфаты	135,08	12,56	4585,40	6,41
Нитриты	0,0014	0,00013	0,0475	0,22
Нитраты	1,6067	0,1494	54,54	2,32
Железо общее	0,0862	0,0080	2,92	2,26

Как видно из полученных данных подземными водами выносятся примерно одинаковое количество гидрокарбонатов и сульфатов 4,7 (5%) и 4,6 тыс. т/год (6,4%) соответственно и 0,3 тыс. т/год (3,4%) хлоридов. Из биогенных веществ больше всего выносятся нитратов 0,05 тыс. т/год (2,3%). Подземная составляющая химического стока р. Малка, формирующаяся за счет вод подземных месторождений расположенных на участке в нижнем течении не велика.

Следует отметить, что большая часть месторождений подземных вод КБР, находятся в северо-восточной части республики и приурочены к Восточно-Предкавказскому бассейну пластовых и блоково-пластовых напорных вод с общими запасами 896,8 тыс. м³/сут. Подземные воды, питающие реку Малка относящиеся к средним и крупным углекислым, к мелким пресным располагаются в верхнем течении Малки, на участке между впадением притоков Хасаут и Кичмалка (рисунок 88), большая часть ингредиентов химического стока, поступающего с подземным питанием реки, обеспечивается этими водами.

6.6. Хозяйственное освоение долинных ландшафтов рек Малка и Баксан

Трансформация климатических условий в сочетании с ростом антропогенного воздействия на окружающую среду оказывают влияние на протекание естественных природных процессов [30].

На территории бассейна р. Малка уникальные природные комплексы и ландшафты располагаются в непосредственной близости от населённых пунктов. Проблема экологических последствий возникающих по причине хозяйственного освоения природных комплексов обусловлена ростом численности промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

В пределах Кабардино-Балкарской республики, на территории которой расположен бассейн р. Малка, повышение уровня загрязнённости происходит в ряду таких компонентов геосистем, как почвы, донные отложения, поверхностные воды [61]. Поверхностные воды, являющиеся транспортирующими компонентами геосистем, способные, в той или иной степени, растворять различные химические вещества в большей степени, чем почвы, являющиеся депонирующими компонентами, способны накапливать загрязняющие вещества как природного, так и антропогенного происхождения.

Нами составлена таблица, отражающая сведения об основных видах социально-экономической деятельности, характерной для населённых пунктов, расположенных в пределах долинных ландшафтов рек Малка и Баксан (таблица 65).

Экологическое состояние участка бассейна р. Малка в нижнем течении во многом определяется степенью хозяйственного освоения долинных ландшафтов р. Баксан, являющейся притоком первого порядка и в два раза превосходящего по площади водосбора р. Малка [177].

На основании анализа данных о хозяйственном освоении территории бассейна р. Малка нами составлена карта-схема водного объекта, отражающая экологическую ситуацию с учетом размещения потенциально опасных объектов и возможных путей поступления в реку загрязняющих веществ (рисунок 92).

Таблица 65 – Социально-экономическая деятельность населенных пунктов расположенных в пределах долинных ландшафтов рек Малка и Баксан

Река	Населённый пункт	Социально-экономическая деятельность
Малка	с.п. Хабаз	Сельское хозяйство: разведение овец и крупного рогатого скота; выращивание картофеля, овса и силосных культур
	с. Каменноостское	Сельское хозяйство: молочное животноводство; выращивание картофеля. Промышленность: ООО «Энергоресурс»; добыча известняка и других осадочных горных пород.
	с. Сармаково	Сельское хозяйство: разведение крупного рогатого скота; Промышленность: ООО «Сармаковский комбинат»; ООО «Альянс»; ООО «Сармаковская МПМК»; добыча гравелистого песка, известняка, вулканического пепла.
	с. Камлюко	Сельское хозяйство: разведение овец и крупного рогатого скота; выращивание картофеля, кукурузы, подсолнечника Промышленность: ООО «Камышовая балка»; ООО «Зольские семена»
	с. Приречное	Сельское хозяйство: разведение овец и крупного рогатого скота; конезаводство
	с. Малка	Сельское хозяйство: разведение овец и крупного рогатого скота; выращивание картофеля, подсолнечника, кукурузы и озимой пшеницы. Промышленность: СХПК «Верхнемалкинский»; ООО «Малка»; ООО «Балькъ»; ООО «Кристалл»; ООО «Нива»
	с. Псыхурей	Сельское хозяйство: разведение овец и крупного рогатого скота. Промышленность: ООО «ЭСТЕР»; ООО «Деметра»; ООО «Агроплюс».
	с. Карагач	Сельское хозяйство: разведение овец и крупного рогатого скота; выращивание зерновых, подсолнечника, овощей, картофеля. Промышленность: СХПК «Байкал»; ООО «Велес-Агро»; АПК «Прохладненский»; ООО «Агрофирма «Сатаней»»; ООО «Карагачский молокозавод»; ООО «Карагачская швейная фабрика»; 18 крестьяно-фермерских хозяйств (КФХ).
	г. Прохладный	Промышленность: ООО «Кавказкабель»; ООО «Кавказкабель ТМ»; Прохладненский завод полупроводниковых приборов; швейная фабрика «Глория Джинс»; ремонтно-механический завод «Прохладненский»; кирпично-черепичный завод «Прохладненский»; завод железобетонных изделий; республиканская база снабжения «Прохладненская»; ЗАО «Виноград» (алкогольная продукция); пищекомбинат «Прохладненский»; ООО «Прохладненский хлебозавод»; мебельная фабрика.
	с.п. Приближное	Сельское хозяйство: выращивание злаковых и технических культур.
с.п. Екатериноградская	Сельское хозяйство: выращивание злаковых и технических культур (4 сельско-хозяйственных предприятия).	

Таблица 65 – Продолжение

Река	Населённый пункт	Социально-экономическая деятельность
Баксан	с. Терскол	Туризм: турбазы, гостиницы, пансионаты, альплагери, зона трассового катания «Азау», зона трассового катания «Чегет», зона внетрассового катания «Доллар».
	с. Байдаево	Туризм: объекты социальной инфраструктуры отсутствуют.
	с. Эльбрус	Туризм: ЭУНК КБГУ, Гляциологическая база МГУ им. Ломоносова, Турбаза «Зелёная Гостиница», Турбаза «Эльбрус», Альплагерь «Адыл-Су», Альплагерь «Шхельда», Альплагерь «Эльбрус», Лагерь «Джан-Туган», Лагерь «Нижний Джан-Туган»
	с. Нейтринно	Научные учреждения: Баксанская нейтринная обсерватория.
	с. Верхний Баксан	Туризм: объекты социальной инфраструктуры отсутствуют. Сельское хозяйство: разведение овец и крупного рогатого скота
	г. Тырнауз	Туризм: частные предприятия, связанные с туризмом. Промышленность: последствия работы Тырнаузского горно-обогатительного комбината.
	с. Былым	Сельское хозяйство: выращивание капусты.
	с. Бедык	Промышленность: добыча гипса и некоторых других видов минеральных горных пород.
	с. Заюково	Сельское хозяйство: разведение овец и крупного рогатого скота. Промышленность: Верхнее водозаборное сооружение Баксанской ГЭС и её деривационный канал; Заюковский Маслосырзавод; Баксанцемент; Известковый завод «Заюково»; Туфовый карьер; всего около 70 предприятий.
	с. Атажукино	Промышленность: Баксанская ГЭС. Сельское хозяйство: садоводство (ООО «Атажукинский», ООО «Гедгафов»).
	с. Исламей	Сельское хозяйство: садоводство, виноградарство, растениеводство и животноводство. Промышленность: ЗАО НП «Кабарда»; ЗАО НП «Исламей»; ЗАО «Шалтауч»; ЗАО «Касбулат».
	г. Баксан	Промышленность: 423 предприятия в отраслях производственной сферы; 12 в сфере строительства; 7 в сфере транспорта и связи; 4 в агропромышленном комплексе; 3 в пищевой сфере.
	с. Дыгулыбгей	Промышленность: Кызбурунский кирпичный завод. Сельское хозяйство: тепличные комплексы и насаждения фруктовых деревьев.
с. Кишпек	Сельское хозяйство: садоводство; животноводство Промышленность: ООО «Агростандарт-юг»; ООО «Кишпек-Сад»; ООО «Агро-Ком»; ООО «Строймаш»; ООО «Базис»; ООО «Трудовой горец»; ООО «Ислам».	
с.п. Баксаненок	Сельское хозяйство: растениеводство и животноводство. Промышленность: ООО «КабБалкАгро»; ООО «АгроМедис»; ООО «Агроресурс»; ООО «Золотая Нива».	

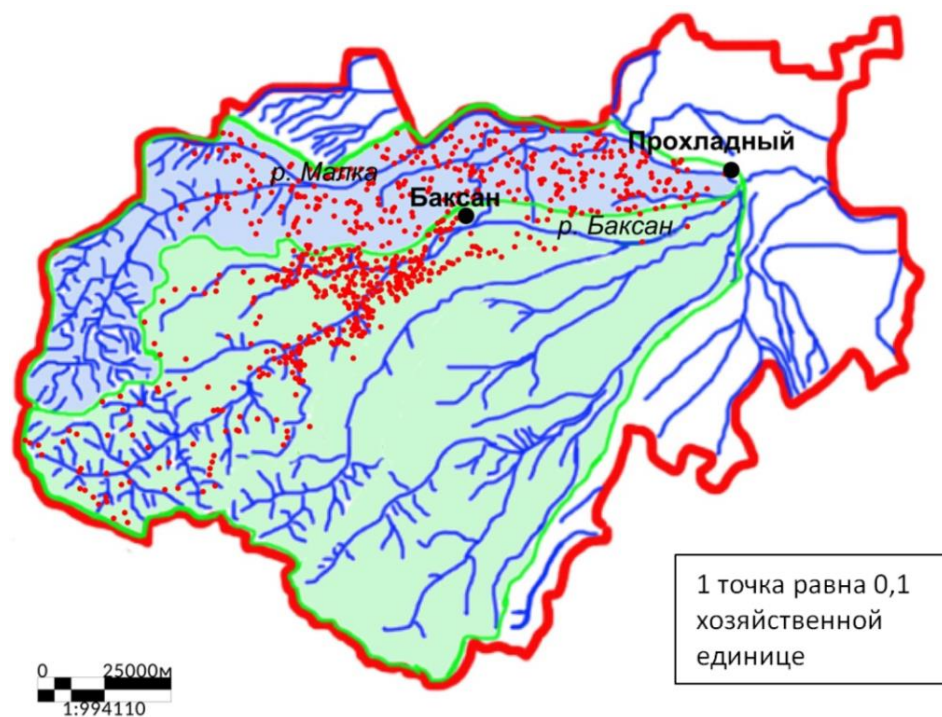


Рисунок 92 – Карта хозяйственного освоения долинных пойм рек Малка и Баксан

Экологическую ситуацию, сложившуюся на территории ландшафтов горной местности расположенных в верховьях р. Малка с учетом отсутствия крупных промышленных и сельскохозяйственных предприятий, можно считать условно благоприятной.

Территория горных ландшафтов, расположенная в верховьях р. Баксан, характеризуется высоким уровнем загрязненности почв тяжелыми металлами. В качестве наиболее негативных загрязняющих веществ здесь представлены кобальт, никель, мышьяк, вольфрам, хром, имеющие преимущественно природное происхождение. На сегодняшний день Тырныаузский горно-обогатительный комбинат (ТГОК) не работает, но в связи с тем, что метаморфические горные породы расположены на открытом речном пространстве в верховьях р. Баксан, они могут наносить ущерб флоре и ихтиофауне водного объекта.

Ландшафты горно-предгорных территорий в большей степени подвержены экзогенным процессам, обусловленным хозяйственной деятельностью. Антропогенная деятельность, связанная с добычей горных пород и строительных

материалов может приводить к механическим загрязнениям. В процессе добычи образуется много мелкодисперсного мусора, который смывается водой и загрязняет ее. Деятельность карьеров по добыче строительных материалов нарушает баланс твердых наносов, и способствует изменению русла рек Малка и Баксан.

Существенное антропогенное воздействие на предгорные ландшафты обусловлено малоземельем, незначительными площадями, пригодными для сельскохозяйственного использования. Как следствие, затрагивается водоохраная территория и санитарная зона, что зачастую приводит к засорению и захламлению поймы и надпойменной террасы р. Малка.

Интенсивная животноводческая деятельность, которая ведется на территории предгорных ландшафтов, сопровождается пастбищной эрозией, уничтожением подроста кустарников и деревьев, стоки фермерских животноводческих хозяйств сбрасываются в реку. Распашка пойм и террас под сельскохозяйственные угодья ведет к химической и механической денудации. Река Баксан более интенсивно, чем р. Малка загрязняется азотистыми соединениями, что подтверждается и результатами наших исследований [183, 184].

Наиболее неблагоприятная ситуация складывается на территории ландшафтов равнинной местности, на которой ведется не только сельскохозяйственная деятельность но и интенсивно развивается промышленность [182]. Большую угрозу для реки представляет вынос со склонов удобрений, продуктов эрозии с территории сельскохозяйственных угодий, загрязнённый сток с городских территорий [201].

Бытовые и ливневые стоки городов Прохладный и Баксан, несанкционированные свалки твердых бытовых отходов, крупные транспортные магистрали, способствуют загрязнению вод рек Малка и Баксан поверхностно-активными веществами, нефтепродуктами, соединениями азота, ведут к захламлению русел и изменению условий протекания потока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований сформулированы следующие выводы о влиянии физико-географических факторов на гидролого-гидрохимические особенности р. Малка в современном периоде.

1. Особенности процессов формирования русловых форм рельефа в пойме р. Малка обусловлены геохимическими условиями и геологическим строением территории. На участках в верхнем течении сложенном интрузивными горными породами русловые процессы протекают медленно, по типу ограниченного меандрирования с преобладанием вертикальной эрозии. В среднем и нижнем течениях, сложенных осадочными горными породами, преобладает свободное меандрирование и пойменная многорукавность, русловые процессы протекают более интенсивно.

2. Глобальное потепление трансформирует локальный термический режим на территории бассейна нижнего течения р. Малка, и ведет к формированию более мягкого местного климата. В современном периоде (2006-2023 гг.) среднегодовая температуры воздуха увеличилась на $0,76^{\circ}\text{C}$, а по сравнению с историческим фоновым периодом (1912-1930 гг.) – на $2,5^{\circ}\text{C}$, в основном, за счет повышения минимальных температур, что отразилось на структуре питания реки.

3. Климатические изменения трансформируют водный режим р. Малка, особенно в нижнем течении, что проявляется в снижении с 2015 по 2023 гг. среднегодовых расходов на 4%, уменьшении амплитуд расходов и ослаблении сезонности речного стока.

4. Анализ пространственно-временной динамики основных гидрохимических показателей воды в бассейне нижнего течения р. Малка, показал, что: прозрачность тесно взаимосвязана с расходом и уровнем воды; среднегодовые значения общей жесткости и минерализации возрастают, в связи с постепенным уменьшением расходов и повышением интенсивности грунтового питания.

5. Исследованы особенности гидрохимического режима и стока главных анионов и основных биогенных веществ в нижнем течении р. Малка, заключающиеся в том, что в современном периоде: растут среднегодовые концентрации гидрокарбонатов, сульфатов и хлоридов; уменьшаются среднегодовые концентрации нитратов, нитритов и соединений железа. Значимым фактором, определяющим динамику общего химического стока р. Малка, является приток р. Баксан, который привносит около 75% гидрокарбонатов, 70% сульфатов, 63% хлоридов, 80% нитратов, 74% нитритов, 67% соединений железа. Антропогенная составляющая в стоке р. Малка по сульфатам составляет 16%, хлоридам – 43%, соединениям железа – 60%.

6. Подземная составляющая химического стока р. Малка, формирующаяся за счет вод МПВ расположенных на участке в нижнем течении не велика, и составляет около: 5% гидрокарбонатов, 6% сульфатов, 3% хлоридов, 2% нитратов, 2% соединений железа и 0,2% нитритов.

Для визуализации территориальной дифференциации и сезонной изменчивости модуля стока и демонстрации пространственной изменчивости структуры модуля стока главных анионов и биогенных веществ в нижнем течении р. Малка созданы соответствующие тематические карты.

Сформулированные выводы, показывают необходимость применения системного подхода при описании физико-географических и гидролого-гидрохимических особенностей р. Малка. Полученные результаты могут быть использованы при решении таких актуальных задач, как прогнозирование изменения химического состава речных вод и разработка экологически обоснованных мероприятий, направленных на сохранение и восстановление естественного функционирования речных бассейнов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абайханова, А.А. Речные долины КЧР как объекты ландшафтных исследований / А.А. Абайханова, С.И. Салпагарова, С.К. Бекбулатова // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). – 2016. – № 3 (24).– С. 59-61.
2. Авессаломова, И.А. Ландшафтно-геохимическая контрастность среднетаежных речных бассейнов как фактор формирования ионного стока / И.А. Авессаломова, А.В. Савенко, А.В. Хорошев // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2013. - № 4.– С. 3-10.
3. Агроклиматические ресурсы Кабардино-Балкарской, Северо-Осетинской, Чечено-Ингушской АССР. - Л: Гидрометеоиздательство, 1980. - 269 с.
4. Алекин, О.А. Гидрохимия рек СССР. Реки Кавказа и Азиатской территории СССР / О.А. Алекин // Труды ГГИ, 1949. - № 15 (69)., - 144 с.
5. Алекин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1970. – 444 с.
6. Алекин, О.А. Руководство по химическому анализу вод суши / О.А. Алекин, А.Д. Семенов, Б.А. Скопинцев. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. - 268 с.
7. Алита, С.Л. Качественная оценка уровня природного содержания соединений тяжелых металлов в бассейнах рек Малка, Урух, Черек, Чегем / С.Л. Алита, Ф.А. Атабиева, Е.А. Чередник, А.С. Отарова // Водное хозяйство России. - 2021. - № 5. - С. 97-111.
8. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государствах в конце XX столетия / отв. ред. Н. И. Коронкевич, И. С. Зайцева. М.: Наука, 2003. - 367 с.
9. Атабиева, Ф.А. Изменчивость минерализации воды рек Центрального Кавказа / Ф.А. Атабиева, Е.В. Вишневецкая // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2022. - №7. С. 13 – 16.
10. Атабиева, Ф.А. Максимальные уровни загрязняющих веществ в воде рек бассейна р. Терек / Ф.А. Атабиева, А.С. Отарова // Инновационная наука. - 2024. - №9. - С. 139-143.

11. Атабиева, Ф.А. Минерализация воды рек бассейна р. Терек / Ф.А. Атабиева, А.С. Отарова // Сборник статей международной научной конференции: Теоретические основы и практическое применение инновационных исследований. Санкт-Петербург. - 2022. - С. 10-13.
12. Атабиева, Ф.А. Оценка сезонной изменчивости содержания соединений тяжелых металлов в речных водах предгорной зоны Центрального Кавказа / Ф.А. Атабиева, Е.А. Чередник // Водное хозяйство России. - 2020. - № 3. - С. 68-81.
13. Атабиева, Ф.А. Пространственно-временная изменчивость уровня содержания соединений тяжелых металлов в воде рек Малка и Баксан / Ф.А. Атабиева, Е.А. Чередник, А.С. Отарова // Наука. Инновации. Технологии. - 2021. - №3. - С. 119-132.
14. Атабиева, Ф.А. Сезонная изменчивость минерализации воды рек бассейна р. Терек / Ф.А. Атабиева // Инновационная наука. -2022. - № 11. - С. 113-118.
15. Атабиева, Ф.А., Уровни содержания и сезонная изменчивость соединений тяжелых металлов в реках Терек, Малка и Баксан / Ф.А. Атабиева, С.О.Геккиева // Международный научно-исследовательский журнал. - 2020. - №12(102). - С. 84-90.
16. Атаев, З.В. Влияние современных изменений температуры воздуха на высокогорные ландшафты Северо-Восточного Кавказа / З.В. Атаев, В.В. Братков // Евразийское научное объединение. - 2015. - № 8. - С. 76-80.
17. Атаев, З.В. Реакция ландшафтов Северного Кавказа на современные климатические изменения / З.В. Атаев, В.В. Братков // Юг России: экология, развитие. - 2014. - Т. 30. - № 1 (30). - С. 141-157.
18. Атлас Кабардино-Балкарской Республики / под ред. Р.А. Бураева. М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1997.- 43 с.
19. Бархатов, Б.П. Геоморфологический очерк верхней Малки / Б.П. Бархатов // Вестник Ленинградского университета. Сер. 7. Биологии, географии и геологии. – 1953. - № 7. - С. 175-180.
20. Барышников, Н.Б. Русловые процессы: учебник. / Н.Б. Барышников, Д.И. Исаев. - Санкт-Петербург: РГГМУ, 2014. - 503 с.

21. Берлянт, А. М. Картография: Учебник для вузов. / А.М. Берлянт. - М.: Кн. дом Ун-т, 2011. - 447 с.
22. Беручашвили, Н.Л. Кавказ: ландшафты, модели, эксперименты / Н.Л. Беручашвили. - Тбилиси: издательство ТГУ, 1995. - 315 с.
23. Бортновский, З.В. Водный сток как индикатор ландшафтно-экологических условий бассейнов малых рек / З.В. Бортновский // Географическая среда и живые системы. - 2021. - № 1. - С. 42-52.
24. Братков, В.В. Ландшафтно-геофизический анализ природно-территориальных комплексов Северо-Восточного Кавказа. Автореферат канд. диссертации / В.В. Братков - Тбилиси, 1992. - 23 с.
25. Братков, В.В. Метеорология и климатология. Сер. Бакалавриат и магистратура. (2-е изд., перераб. и доп.) / В.В. Братков, А.М. Луговской, В.А. Мелкий, А.А. Верхотуров. М.: Издательство «КноРус», 2022. - 240 с.
26. Братков, В.В. Реакция геосистем Большого Кавказа на современные климатические изменения (по материалам дистанционного зондирования Земли) / В.В. Братков, Ш.Ш. Заурбеков, З.В. Атаев // Материалы международной научно-практической конференции «Эффективное развитие горных территорий России. Горный форум – 2016». – Махачкала, 2016. - С. 110-119.
27. Великанов, М.А. Динамика русловых потоков. Т. 2. Наносы и русло / М.А. Великанов. - М.: Гостехиздат, 1955. - 324 с.
28. Водные проблемы на рубеже веков / Ответственный ред. академик М.Г. Хублярян. - М.: Наука, 1999. - 347 с.
29. Воейков, А.И. Климаты земного шара, в особенности России / А.И. Воейков. - Санкт-Петербург: Картогр. заведение А. Ильина, 1884. - 640 с.
30. Воздействие изменения климата на человеческий потенциал, экономику и экосистемы / Доклады к XXIII Ясинской (Апрельской) международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества. Под ред. Л. Н. Проскуряковой. - М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. - 76 с.
31. Воробьева, Т.И. Динамика содержания токсичных загрязняющих веществ в водах рек Баксан и Черек / Т.И. Воробьева, Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник,

- Т.В. Реутова, Л.П. Гущина // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. - 2011. - №5(43). - С. 49-56.
32. Габова, В.Н. Динамика среднемесячных температур воздуха и атмосферных осадков в летний период в некоторых районах Ростовской области и Краснодарского края / В.Н. Габова, Ю.А. Федоров, В.А. Савицкий, И.В. Доценко // Успехи современного естествознания. – 2022. - № 8. - С. 25-38.
33. Газаев, М.А. Пространственно-временная изменчивость показателей качества воды высокогорной реки Черек-Безенгийский / М.А. Газаев, Ф.А. Атабиева, Л.З. Жинжакова, М.М. Газаев // Водное хозяйство России. - 2014. - № 1. - С. 23-32.
34. Газаев, Х.М. Многолетняя динамика химического состава вод реки Черек Безенгийский (левый исток р. Черек) / Х.М. Газаев, Л.З. Жинжакова, А.Б. Иттиев // Известия КБГАУ. - 2015. - № 2(8). - С. 122-127.
35. Газаев, Х.-М.М. Содержание железа в ледниковых водах Центрального Кавказа / Х.-М.М. Газаев, Э.А. Агоева, А.Б. Иттиев // Вестник ВГУ. Серия: география, геоэкология. - 2018. - № 3. - С. 3-35.
36. Газаев, Х.-М.М. Состав ледниковых вод реки Ортозюрек / Х.-М.М. Газаев, А.Б. Иттиев, Э.А. Агоева // Материалы VII Всероссийской научной конференции: Современные проблемы регионального развития. Биробиджан, 2018. - С. 99-103.
37. Газаев, Х.-М.М. Статистическая обработка многолетних данных по химическому составу воды реки Черек-Безенгийский / Х.-М.М. Газаев, Ф.А. Атабиева, И.И. Кучменова, Л.З. Жинжакова // Водное хозяйство России. - 2015. - № 2. - С. 42-52.
38. Газаев, Х.-М.М. Пространственно-временная изменчивость гидрохимических показателей ледниковой реки Чегем / Х.-М.М. Газаев, Ф.А. Атабиева, И.И. Кучменова, Л.З. Жинжакова // Водное хозяйство России. - 2015. - № 4. - С. 36-43.
39. Гакаев, Р.А. Методы картографического исследования и этапы их формирования / Р.А. Гакаев // Педагогика высшей школы. - 2016. - №1. - С. 1-4.
40. Географический словарь Российского государства, сочиненный в настоящем онаго виде. Ч.4. - М.: Университетская типография, 1805. - 1366 с.

41. Географическо-статистический словарь Российской империи. Т.3. В.1. - Санкт-Петербург: В типографии В. Безобразова и Комп., 1866. - 743 с.
42. География Кабардино-Балкарской Республики. - Нальчик: 1998. 269 с.
43. Геология СССР. – М. : Недра, 1968. – Т. 9 :Северный Кавказ, ч. I. – С. 187-196.
44. Герасимов, А.П. Обзор геологического строения северного склона главного Кавказского хребта в бассейнах рек Малки и Кумы / А.П. Герасимов. - Москва-Ленинград: Государственное издательство геологической литературы, 1940. - 84 с.
45. Гергокова, З.Ж. Определение количественных показателей бассейнов основных рек КБР с помощью современных технических средств / З.Ж. Гергокова, А.Р. Акаев // Вестник Владикавказского научного центра РАН. - 2023. - Том 23. - № 4. - С. 76-80.
46. Гис-атлас «Недра России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <http://www.vsegei.ru/>
47. ГОСТ 17.1.5.01-80 Гидросфера. Охрана природы общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность: межгосударственный стандарт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/1200012787>.
48. ГОСТ 31940-2012 Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов : межгосударственный стандарт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/1200096957>.
49. ГОСТ 31954-2012 Вода питьевая. Методы определения жесткости : межгосударственный стандарт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/1200097815>.
50. ГОСТ 31957-2012 Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов : межгосударственный стандарт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/1200096960>.
51. ГОСТ 33045-2014 Вода. Методы определения азотсодержащих веществ : межгосударственный стандарт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/1200115428>.

- 52.ГОСТ 4011-72 Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа : межгосударственный стандарт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/1200008210>.
- 53.ГОСТ Р 59024-2020 Вода. Общие требования к отбору проб: национальный стандарт Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/>.
- 54.Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Кавказская. Лист К-38-І, VII (Кисловодск). – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. - 365 с.
- 55.Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Кабардино-Балкарской Республике в 2017 году. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <http://pravitelstvo.kbr.ru>.
- 56.Гурбанов, А.Г. Новые данные о геохимических особенностях вод реки Баксан района деятельности Тырнаузского вольфрамо-молибденового комбината (Кабардино-Балкарская Республика) / А.Г. Гурбанов, С.Ф. Винокуров, О.А. Богатиков, А.Б. Лексин, В.М. Газеев, Л.Е. Цуканова, А.В. Шевченко, З.И. Дударов, О.А. Гурбанова // Вестник владикавказского научного центра. - 2017. - №1. - С. 46-57.
- 57.Гуруев, М.А. Исследование современных тенденций морфодинамических характеристик пойменно русловых комплексов дельты реки Самур / М.А. Гуруев, М.М. Амаева // Природообустройство. - 2016. - №3. - С. 26-32.
- 58.Давыдов, Л.К. Водоносность рек СССР, её колебания и влияние на неё физико-географических факторов / Л.К. Давыдов. - Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1947. - 162 с.
59. Давыдов, Л.К. Общая гидрология / Л.К.Давыдов, А.А.Дмитриева, Н.Г. Конкина. - Ленинград : Гидрометеиздат, 1973. - 462 с.
- 60.Данилов-Данильян, В.И. Глобальные климатические изменения и водные проблемы России и мира / В.И. Данилов-Данильян // Век глобализации. - 2020. - №4. - С. 65-78.

61. Дахова, О.О. Геоэкологическое картографирование Кабардино-Балкарской республики / О.О. Дахова, Л.Л. Каирова, Б.М. Хучунаев, Г.В. Куповых // Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2020. - № 1. - С. 47-52.
62. Дахова, О.О. Экогеохимическое состояние аквальных ландшафтов (на примере реки Баксан) / О.О. Дахова // Проблемы региональной экологии. - 2022. - №4. - С. 58-62.
63. Дашкевич, Д.Н. Изменение уровня режима реки Малорита – с. Малорита / Д.Н. Дашкевич // Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов». – Брест: БрГУ, 2019. - С. 14-17.
64. Двинских, С.А. Факторы формирования и элементы химического состава поверхностных вод / С.А. Двинских. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. - 77 с.
65. Дегтярев, А.П. Особенности химического состава талых вод Эльбруса и реки Баксан / А.П. Дегтярев, В.В. Ермаков, В.А. Сафонов, В.Н. Данилова, У.А. Гуляева // Сборник трудов конференции «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле». Москва, 2020. - С. 64-67.
66. Дмитриева, В.А. Гидрологическая реакция на меняющиеся климатические условия и антропогенную деятельность в бассейне Верхнего Дона / В.А. Дмитриева, Е.Г. Нефедова // Вопросы географии. – 2018. - № 145. - С. 285-297.
67. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Кабардино-Балкарской Республике в 2016 году». [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <http://pravitelstvo.kbr.ru/>.
68. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Кабардино-Балкарской Республике в 2015 году». [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <http://pravitelstvo.kbr.ru/>.
69. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Кабардино-Балкарской Республике в 2014 году». [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <http://pravitelstvo.kbr.ru/>.

70. Докучаев, В.В. Избранные сочинения. Том 5. / В.В. Докучаев. - М.: Изд-во АН СССР, 1951.- 664 с.
71. Достай, Ж.Д. Руслловые процессы как фактор внутрисистемной организации развития геосистем / Ж.Д. Достай, М.Н. Мусабаева // Гидрометеорология и экология. - 2007. - № 3. - С. 100-105.
72. Дреева, Ф.Р. Динамика содержания алюминия в основных реках центрального Кавказа при изменении абсолютных высот / Ф.Р. Дреева, Н.В. Реутова, Т.В. Реутова // Сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования Гидрохимического института, «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 1. – Ростов-на-Дону, 2020. - С. 44-48.
73. Дреева, Ф.Р. Основные результаты гидрохимических исследований в Центре географических исследований Кабардино-Балкарского научного центра (Обзорная статья) / 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.
74. 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.
75. Дышлюк, С.С. Методика картографирования устойчивости речных систем. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 25.00.33 / С.С. Дышлюк. – Новосибирск, 2008. - 140 с.
76. Емузова, Л.З. Геоэкологические условия формирования минеральных источников «Джылы-Су» / Л.З. Емузова, З.М. Таттаева // Успехи современной науки. - 2017. - Т.6. - №2. - С. 138-143.
77. Жинжакова, Л.З. Вынос токсичных ингредиентов в воды Терека реками Центрального Кавказа / Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник // Экологическая химия. - 2024. - №33(2). - С. 76-85.

78. Жинжакова, Л.З. Изменение состава и качества водных экосистем Центрального Кавказа по содержанию биогенных соединений на примере ледниковых рек Урух и Малка / Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник // Экологическая химия. - 2023. - №32(5). - С. 235-240.
79. Жинжакова, Л.З. Ионный состав поверхностных вод Кабардино-Балкарского государственного заповедника в период летнего интенсивного таяния ледников / Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник // Кронос. - 2022. - Т.6. - №10. - С. 87-91.
80. Жинжакова, Л.З. Исследование воды реки Баксан, протекающей вблизи территории, подверженной техногенному влиянию многолетних отходов горного производства / Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник // Modern science. - 2022. - №10-1. - С. 15-19.
81. Жинжакова, Л.З. Исследование загрязненности вод ледниковых рек Центрального Кавказа биогенными соединениями за период 2020-2022 годы / Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник // Инновационная наука. - 2023. - №10. - С. 124-129.
82. Жинжакова, Л.З. К вопросу комплексной оценки качества поверхностных вод Центрального Кавказа в период зимней межени и летнего половодья / Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник // Кронос. - 2021. - Т.6. - №5(55). - С. 22-27.
83. Жинжакова, Л.З. Мониторинговые исследования сезонных изменений концентраций загрязняющих веществ в водах р. Малка за многолетний период наблюдений / Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник // Экологическая химия. - 2021. - №30(1). - С. 1-6.
84. Жинжакова, Л.З. Оценка загрязненности ледниковых вод рек Центрального Кавказа за период 2017-2018 годы / Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник // Кронос. - 2021. - №2(35). - С. 5-10.
85. Жинжакова, Л.З. Оценка загрязненности основных рек бассейна Терек соединениями азота за период с 2017 по 2019 год / Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник // Международный научно-исследовательский журнал. - 2020. - № 2 (104). - С. 113-117.

86. Жинжакова, Л.З. Потенциометрическое определение содержания NO_3^- в водах ледниковых и неледниковых рек Центрального Кавказа / Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник // Modern science. – 2019. - №11-2. - С. 13-17.
87. Жинжакова, Л.З. Превышение экологических норм содержания неорганических соединений азота в водах ледниковых рек Центрального Кавказа за период 2017–2019 гг. / Л.З. Жинжакова // Экологическая химия. - 2020. - № 29(3). - С. 136-142.
88. Жинжакова, Л.З. Пространственно-временное распределение экотоксикантов NO^{2-} , NO^{3-} , NH^{4+} в водах горной реки Малка в 2020 и 2021 гг. / Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник // Кронос. – 2022. - Т. 6. - №4(66). - С. 59-65.
89. Жинжакова, Л.З. Распределение содержания главных ионов в водах горной реки Чегем ледникового происхождения за период 2013-2014 гг. / Л.З. Жинжакова, Х.М. Газаев, Ф.А. Атабиева, А.Б. Иттиев // Известия КБГАУ. - 2015. - № 1(7). - С. 108-114.
90. Жинжакова, Л.З. Содержание микроэлементов в ледниковых водах рек высокогорной зоны Кабардино-Балкарской Республики / Л.З. Жинжакова, Х.М. Газаев, Ф.А. Атабиева, А.Б. Иттиев // Известия КБГАУ. - 2015. - № 1(7). - С. 105-108.
91. Жинжакова, Л.З. Состояние водных экосистем различных широтных зон на примере Кабардино-Балкарской Республики / Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник // Modern science. - 2021. - №6-1. - С. 55-59.
92. Жинжакова, Л.З., Вынос экотоксикантов в воды бассейна реки Терек с учетом расхода воды и суточного водного стока / Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник, И.И. Батчаев // Сборник статей IX Международной научно-практической конференции: «Актуальные вопросы современных научных исследований». – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2024. 392 с.
93. Заславская, М.Б. Сезонная изменчивость стока растворенных веществ в арктические моря России / М.Б. Заславская, Л.Е. Ефимова // Материалы научной конференции с международным участием «Современные проблемы

- гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Ч. 1. - Ростов-на-Дону, 2015. - С. 44-48.
94. Захарова, М.В. Определение параметров меандрирования на участке русла р. Жиздры в Калужской области средствами ГИС-технологий / М.В. Захарова, Р.Р. Шошина // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2023. - № 4. - С. 90-97.
95. Зекцер, И.С. Подземные воды / И.С. Зекцер // Большая российская энциклопедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://old.bigenc.ru/>.
96. Информационная система «Почвенно-географическая база данных России». [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://soil-db.ru/struktura-i-funkcionirovanie/dannye-inventarizaciya/dannye-po-territorii/respublika-kabardino-balkariya>.
97. Исаченко, А.Г. Вопросы изображения горных ландшафтов на мелкомасштабных ландшафтных картах. / А.Г. Исаченко // Ландшафтоведение. - М.: Издательство МГУ, 1963. - С.94-101.
98. Исаченко, А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование / А.Г. Исаченко. - М.: ВШ, 1991. - 366 с.
99. Иттиев, А.Б. Оценка содержания химических загрязнителей в бассейне р. Терек и Малка / А.Б. Иттиев, Н.М. Мирзоева, А.В. Атабиев, М.Б. Биттиров, М.Х. Казанчев, М.К. Курманова // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2008. - № 5. - С. 95-98.
100. Иттиев, А.Б. Химизм воды бассейна р. Терек / А.Б. Иттиев, М.Б. Биттиров, М.Х. Казанчев, М.К. Курманова // Вестник КрасГАУ. - 2008. - №1. - С 114-119.
101. Казаков, Л.К. Ландшафтоведение с основами ландшафтного планирования / Л.К. Казаков. - М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 336 с.
102. Казанчев, А.Ч. Гидрохимическая характеристика, формирование ионно-солевого состава реки Малка / А.Ч. Казанчев, И.Г. Дружинин, Ф.Б. Мирзоева, Г.И. Кумыков // Ученые записки КБГУ. - 1969. - В. 41. - С. 447-453.

103. Казанчев, А.Ч. Распределение подземных и поверхностных вод высокогорной части КБАССР / А.Ч. Казанчев // Ученые записки Кабардино-Балкарского государственного университета. - 1963. В. 19.
104. Казанчев, С.Ч. Влияние экологических факторов на формирование состава поверхностных вод / С.Ч. Казанчев, Л.А. Казанчева, Д.К. Кожаева, Р.Х. Таов, А.В. Белянский, В.Ф. Дышекова //Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. - № 1(127). - С. 1-12.
105. Калинин, В.М. Малые реки в условиях антропогенного воздействия / В.М. Калинин, С.И. Ларин, И.М. Романова. - Тюмень : Изд-во Тюм. гос. ун-та, 1998. - 219 с.
106. Карасев, И.Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. / И.Ф. Карасев. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. - 310 с.
107. Кипкеева, П.А. Ландшафтно-гидрологический подход к обоснованию мониторинга речных бассейнов горных территорий / П.А. Кипкеева, Я.В. Волосухин, Т.В. Иванкова, Ю.Я. Потапенко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. - №12(54). – С. 87-90.
108. Климатические данные по всему миру. [Электронный ресурс] – Режим доступа свободный: <https://ru.climate-data.org/>.
109. Кобылянский, В.А. Философия экологии: общая теория экологии, геоэкология, биоэкология. Учебное пособие / В.А. Кобылянский. - М.: ФАИР-ПРЕСС, 2003. - 192 с.
110. Козьминов, С.Г. Распространение и некоторые стороны жизни экологии и биологии личинок стрекоз Кабардино-Балкарии / С.Г. Козьминов, Х.А. Кетенчиев // Вестник Кабардино-Балкарского государственного университета. Серия «Биологические науки». – 1997. - В.2. - С. 15-17.
111. Колобовский, Е.Ю. Долины малых рек как часть культурного ландшафта: опыт историко-экологического исследования Верхневолжья / Е.Ю. Колобовский // География и природные ресурсы. – 1994. - № 4. - С. 29-39. (107)
112. Кузнецова, Е.В. Цветные и редкие металлы КБАССР. Природные ресурсы КБАССР / Е.В. Кузнецова, И.Г. Кузнецов. - М.-Л.: Издательство АН СССР, 1946.

113. Кузьмина, Ж.В. Воздействие зарегулирования речного стока, климатических и гидрологических изменений на состояние пойменных и дельтовых экосистем нижнего Дона / Ж.В. Кузьмина, С.С. Шинкаренко, Д.А. Солодовников, М.Л. Марков // Аридные экосистемы. - 2022. - Т. 28. - № 4 (93). - С. 22-36.
114. Кузьмина, Ж.В. Динамические изменения наземных экосистем поймы и дельты Нижней Волги под влиянием зарегулирования речного стока и климатических флуктуаций / Ж.В. Кузьмина, С.Е. Трешкин, Т.Ю. Каримова // Аридные экосистемы. - 2015. - Т. 21. - №4(65). – С. 39-53.
115. Кучменова, И.И. Особенности формирования химического состава воды рек и ручьев Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника / И.И. Кучменова, Ф.А. Атабиева // Международный научно-исследовательский журнал. - 2020. - № 12. - С. 14-20.
116. Кярова, Ф.Х. Природные и антропогенные процессы в ландшафтах Кабардино-Балкарской Республики. Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук / Ф.Х. Кярова. – Нальчик, 2005. - 229 с.
117. Ланге, О.К. Проблемы гидрогеологии / О.К. Ланге. – М.: Госгеолтехиздат, 1960. - 366 с.
118. Лубенец, Л.Ф. Роль антропогенных модификаций в ландшафтно-гидрологической организации бассейна р. Майма / Л.Ф. Лубенец, Д.В. Черных // Вестник. Волгоградского государственного университета. Серия 11. Естественные науки. - 2015. - № 1 (11). - С. 61-68.
119. Максимова, М.П. Воздействие техногенеза на гидросферу. Методика оценки антропогенного химического речного стока в моря / М.П. Максимова // Географическая среда и живые системы. - 2012. - № 2. - С. 89-96.
120. Максимова, М.П. Критерии оценки антропогенных изменений и расчет антропогенной составляющей ионного стока рек / М.П. Максимова // Водные ресурсы. - 1985. - № 3. - С. 71-75.
121. Михайлов, В.Н. Гидрология: учебник для вузов. / В.Н. Михайлов, С.А. Добролюбов. - Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2017. - 752 с.

122. Молчанов, Э.Н. Пояснительный текст к Почвенной карте Кабардино-Балкарской АССР / Э.Н. Молчанов // Почвенный покров Кабардино-Балкарской АССР. - М.: Гл. управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1990. - 22 с.
123. МУ 4.2.2723-10 Лабораторная диагностика сальмонеллезов, обнаружение сальмонелл в пищевых продуктах и объектах окружающей среды : методические указания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/1200083950>.
124. МУК 4.2.1018-01 Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды : методические указания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/1200029648>.
125. МУК 4.2.1884-04 Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов : методические указания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/1200039680>.
126. Немерюк, Г.Е. Химическая характеристика воды р. Терек в верхнем, среднем, и нижнем течениях / Г.Е. Немерюк // Труды СОСХИ. - 1951. - Т. 15.
127. Никаноров, А.М. Антропогенная трансформация экологического состояния и транспорт загрязняющих веществ по длине реки Кубани / А.М. Никаноров, В.А. Брызгалов, О.С. Решетняк, Косменко, М.Ю. Кондакова // Водное хозяйство России. - 2013. - № 2. - С. 108-118.
128. Никаноров, А.М. Гидрохимия / А.М. Никаноров. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2001. - 444 с.
129. Никаноров, А.М. Гидрохимия: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Гидрология». - 3-е изд., доп. / А.М. Никаноров. - Ростов-на-Дону : НОК, 2008. - 462 с.
130. Никаноров, А.М. Словарь-справочник по гидрохимии и качеству вод суши (понятия и определения) / А.М. Никаноров, В.М. Иваник. - Ростов-на-Дону : Институт водных проблем РАН, 2014. - 548 с.

131. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2007. - Москва: Росгидромет, 2008. - 164 с.
132. Патрушева, К.В. Источники хлор-иона в реках Северного Кавказа / К.В. Патрушева // Молодой учёный. - 2017. - № 3. - С. 215-217.
133. Пахомов, В.П. Системный анализ подходов к комплексной оценке природных ресурсов территории, обеспечивающих формирование природоэксплуатирующих кластеров / В.П. Пахомов, И.Г. Полянская, М.С. Кокарева. - Екатеринбург: ИЭ УрО РАН, 2007. - 70 с.
134. ПНДФ 14.1:2.110-97 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений содержаний взвешенных веществ и общего содержания примесей в пробах природных и очищенных сточных вод гравиметрическим методом: природоохранный нормативный документ федеральный. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/1200056716>.
135. ПНДФ 14.1:2:4.154-99 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных вод титриметрическим методом: природоохранный нормативный документ федеральный. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/1200056567>.
136. Позаченюк, Е.А. Ландшафтно-гидрологический подход к изучению речных ландшафтов Алуштинского амфитеатра / Е.А. Позаченюк, З.В. Тимченко, Е.В. Кутикова // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2022. – Т.8(74). - № 1. - С. 70-82.
137. Попов, И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство / И.В. Попов. - Л.: Гидрометеиздат, 1969. - 363 с.
138. Природно-ресурсный потенциал АПК КБАССР - Нальчик.: КБАИ, 1990. -224 с.
139. Природоохранные аспекты управления качеством водных ресурсов в бассейне Средней Оби (на примере реки Вах): Монография. - Нижневартовск: Изд-во Нижневартовского государственного университета, 2013. - 127 с.

140. РД 52.24.381-2017 Массовая концентрация нитритного азота в водах. Методика измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса : руководящий документ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/550609473>.
141. РД 52.24.407-2006 Массовая концентрация хлоридов в водах. Методика измерений аргентометрическим методом : руководящий документ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/551494644>.
142. РД 52.24.496-2018 Методика измерений температуры, прозрачности и определение запаха воды: руководящий документ [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/495884820>.
143. Реутова, Н.В. 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. - №11 (3). С. 172-184.
144. Реутова, Н.В. Особенности химического состава поверхностных вод национального парка Приэльбрусье / Н.В. Реутова, Т.В. Реутова, Ф.Р. Дреева // Биота и среда. – 2020. - №4 (3). - С. 95-113.
145. Реутова, Т.В. 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.
146. Реутова, Т.В. Изменение ионного состава природных вод от высокогорной до низкогорной зоны Центрального Кавказа / Т.В. Реутова, Ф.Р. Дреева, Н.В. Реутова, А.М. Хутуев // Грозненский естественнонаучный бюллетень. - 2018. - № 1. - С. 33-41.
147. Реутова, Т.В. Содержание примесей в водах горных рек верховьев Баксана (национальный парк «Приэльбрусье») и его сезонные изменения / Т.В. Реутова, Ф.Р. Дреева, Н.В. Реутова // Водные ресурсы. - 2018. - Т. 45. - № 1. - С. 85-92.

148. Решетняк, О.С. Временная изменчивость стока макрокомпонентов и антропогенной составляющей ионного стока реки Лабы / О.С. Решетняк, Р.С. Комаров // Вопросы степеведения. - 2023. - № 4. - С. 14-24.
149. Решетняк, О.С. Оценка антропогенной составляющей ионного стока реки Лабы за многолетний период / О.С. Решетняк, Р.С. Комаров // Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа». - Москва: Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН. - 2023. - С. 593-599.
150. Ромашкевич, А.И. Горно-луговые почвы - процессы, эволюция, трансформация / А.И. Ромашкевич // Трансформация горных экосистем Большого Кавказа под влиянием хозяйственной деятельности. - М.: ИГАН СССР, 1987. - С. 40-50.
151. Савичев, О.Г. Влияние крупных притоков на химический состав вод средней Оби / О.Г. Савичев // Вестник Томского государственного университета. - 2010. - № 340. - С. 222-227.
152. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>.
153. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://docs.cntd.ru/document/573536177>.
154. Сивохип, Ж.Т. Эколого-гидрологическая специфика малых рек как показатель устойчивого природопользования в степной зоне / Ж.Т. Сивохип // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. - № 10 (185). - С. 355-358.

155. Снежко, В.А. Малкинский гранит-лейкогранитовый плутонический комплекс (Северный Кавказ) / В.А. Снежко, В.В. Снежко, Л.Н. Шарпёнок // Региональная геология и металлогения. – 2021. - № 85. - С. 5-20.
156. Сочава, В.Б. Введение в учение о геосистемах / В.Б. Сочава. - Новосибирск: Наука, 1978. - 320 с.
157. Справочник по водным ресурсам СССР. Т. 10: Северный Кавказ / под ред. Б.Л. Гржегоржевского. - Ленинград : редакционно-издательский отдел ЦУЕГМС, 1936. - 1095 с.
158. Старожилов, В.Т. Ландшафтное районирование приморского края / В.Т. Старожилов // Вестник ДВО РАН. – 2010. - №3. - С. 107-112.
159. Сурков, В.В. Динамика пойменных ландшафтов верхней и средней Оби / В.В. Сурков. - М.: Изд-во МГУ, 1999. - 255 с.
160. Сурков, В.В. Ярусность природных территориальных комплексов в речных поймах как функция русловых и гидрологических процессов / В.В. Сурков // Вестник Томского государственного университета. - 2013. - № 372. - С. 197-202.
161. Темботов, А.К. Животный мир Кабардино-Балкарии / А.К. Темботов, Х.Х. Шхашамишев. - Нальчик: Эльбрус, 1984. - 193 с.
162. Темботов, А.К. Насекомоядные Кавказа. Учебное пособие. / А.К. Темботов, Ф.А. Темботова. - Нальчик.: КБГУ, 1989. - 70 с.
163. Ткачев, Б.П. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы: Аналитический обзор / Б.П. Ткачев, В.И. Булатов. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2002. - 114 с.
164. Уровень воды онлайн [Электронный ресурс] – Режим доступа свободный: <https://allrivers.info/gauge/malka-prohladnaya>.
165. Федоров, Ю.А. Геохимия железа в системе река Миус - Миусский лиман - Таганрогский залив Азовского моря / Ю.А. Федоров, Д.Н. Гарькуша, Л.Ю. Дмитрик, И.В. Доценко // Астраханский вестник экологического образования. – 2020. - № 5 (59). - С. 172-181.

166. Федоров, Ю.А. Железо в поверхностных и подземных водах бассейна Азовского моря / Ю.А. Федоров, И.В. Доценко, Л.Ю. Дмитрик // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2016 - № 3(191). - С. 91-99.
167. Федорова, Т.А. Численное моделирование спрямления речных излучин. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Т.А. Федорова. – Москва, 2022. - 120 с.
168. Хатухов, А.М. Годовой отчет гидробиологической лаборатории КБГУ по оценке качества поверхностных вод Кабардино-Балкарии методом биоиндикации (I–XII 2009 г.) / А.М. Хатухов. – Нальчик, 2009. - 47 с.
169. Хаустов, А.П. Проблемы и направления эколого-гидрохимической индикации состояния ландшафтов / А.П. Хаустов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. - 1996. - №1. - С. 65-70.
170. Химическая энциклопедия / под. ред. И.Л. Кнунянца. - М.: Советская энциклопедия, 1995. - Т. 4. - 639 с.
171. Хорошев, А.В. Зависимость изменчивости гидрологических и гидрохимических свойств стока от ландшафтной структуры бассейна в таежной зоне / А.В. Хорошев, А.Н. Лукьянова, А.Г. Косицкий, Д.И. Школьный // Известия РГО. - 2019. - Т. 151. –В. 1. - С. 45- 60.
172. Чалов, Р.С. Параметризация русловых процессов для их прогнозных оценок и диагностики опасных проявлений / Р.С. Чалов // Водные ресурсы. – 2017. - Т. 44. - № 5. - С. 551-562.
173. Чалов, Р.С. Речные излучины / Р.С. Чалов, А.С. Завадский, А.В. Панин. – М.: Издательство МГУ, 2004. - 371 с.
174. Чалов, Р.С. Русловые процессы (русловедение) : учебное пособие / Р.С. Чалов. – М. : ИНФРА-М, 2016. – 565 с.
175. Чернов, А.В. География и геоэкологическое состояние рек и пойм Северной Евразии / А.В. Чернов. – М. : Издательство «Корона», 2009. – 654 с.

176. Черных, Д.В. Классификация долинных ландшафтов для ландшафтной карты Русского Алтая / Д.В. Черных // Известия алтайского государственного университета. - 2011. - № 3-1(71) – С. 76-79.
177. Шагин, С.И. Геоэкологическая характеристика участка реки Малка от города Прохладного до устья / С.И. Шагин, М.А. Шамарина, Н.В. Татаренко // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2020. – № 3. – С. 72-77.
178. Шагин, С.И. Изучение радиоактивности вод горных рек Кабардино-Балкарской Республики с использованием детектора NaI в низкофоновой защите / С.И. Шагин, А.М. Пшуков, А.А. Кокоева, О.З. Блиева // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2024. - № 2. - С. 113–122.
179. Шагин, С.И. Морфометрическая характеристика главных рек Кабардино-Балкарской Республики / С.И. Шагин, А.Р. Акаев, О.О. Дахова, З.Ж. Гергокова // Безопасность жизнедеятельности. – 2022. – №6 (258). - С. 29-35.
180. Шальнев, В.А. Эволюция ландшафтов Северного Кавказа / В.А. Шальнев. - Ставрополь: Издательство СГУ, 2007. - 320 с.
181. Шамарина, М.А. Внутригодовая динамика химического состава воды в устье реки Баксан / М.А. Шамарина // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2024. – № 3. – С. 124-132.
182. Шамарина, М.А. Геоэкологическая ситуация пойменно-долинных ландшафтов участка реки Малка от города Прохладного до устья / М.А. Шамарина, С.И. Шагин // В сборнике: География: развитие науки и образования. Материалы международной научно-практической конференции LXXIV Герцинские чтения. Санкт-Петербург. – 2021. – С. 130-133.
183. Шамарина, М.А. Гидрогеохимические условия пойменно-долинных ландшафтов участка реки Малка от города Прохладный до устья / М.А. Шамарина // В сборнике: Актуальные проблемы наук о Земле. Материалы X (67-ой) ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета. Ставрополь. – 2023. – С. 255-260.

184. Шамарина, М.А. Гидрогеохимические условия экосистемы участка реки Малка от города Прохладный до устья в условиях антропогенной нагрузки / М.А. Шамарина, Н.В. Кондратьева, В.А. Квашин // В сборнике: Сборник материалов участников XIX Большого географического фестиваля. Санкт-Петербург. – 2023. – С. 437-441.
185. Шамарина, М.А. Изучение водного и уровенного режимов реки Малка в период 2018–2022 гг. / М.А. Шамарина, В.А. Квашин, А.Р. Акаев // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: Водные ресурсы в условиях глобальных вызовов: экологические проблемы, управление, мониторинг. - Новочеркасск: Лик, 2023. - Т. 2. - С. 164-170.
186. Шамарина, М.А. Изучение пойменных и карбонатных почв на пойменном участке реки Малка в районе города Прохладного до устья / М.А. Шамарина, З.Ж. Гергокова // В сборнике: Актуальные вопросы технических и естественных наук. Сборник научных трудов, приуроченный к году науки и технологий. Нальчик. – 2021. – Ч.2. – С. 304-308.
187. Шамарина, М.А. Исследование биогеоценозов и биотопов пойменного участка реки Малка в районе города Прохладного до устья / М.А. Шамарина, А.Э. Моккаева // В сборнике: Актуальные вопросы технических и естественных наук. Сборник научных трудов, приуроченный к году науки и технологий. Нальчик. – 2021. – Ч.2. – С. 308-312.
188. Шамарина, М.А. Исследование химического состава аллювиальных отложений на пойменном участке реки Малка в нижнем течении / М.А. Шамарина, В.А. Квашин, З.А. Жаникаева // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. – 2024. – №1. – С. 101-105.
189. Шамарина, М.А. Исследование химического состава воды подземного источника, расположенного на пойменном участке реки Малка в нижнем течении / М.А. Шамарина // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. – 2024. – Т. 24. – В. 1. – С. 32-40.
190. Шамарина, М.А. Классификация ландшафтов участка реки Малка от города Прохладного до устья / М.А. Шамарина, Р.С. Жидков, А.Р. Акаев // В

- сборнике: Перспектива-2021. Материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Нальчик. – 2021. – Т.2. – С. 314-319.
191. Шамарина, М.А. Микроклимат участка реки Малка от города Прохладного до устья / М.А. Шамарина, Р.С. Жидков, А.Р. Акаев // В сборнике: Перспектива-2021. Материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Нальчик. – 2021. – Т.2. – С. 320-323.
192. Шамарина, М.А. Образование осередок и островов на реке Малка от города Прохладного до устья / М.А. Шамарина, З.Ж. Гергокова // В сборнике: Актуальные вопросы технических и естественных наук. Сборник научных трудов, приуроченный к году науки и технологий. Нальчик. – 2021. – Ч.2. – С. 300-304.
193. Шамарина, М.А. Особенности гидрологического режима пойменного участка р. Малка / М.А. Шамарина, С.И. Шагин // В сборнике: География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной научно-практической конференции LXXIII Герценовские чтения. Санкт-Петербург. – 2020. – С. 366-369.
194. Шамарина, М.А. Особенности гидрологического режима р. Малка в районе г. Прохладный / М.А. Шамарина // В сборнике: Перспектива-2019. Материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Нальчик. – 2019. – Т.1. – С. 390-394.
195. Шамарина, М.А. Особенности пространственно-временного распределения биогенных веществ в геосистемах реки Малка в нижнем течении / М.А. Шамарина, Н.В. Кондратьева, В.А. Квашин // В сборнике: Географические проблемы развития стран и регионов. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. Ставрополь. – 2024. – С. 298-304.
196. Шамарина, М.А. Природно-ресурсные особенности бассейна реки Малка / М.А. Шамарина // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2024. – № 3. – С. 29-34.

197. Шамарина, М.А. Пространственно-временная изменчивость химического состава воды реки Малка в нижнем течении / М.А. Шамарина, Н.В. Кондратьева, В.А. Квашин // Грозненский естественнонаучный бюллетень. - 2024. – Т.9. - № 3 (37). - С. 52-63.
198. Шамарина, М.А. Формирование аллювиальных наносов в долине р. Малка в районе г. Прохладный / М.А. Шамарина // В сборнике: Перспектива-2017. Материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Нальчик. –2017. – Т.1. – С. 367-371.
199. Шамарина, М.А. Формирование аллювиальных наносов в долине р. Малка в районе г. Прохладный / М.А. Шамарина // В сборнике: Теория и практика географических исследований. Материалы XV Большого географического фестиваля. Санкт-Петербург. – 2019. – С. 88-91.
200. Шамарина, М.А. Формирование русловых форм рельефа в долине реки Малка в районе города Прохладного / М.А. Шамарина // Сборник статей XIII большого географического фестиваля. - Санкт-Петербург, 2017. - С.64-66.
201. Шамарина, М.А. Экологическое состояние участка реки Малка / М.А. Шамарина, С.И. Шагин, Р.С. Жидков, А.Р. Акаев // В сборнике: Современные проблемы биологии и экологии. Материалы докладов III международной научно-практической конференции. Махачкала. – 2021. – С. 443-447.
202. Шилькрот, Г.С. Пространственная неоднородность химического состава вод горных рек Кабардино-Балкарии / Г.С. Шилькрот, Т.М. Кудерина, Л.Г. Лобковская // Известия РАН. Серия географическая. – 2021. - Т. 85. - № 3. - С. 415-421.
203. Шилькрот, Г.С. Роль природных факторов в формировании состава воды горных рек (Северный Кавказ, Республика Кабардино-Балкария) / Г.С. Шилькрот, Т.М. Кудерина, Л.Г. Лобковская // Сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования Гидрохимического института, «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 1. – Ростов-на-Дону, 2020. - С. 191-194.

204. Шинкаренко, С.С. Динамика площадей водоемов Западного ильменно-бугрового района дельты Волги / С.С. Шинкаренко, С.А. Барталев, А.Н. Берденгалиева, А.А. Выприцкий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2021. - Т. 18. - № 4. - С. 285-290.
205. Широкова, В.А. История гидрохимических исследований поверхностных вод суши СССР до 1940-х гг. : автореферат дис. кандидата географических наук / В.А. Широкова. - Москва, 1989. - 24 с.
206. Шифферс, Е.В. Растительность Северного Кавказа и его природные кормовые угодья / Е.В. Шифферс. - М.: Наука, 1953. - 400 с.
207. Шхагапсоев, С.Х. Дендрофлористическое районирование Кабардино-Балкарии / С.Х. Шхагапсоев, Н.В. Старикова // Материалы XIII межреспубликанской научнопрактической конференции: Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем южных регионов России и сопредельных территорий. – Краснодар, 2000. - С. 68-69.
208. Эколого-гидрохимическая оценка природных вод Кабардино- Балкарской республики. - Нальчик : Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, 2021.
209. Энциклопедический словарь / под ред. И.Е. Андреевского, К.К. Арсеньева, Ф.Ф. Петрушевского; Изд. Ф. А. Брокгауз [Лейпциг], И. А. Ефрон [Санкт-Петербург]. — СПб.: Семеновская Типо-Литография И. А. Ефрона, 1890-1907. — Т. 1-41А [1-82], доп. 1-2А [1-4].
210. Янин, Е.П. Региональная природная неоднородность химического состава поверхностных вод суши и необходимость ее учета при оценках их экологического состояния и интенсивности техногенного загрязнения / Е.П. Янин, В.Н. Кузьмич, О.М. Иваницкий // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2016. - № 6. - С. 3-72.
211. Янин, Е.П. Русловые отложения равнинных рек (геохимические особенности условий формирования и состава) / Е.П. Янин. - М.: ИМГРЭ, 2002. - 139 с.

212. Georgiadi, A. G. Long-term changes of water flow, water temperature and heat flux of two largest arctic rivers of European Russia, Northern Dvina and Pechora / A.G. Georgiadi, P.Y. Groisman // *Environmental Research Letters*. - 2022. - V. 17. - № 8. 085002.
213. Goresy, A.E. Seifertite, a dense polymorph of silica from the Martian meteorites Shergotty and Zagami / A.E. Goresy, P. Dera, T.G. Sharp, C.T. Prewitt, M. Chen, L. Dubrovinsky, B. Wopenka, N.Z. Boctor, R.J. Hemley // *European Journal of Mineralogy*. - 2008. - V. 20. - P. 523-528.
214. Hauer, F.R. Gravel-bed river floodplains are the ecological nexus of glaciated mountain landscapes / F.R. Hauer, H. Locke, V.J. Dreitz, M. Hebblewhite, W.H. Lowe, C.C. Muhlfeld, C.R. Nelson, M.F. Proctor, S.B. Rood // *Science Advances*. - 2016. - V.2. doi: 10.1126/sciadv.1600026.
215. McKnight, Tom L. *Climate Zones and Types: The Köppen System* / Tom L. McKnight, Darrel Hess. // *Physical Geography: A Landscape Appreciation*. — Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 2000. - P. 200-201.
216. Ragettli, S. Contrasting climate change impact on river flows from high-altitude catchments in the Himalayan and Andes Mountains / S. Ragettli, W. Immerzeel, F. Pellicciotti // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – 2016. – V. 113(33). 9222-7. doi: 10.1073/pnas.1606526113.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Ежемесячные объемы стока главных анионов и биогенных веществ рассчитанные на основании данных полученных в результате синхронно выполненной гидрохимической съемки

Таблица П. 1 –Объём стока гидрокарбонатов в пунктах отбора проб в 2015-2023 гг.

Пункт отбора	Год	Объём стока гидрокарбонат-ионов, тыс.т/мес.											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2015	4,6	4,2	4,8	7,5	10,4	11,7	12,4	9,1	7,3	6,0	5,1	4,4
	2016	3,5	2,8	4,2	7,4	9,3	11,6	11,1	10,0	8,3	7,3	6,0	5,1
	2017	5,0	4,4	5,9	6,8	12,1	16,5	13,0	10,1	8,3	7,0	5,7	6,6
	2018	5,7	3,8	5,5	7,4	10,1	13,1	10,6	10,5	9,6	8,5	6,4	4,8
	2019	4,3	3,5	5,1	5,8	10,6	11,5	13,0	13,0	9,7	6,1	4,8	4,7
	2020	4,8	4,7	5,6	5,5	15,4	20,9	11,8	11,1	7,2	6,9	4,7	5,2
	2021	4,3	4,0	4,8	6,7	11,5	10,7	7,6	7,3	7,8	6,2	5,7	6,4
	2022	4,8	4,9	4,8	7,1	11,5	15,0	11,7	8,3	6,9	7,7	5,7	5,3
	2023	4,6	3,9	5,9	6,7	14,0	19,2	12,9	11,5	9,1	7,4	4,9	5,0
2	2015	24,9	22,1	25,7	27,0	38,2	75,1	79,2	74,4	53,4	31,5	24,4	26,3
	2016	25,4	23,0	26,1	27,6	46,5	80,7	89,7	71,8	56,1	33,6	32,9	29,8
	2017	26,5	22,7	25,5	24,7	47,1	85,4	70,4	60,3	41,4	30,6	29,4	28,7
	2018	23,8	21,2	28,2	28,2	48,1	72,5	86,9	87,3	54,6	32,3	31,6	29,8
	2019	28,0	21,3	24,6	26,7	40,0	87,2	111,9	97,4	44,6	33,3	26,0	26,1
	2020	23,5	22,0	25,5	24,5	42,0	97,5	79,2	73,5	54,5	31,3	24,1	26,6
	2021	23,8	21,1	24,9	31,4	54,7	78,1	79,0	71,6	45,1	33,6	26,9	25,8
	2022	23,7	21,0	25,8	26,7	41,0	94,6	66,0	84,8	48,1	36,9	24,4	25,3
	2023	24,0	21,6	26,9	26,9	60,5	119,9	80,5	72,5	31,6	27,5	26,8	27,8
3	2015	25,1	22,4	26,1	27,1	37,2	76,1	76,8	78,0	55,0	31,7	24,8	27,2
	2016	25,2	23,3	26,1	27,3	47,5	82,3	91,2	66,6	55,2	32,0	31,5	29,7
	2017	26,6	23,1	26,8	25,2	48,3	86,8	68,9	61,8	42,5	32,6	29,7	29,2
	2018	24,3	21,6	29,0	28,0	48,7	73,5	84,8	90,9	52,9	32,5	30,2	29,7
	2019	26,7	20,6	24,5	26,9	40,9	83,4	110,6	95,7	45,2	32,7	26,3	26,3
	2020	23,6	22,3	25,5	24,6	40,5	94,8	76,7	71,4	51,2	29,9	23,6	25,7
	2021	24,1	20,9	25,5	31,4	55,7	75,1	76,9	70,4	48,0	36,2	28,4	26,4
	2022	25,1	21,8	27,5	27,3	38,5	81,9	69,5	83,0	53,9	43,3	27,3	26,9
	2023	24,1	21,9	26,8	27,0	62,2	121,3	78,1	75,4	33,2	27,7	27,2	27,7
4	2015	19,4	17,6	19,9	17,6	23,9	59,0	60,7	63,9	36,1	24,7	19,8	21,7
	2016	21,1	19,7	20,9	19,5	36,4	66,2	74,5	53,5	38,3	23,7	25,3	24,1
	2017	19,2	17,6	18,8	17,6	32,9	69,4	48,4	49,6	29,8	22,6	22,4	22,1
	2018	17,1	15,9	19,6	17,4	31,6	56,0	71,2	73,2	34,0	21,5	23,0	24,3
	2019	22,6	16,8	18,5	20,3	28,6	69,9	81,0	77,0	30,9	23,7	20,9	21,3
	2020	17,8	15,4	16,9	17,8	25,3	60,3	64,4	62,1	37,0	23,3	18,0	20,5
	2021	19,2	16,7	19,7	24,5	42,0	56,5	68,2	59,7	30,1	23,4	19,4	19,7
	2022	18,8	15,4	19,4	19,8	23,6	65,2	53,5	59,5	33,9	23,4	16,7	19,5
	2023	18,5	17,9	19,8	19,6	41,0	84,8	66,5	55,2	22,5	18,9	20,7	22,5

Таблица П.2 – Объём стока сульфатов в пунктах отбора проб в 2015-2023 гг.

Пункт отбора	Год	Объём стока сульфат-ионов, тыс.т/мес.											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2015	4,5	4,3	5,0	4,5	5,8	5,3	7,9	6,3	5,4	6,0	7,1	6,9
	2016	3,2	2,8	4,0	4,6	4,3	5,7	5,3	5,5	7,2	7,7	6,3	6,8
	2017	4,8	3,9	4,7	4,6	7,3	8,4	6,6	5,7	5,0	8,0	6,4	8,7
	2018	5,7	3,7	4,7	4,5	4,6	5,6	4,7	6,3	6,6	8,4	7,7	6,5
	2019	4,0	3,2	4,1	3,9	5,6	5,2	6,6	6,7	6,4	5,8	6,4	7,3
	2020	4,7	4,4	4,9	3,7	10,6	10,9	7,8	7,0	5,6	8,9	6,0	7,2
	2021	5,1	4,2	5,1	4,7	7,2	5,9	4,0	3,9	5,5	5,3	7,6	9,0
	2022	5,1	5,0	4,8	4,8	8,0	8,1	6,2	6,1	5,5	7,9	6,7	6,6
	2023	3,1	2,5	3,6	4,6	9,4	8,2	7,8	9,5	7,5	9,5	6,4	6,9
2	2015	19,9	17,5	17,5	14,9	18,4	32,2	46,8	50,7	35,6	28,6	31,1	41,9
	2016	19,8	17,6	17,5	16,0	22,3	33,1	46,8	47,7	52,6	33,5	35,8	41,1
	2017	20,8	18,0	17,9	15,7	27,7	40,0	35,5	46,7	29,0	34,3	34,0	41,9
	2018	19,8	17,7	20,3	13,6	21,3	30,0	43,2	58,8	37,5	31,7	36,8	44,2
	2019	20,7	16,1	16,4	17,5	16,8	32,6	54,7	53,3	33,9	28,6	31,2	39,5
	2020	20,5	17,4	17,1	16,1	26,2	38,2	46,7	56,4	39,3	37,7	31,3	39,0
	2021	19,9	17,2	17,9	17,4	27,8	37,5	42,8	48,4	42,2	31,0	35,4	42,5
	2022	21,8	17,5	17,2	14,8	23,8	39,4	41,3	64,6	36,4	38,4	31,0	35,6
	2023	16,3	14,0	17,3	17,6	30,7	43,3	47,5	45,5	31,6	35,0	34,1	41,3
3	2015	19,0	17,3	18,5	14,4	17,0	32,8	43,9	47,1	33,5	31,0	31,6	42,5
	2016	18,9	17,3	18,5	15,5	20,5	33,8	44,0	49,2	51,0	36,3	34,7	41,9
	2017	19,8	17,8	18,9	15,1	26,3	36,7	33,4	47,3	28,1	37,1	34,6	42,7
	2018	18,9	17,4	21,5	14,7	23,0	30,6	40,6	54,6	36,3	34,3	37,4	43,5
	2019	19,8	15,9	17,4	16,9	17,6	33,3	51,4	54,5	34,5	31,0	31,8	37,4
	2020	19,6	17,2	18,0	15,5	24,9	39,8	43,9	52,4	38,1	40,8	30,5	39,6
	2021	19,0	16,9	19,0	16,8	28,4	36,4	40,3	45,0	43,5	30,5	36,0	41,8
	2022	20,8	17,3	18,2	14,3	24,8	40,3	39,2	59,9	37,5	41,5	31,6	36,1
	2023	16,1	14,1	16,9	17,0	32,1	44,2	44,7	42,3	30,7	37,9	34,7	40,5
4	2015	10,9	10,5	10,1	9,6	12,5	26,0	31,7	40,9	27,4	17,3	22,8	30,5
	2016	13,5	12,2	13,5	10,0	16,0	27,1	32,2	36,4	38,4	24,0	27,8	31,7
	2017	13,3	10,3	10,4	10,5	18,3	28,3	20,0	34,9	23,5	24,4	25,8	32,1
	2018	11,2	9,0	9,9	8,6	14,2	23,4	30,8	44,3	28,5	23,1	28,9	32,4
	2019	14,2	10,7	12,0	12,2	10,7	25,0	36,3	42,1	23,9	20,7	22,6	29,2
	2020	14,1	11,2	12,0	10,2	13,6	19,7	28,2	33,6	30,5	25,5	23,6	28,2
	2021	12,9	10,9	11,4	12,2	19,3	30,8	24,9	33,0	40,0	23,0	27,1	31,0
	2022	12,7	10,6	13,2	9,4	11,6	28,8	27,9	49,1	28,6	21,7	22,0	26,1
	2023	12,4	11,3	11,3	13,1	22,8	34,8	34,6	37,6	23,9	25,4	27,2	32,9

Таблица П.3 – Объем стока хлоридов в пунктах отбора проб в 2015-2023 гг.

Пункт отбора	Год	Объем стока хлорид-ионов, тыс.т/мес.											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2015	0,6	0,6	0,7	1,0	1,0	0,7	0,9	0,6	0,9	0,9	0,7	0,6
	2016	0,5	0,4	0,6	1,0	1,0	0,7	0,9	0,8	0,7	1,0	1,0	0,8
	2017	0,7	0,6	0,8	1,0	1,2	1,2	1,0	0,9	0,8	1,1	1,0	1,1
	2018	0,9	0,6	0,8	1,1	1,0	0,7	0,8	0,8	0,6	0,8	0,9	0,7
	2019	0,6	0,5	0,7	0,8	0,9	0,7	1,1	1,0	1,1	0,7	0,8	0,8
	2020	0,7	0,7	0,8	0,8	2,1	2,3	1,0	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8
	2021	0,6	0,5	0,6	0,8	1,1	1,1	0,7	0,6	0,8	0,8	0,9	0,9
	2022	0,7	0,7	0,7	0,9	1,4	1,0	0,8	0,7	0,8	0,8	0,6	0,6
	2023	0,6	0,5	0,8	0,9	1,6	1,0	1,0	0,8	0,7	0,9	0,8	0,8
2	2015	2,2	2,1	2,3	2,3	3,3	3,4	4,2	4,6	5,4	2,8	2,3	2,4
	2016	2,2	2,1	2,3	2,5	3,5	3,6	4,2	4,8	4,2	2,4	2,5	2,2
	2017	2,4	2,1	2,3	2,4	4,8	6,2	3,2	5,6	2,3	2,5	2,2	2,2
	2018	2,3	2,1	2,6	2,6	3,7	3,2	3,9	5,3	3,0	2,5	2,4	2,2
	2019	2,2	1,9	2,3	2,7	3,4	4,0	4,9	5,8	4,7	3,3	2,3	2,4
	2020	1,9	2,1	2,2	2,5	3,9	7,8	4,2	5,1	3,1	2,3	1,9	2,1
	2021	2,3	2,1	2,5	3,3	2,9	3,8	3,8	4,4	4,1	3,1	2,3	2,2
	2022	2,0	2,1	2,2	2,3	3,5	4,2	3,2	5,8	4,8	3,5	2,2	2,2
	2023	1,9	2,0	2,3	2,7	6,2	4,6	4,3	4,1	2,5	2,1	2,4	2,2
3	2015	2,2	2,1	2,3	2,3	3,3	3,5	4,2	4,5	5,4	2,7	2,3	2,4
	2016	2,2	2,1	2,3	2,5	3,5	3,6	4,2	4,8	4,2	2,6	2,3	2,4
	2017	2,4	2,1	2,3	2,5	4,8	5,9	3,2	4,5	2,3	2,6	2,3	2,3
	2018	2,2	2,1	2,6	2,4	3,8	3,3	3,9	5,3	3,7	2,4	2,4	2,4
	2019	2,3	1,9	2,3	2,7	3,4	4,1	4,9	5,8	4,7	3,1	2,3	2,4
	2020	2,0	2,0	2,2	2,5	4,0	7,6	4,2	5,1	4,1	2,9	2,0	2,2
	2021	2,5	2,2	2,6	3,2	2,9	3,9	3,8	4,3	4,0	3,0	2,2	2,1
	2022	2,1	2,1	2,2	2,3	3,7	4,3	3,2	5,8	4,7	3,8	2,3	2,3
	2023	2,0	2,0	2,3	2,8	6,2	4,8	4,3	4,1	2,5	2,7	2,5	2,2
4	2015	1,6	1,5	1,6	1,6	1,8	2,3	2,6	2,6	3,2	1,7	1,5	1,7
	2016	1,6	1,6	1,6	1,3	2,6	2,4	2,6	2,3	2,5	1,2	1,6	1,8
	2017	1,9	1,6	1,8	1,7	3,5	4,4	1,6	3,1	0,9	1,5	1,4	1,5
	2018	1,3	1,3	1,7	1,6	2,6	2,5	3,0	3,2	1,8	1,7	1,6	1,8
	2019	1,7	1,4	1,7	1,9	1,8	3,1	3,5	3,3	1,7	1,6	1,5	1,6
	2020	1,3	1,3	1,4	1,4	2,0	3,4	2,7	3,3	1,9	1,6	1,4	1,7
	2021	1,5	1,5	1,8	2,5	1,7	2,3	3,1	2,1	2,1	1,2	1,5	1,5
	2022	1,5	1,4	1,8	1,6	1,9	2,6	2,3	3,5	2,1	1,6	1,2	1,2
	2023	1,5	1,6	1,8	1,8	4,6	3,1	2,8	2,4	1,3	1,2	1,5	1,6

Таблица П.4 – Объем стока нитратов в пунктах отбора проб в 2018-2023 гг.

Пункт отбора	Год	Объем стока нитрат-ионов, тыс.т/мес.											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2018	0,35	0,23	0,30	0,30	0,28	0,18	0,10	0,23	0,27	0,26	0,19	0,22
	2019	0,24	0,19	0,23	0,24	0,28	0,14	0,22	0,24	0,15	0,12	0,17	0,22
	2020	0,36	0,31	0,37	0,21	0,40	0,41	0,14	0,24	0,22	0,20	0,16	0,16
	2021	0,14	0,14	0,11	0,10	0,11	0,15	0,09	0,15	0,18	0,15	0,14	0,21
	2022	0,18	0,17	0,13	0,17	0,21	0,17	0,11	0,11	0,14	0,17	0,12	0,17
	2023	0,17	0,13	0,13	0,13	0,23	0,28	0,14	0,24	0,19	0,16	0,10	0,15
2	2018	1,36	1,06	1,29	1,01	1,24	1,42	1,16	1,88	1,58	1,02	0,96	1,30
	2019	1,44	1,09	1,11	1,06	0,87	1,54	2,14	2,22	1,25	0,79	1,04	1,25
	2020	1,75	1,26	1,58	1,11	1,41	2,29	1,86	1,76	1,20	0,89	0,81	0,92
	2021	0,88	0,73	0,65	0,51	0,55	1,69	1,15	1,67	1,12	0,81	0,61	0,71
	2022	0,96	0,74	0,62	0,57	0,71	1,40	0,96	1,39	0,73	0,56	0,46	0,68
	2023	0,92	0,72	0,65	0,35	1,16	2,05	1,28	0,98	0,69	0,51	0,51	0,65
3	2018	1,35	1,11	1,30	1,05	1,30	1,65	1,30	1,91	1,58	1,06	0,97	1,32
	2019	1,35	1,06	1,12	1,10	0,74	1,80	2,29	2,25	1,10	0,79	1,10	1,27
	2020	1,74	1,30	1,59	1,04	1,40	2,09	2,01	1,78	1,25	0,92	0,72	0,80
	2021	0,87	0,77	0,66	0,55	0,63	1,96	1,29	1,69	1,21	0,87	0,66	0,73
	2022	0,96	0,78	0,63	0,61	0,67	1,24	1,07	1,42	0,83	0,61	0,51	0,70
	2023	0,92	0,77	0,66	0,39	1,35	2,39	1,43	1,00	0,75	0,55	0,57	0,66
4	2018	0,94	0,71	0,88	0,59	0,99	1,39	1,70	1,32	1,30	0,58	0,75	0,80
	2019	1,05	0,86	0,87	0,70	0,53	2,21	2,40	2,36	1,14	0,72	0,96	0,94
	2020	0,93	0,87	1,06	0,99	1,07	1,92	2,57	1,29	0,76	0,67	0,64	0,68
	2021	0,53	0,46	0,49	0,42	0,60	1,80	1,07	1,08	0,84	0,65	0,47	0,43
	2022	0,62	0,49	0,47	0,36	0,45	1,04	0,80	0,84	0,56	0,46	0,28	0,44
	2023	0,70	0,56	0,48	0,22	0,89	1,73	1,00	0,58	0,50	0,32	0,35	0,44

Таблица П.5 – Объем стока нитритов в пунктах отбора проб в 2018-2023 гг.

Пункт отбора	Год	Объем стока нитрит-ионов, тыс.т/мес.											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2018	0,0026	0,0017	0,0023	0,0026	0,0025	0,0038	0,0030	0,0024	0,0014	0,0010	0,0007	0,0006
	2019	0,0003	0,0010	0,0007	0,0006	0,0010	0,0015	0,0020	0,0020	0,0018	0,0014	0,0015	0,0018
	2020	0,0019	0,0016	0,0018	0,0015	0,0061	0,0043	0,0040	0,0016	0,0012	0,0021	0,0014	0,0016
	2021	0,0012	0,0017	0,0018	0,0026	0,0053	0,0073	0,0020	0,0025	0,0019	0,0016	0,0020	0,0021
	2022	0,0015	0,0014	0,0009	0,0010	0,0016	0,0015	0,0018	0,0009	0,0022	0,0011	0,0007	0,0005
	2023	0,0004	0,0009	0,0006	0,0008	0,0014	0,0014	0,0006	0,0010	0,0016	0,0006	0,0006	0,0004
2	2018	0,0112	0,0084	0,0116	0,0062	0,0115	0,0198	0,0226	0,0237	0,0097	0,0035	0,0059	0,0047
	2019	0,0028	0,0057	0,0049	0,0036	0,0050	0,0102	0,0175	0,0150	0,0097	0,0069	0,0057	0,0048
	2020	0,0088	0,0072	0,0075	0,0073	0,0158	0,0228	0,0093	0,0110	0,0101	0,0090	0,0064	0,0057
	2021	0,0051	0,0092	0,0090	0,0111	0,0230	0,0481	0,0153	0,0094	0,0102	0,0071	0,0072	0,0061
	2022	0,0077	0,0062	0,0070	0,0067	0,0066	0,0123	0,0129	0,0126	0,0154	0,0065	0,0057	0,0046
	2023	0,0028	0,0061	0,0054	0,0080	0,0135	0,0136	0,0094	0,0089	0,0082	0,0039	0,0063	0,0044
3	2018	0,0113	0,0090	0,0118	0,0063	0,0109	0,0222	0,0271	0,0229	0,0092	0,0045	0,0058	0,0046
	2019	0,0029	0,0056	0,0051	0,0038	0,0060	0,0127	0,0166	0,0147	0,0088	0,0059	0,0057	0,0047
	2020	0,0096	0,0071	0,0077	0,0074	0,0154	0,0208	0,0142	0,0102	0,0096	0,0084	0,0049	0,0043
	2021	0,0052	0,0090	0,0093	0,0113	0,0232	0,0386	0,0130	0,0088	0,0096	0,0059	0,0071	0,0059
	2022	0,0078	0,0061	0,0067	0,0068	0,0071	0,0154	0,0131	0,0117	0,0147	0,0054	0,0056	0,0045
	2023	0,0029	0,0059	0,0056	0,0081	0,0067	0,0169	0,0144	0,0083	0,0078	0,0050	0,0062	0,0043
4	2018	0,0076	0,0063	0,0090	0,0037	0,0088	0,0195	0,0135	0,0173	0,0111	0,0040	0,0074	0,0051
	2019	0,0027	0,0021	0,0035	0,0045	0,0051	0,0131	0,0082	0,0124	0,0079	0,0038	0,0054	0,0034
	2020	0,0049	0,0055	0,0062	0,0069	0,0087	0,0146	0,0065	0,0077	0,0087	0,0049	0,0047	0,0043
	2021	0,0041	0,0069	0,0068	0,0066	0,0103	0,0096	0,0073	0,0135	0,0071	0,0044	0,0054	0,0040
	2022	0,0058	0,0069	0,0070	0,0065	0,0063	0,0109	0,0108	0,0129	0,0087	0,0042	0,0043	0,0041
	2023	0,0057	0,0079	0,0038	0,0056	0,0130	0,0132	0,0067	0,0089	0,0057	0,0028	0,0054	0,0031

Таблица П.6 – Объем стока общего железа в пунктах отбора проб в 2018-2023 гг.

Пункт отбора	Год	Объем стока железа общего, тыс.т/мес.											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2018	0,0044	0,0024	0,0035	0,0052	0,0063	0,0236	0,0256	0,0294	0,0301	0,0143	0,0071	0,0037
	2019	0,0039	0,0031	0,0041	0,0050	0,0109	0,0207	0,0251	0,0240	0,0115	0,0050	0,0033	0,0028
	2020	0,0028	0,0021	0,0031	0,0035	0,0059	0,0046	0,0236	0,0268	0,0170	0,0083	0,0065	0,0033
	2021	0,0028	0,0024	0,0025	0,0055	0,0154	0,0195	0,0230	0,0279	0,0215	0,0135	0,0070	0,0040
	2022	0,0029	0,0024	0,0030	0,0047	0,0063	0,0122	0,0255	0,0189	0,0131	0,0130	0,0053	0,0029
	2023	0,0030	0,0018	0,0040	0,0045	0,0095	0,0154	0,0165	0,0345	0,0348	0,0070	0,0053	0,0025
2	2018	0,0193	0,0154	0,0199	0,0249	0,0446	0,1492	0,2453	0,2406	0,1034	0,0445	0,0338	0,0237
	2019	0,0234	0,0177	0,0209	0,0223	0,0435	0,1636	0,2020	0,1931	0,0578	0,0301	0,0224	0,0193
	2020	0,0170	0,0135	0,0166	0,0165	0,0210	0,0574	0,1740	0,2114	0,1257	0,0283	0,0237	0,0187
	2021	0,0157	0,0143	0,0150	0,0259	0,0718	0,1489	0,2193	0,2889	0,1099	0,0476	0,0306	0,0189
	2022	0,0142	0,0130	0,0169	0,0196	0,0262	0,0927	0,1788	0,2390	0,0703	0,0489	0,0263	0,0168
	2023	0,0158	0,0116	0,0190	0,0213	0,0348	0,1220	0,1130	0,2100	0,0913	0,0227	0,0323	0,0183
3	2018	0,0175	0,0157	0,0203	0,0257	0,0420	0,1507	0,2334	0,2880	0,1290	0,0468	0,0351	0,0230
	2019	0,0241	0,0181	0,0215	0,0243	0,0422	0,1647	0,1947	0,1861	0,0583	0,0310	0,0217	0,0189
	2020	0,0165	0,0120	0,0160	0,0159	0,0191	0,0559	0,1794	0,2141	0,1160	0,0377	0,0330	0,0187
	2021	0,0154	0,0141	0,0154	0,0262	0,0688	0,1501	0,2268	0,2833	0,0931	0,0470	0,0317	0,0185
	2022	0,0146	0,0122	0,0162	0,0205	0,0266	0,0961	0,1626	0,2440	0,0809	0,0545	0,0273	0,0163
	2023	0,0159	0,0140	0,0191	0,0215	0,0368	0,1222	0,1236	0,2136	0,0992	0,0228	0,0324	0,0187
4	2018	0,0140	0,0135	0,0175	0,0206	0,0380	0,1123	0,1323	0,1496	0,0783	0,0287	0,0199	0,0179
	2019	0,0182	0,0137	0,0140	0,0158	0,0265	0,1032	0,1188	0,1158	0,0425	0,0273	0,0191	0,0167
	2020	0,0148	0,0115	0,0141	0,0111	0,0153	0,0488	0,1035	0,0993	0,0449	0,0155	0,0138	0,0125
	2021	0,0127	0,0126	0,0139	0,0199	0,0489	0,1237	0,1880	0,1892	0,0482	0,0312	0,0188	0,0123
	2022	0,0114	0,0108	0,0133	0,0157	0,0209	0,0844	0,1157	0,1778	0,0537	0,0310	0,0189	0,0123
	2023	0,0128	0,0142	0,0139	0,0181	0,0259	0,1096	0,0985	0,1187	0,0542	0,0166	0,0251	0,0143