

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Гидрохимический институт»
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южный федеральный университет»

На правах рукописи



КОМАРОВ РОМАН СЕРГЕЕВИЧ

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СТОКА РЕК БАССЕЙНА
КУБАНИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ
ФАКТОРОВ**

Специальность – 1.6.21. Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор географических наук, доцент
Решетняк Ольга Сергеевна

Ростов-на-Дону – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ИЗУЧЕННОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СТОКА И СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ РЕЧНЫХ ВОД В БАССЕЙНЕ КУБАНИ	10
2 ОБЪЕКТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	24
2.1 Природно-климатические факторы формирования химического стока.....	24
2.2 Антропогенные факторы формирования химического стока.....	33
2.3 Исходная информация, методы исследования и представления картографической информации	42
3 ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ ВОД И ВОДНОГО СТОКА В БАССЕЙНЕ КУБАНИ	57
3.1 Тенденции изменчивости химического состава речных вод.....	57
3.2 Изменчивость водного стока.....	77
4 ХИМИЧЕСКИЙ СТОК РЕК БАССЕЙНА КУБАНИ.....	82
4.1 Тенденции многолетней и сезонной изменчивости химического стока в бассейне р. Кубани	82
4.2 Распределение модулей стока в пределах бассейна р. Кубани.....	125
4.3 Оценка изменений выноса химических веществ дельтовыми рукавами р. Кубани в Азовское море	139
4.4 Сверхнормативный сток химических веществ	145
4.5 Рекомендации по совершенствованию системы наблюдений за химическим стоком в пределах бассейна р. Кубани.....	153
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	157
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	160
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Статистические характеристики гидрохимических данных..	181

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Бассейн реки Кубани – крупнейший речной бассейн Северного Кавказа, который имеет экономическое и экологическое значение для Карачаево-Черкесской Республики, Республики Адыгея, Ставропольского и Краснодарского краев, а также в целом для юга России.

Исследование стока (переноса) химических веществ имеет значение в связи с прямым и косвенным антропогенным воздействием на поверхностные водные объекты. Преобразование окружающей среды под влиянием хозяйственной деятельности выражается в виде изменений химического состава, качества воды и стока растворенных веществ в пределах бассейна р. Кубани [53]. Исследования прошлых лет свидетельствуют о значительной пространственно-временной изменчивости химического состава поверхностных вод в пределах бассейна реки [24, 30–33, 46, 52, 100, 108, 109, 131]. При этом изучение пространственной и временной динамики составляющих химического стока (главных ионов, органических и биогенных веществ, микроэлементов и т. д.), позволяет оценить степень антропогенного воздействия, выявить антропогенную составляющую стока веществ и ее изменчивость в условиях неравномерно распределенного в пространстве и изменяющегося во времени антропогенного воздействия. Кроме того, сведения о химическом стоке необходимы для исследования трансформации и миграции веществ, для определения направленности формирования химического состава поверхностных вод, а также для оценки состояния окружающей среды и управления водными ресурсами в региональном и глобальном масштабах [82, 110, 139, 164]. «Сток растворенных веществ является одним из важнейших гидрохимических показателей формирования геоэкологической обстановки в бассейне реки» [110, с. 44].

Степень разработанности темы исследования.

Гидрохимические исследования рек бассейна Кубани можно разделить на два периода. К важным исследованиям первого периода (первая половина XX в.)

относятся работы О. А. Алекина, Л. В. Бражниковой, В. Я. Еременко, А. А. Зенина, Г. С. Коновалова, Б. А. Скопинцева и многих других [2, 3, 41, 43, 138]. Работы были посвящены изучению химического состава воды рек бассейна Кубани.

Во второй половине XX в. по мере накопления знаний и на фоне увеличившейся антропогенной нагрузки на водные объекты возникла необходимость изучения изменчивости химического состава воды рек и качества водных ресурсов. Это способствовало развитию второго периода исследований поверхностных вод рек бассейна Кубани. Изучалась загрязненность рек Кубанского бассейна [45], а также изменчивость антропогенной составляющей стока главных ионов непосредственно р. Кубани [13, 59, 61].

Однако время начала второго периода достаточно условно, так как помимо изучения загрязненности р. Кубани продолжались исследования химического состава речных вод. Проводились работы по установлению источников поступления хлоридов в поверхностные воды рек Северного Кавказа [70], изучался химический состав поверхностных вод отдельных притоков р. Кубани [55, 69, 83, 90], исследовался сток микроэлементов и органических веществ (ОВ) [56, 58, 80–82].

В конце XX – начале XXI в. благодаря накопленному гидрохимическому и гидрологическому материалу, расширению перечня определяемых в воде компонентов химического состава и разработке интегральных методов оценки качества поверхностных вод получили импульс исследования геоэкологического характера. К ним относятся работы С. В. Бердникова, В. А. Брызгало, Н. С. Дега, Ф. Р. Дреевой, О. А. Клименко, М. Ю. Кондаковой, Л. С. Косменко, А. Е. Косолапова, Е. Е. Лобченко, П. М. Лурье, Л. И. Мининой, А. М. Никанорова, И. П. Ничипоровой, В. В. Онищенко, В. Д. Панова, Г. И. Радько, Н. В. Реутовой, Т. В. Реутовой, О. С. Решетняк, М. П. Смирнова, В. В. Сорокиной, Ю. Ю. Ткаченко, Т. А. Хоружей и других [15, 16, 30–33, 38, 46, 74, 91, 94–96, 98, 100, 101, 108, 109, 124–128, 140].

Сток химических веществ и изменчивость степени загрязненности воды на сегодняшний день достаточно хорошо изучены для отдельных участков р. Кубани и рукавов ее дельты. Загрязненность поверхностных вод и химический сток притоков р. Кубани изучены в меньшей степени. В литературе можно найти лишь немногочисленные данные. Вместе с тем отдельные стороны вопроса до сих пор представляют интерес для исследователей. В настоящее время остаются нерешенными вопросы, связанные с динамикой стока химических веществ и оценкой уровня антропогенного воздействия в современный период.

Цель исследования – выявление закономерностей изменчивости химического стока рек бассейна Кубани под влиянием природных и антропогенных факторов.

Задачи исследования.

1. Проанализировать природные и антропогенные факторы формирования химического стока рек бассейна Кубани.

2. Определить статистически значимые изменения химического состава, качества речных вод и водного стока за период 1990–2020 гг.

3. Оценить пространственно-временную изменчивость химического стока рек в пределах бассейна Кубани.

4. Провести оценку изменений выноса химических веществ дельтовыми рукавами р. Кубани в Азовское море.

5. Оценить сверхнормативный сток отдельных загрязняющих веществ в бассейне р. Кубани.

Объект исследования – участки р. Кубани, ее притоки и рукава дельты.

Предмет исследования – многолетняя (за период 1990–2020 гг.) и сезонная изменчивость стока главных ионов, органических веществ, биогенных веществ, соединений металлов и нефтепродуктов в бассейне р. Кубани.

Научная новизна.

Определены тенденции изменчивости химического состава, качества воды и химического стока рек бассейна Кубани за многолетний период (1990–2020 гг.).

Впервые выделены контрастные периоды формирования химического стока рек бассейна Кубани (фазы повышенного и пониженного химического стока), проведена оценка относительных изменений среднемноголетних и сезонных значений стока веществ.

Разработаны картосхемы, характеризующие распределение модулей ионного стока, стока органических веществ, биогенных веществ, соединений металлов и нефтепродуктов в бассейне р. Кубани.

Получены актуальные данные об антропогенной составляющей ионного стока (ИС) и сверхнормативном стоке загрязняющих веществ.

Теоретическая значимость работы заключается в получении новых данных о пространственно-временной изменчивости химического стока рек в бассейне Кубани, что дополняет отдельные разделы региональной гидрохимии.

Практическая значимость исследования.

Выявленные особенности и тенденции изменчивости стока химических веществ в бассейне р. Кубани могут быть использованы при разработке системы управления водными ресурсами в масштабе отдельных участков или всего бассейна р. Кубани, для прогнозных оценок выноса химических веществ в прибрежные зоны Азовского моря, а также при разработке рекомендаций по снижению негативного воздействия на водотоки бассейна р. Кубани.

Результаты проведенного исследования позволили дать рекомендации по усовершенствованию системы наблюдений за химическим стоком в пределах бассейна р. Кубани.

Часть результатов работы использована при выполнении гранта Российского научного фонда № 24-27-00366 и в учебном процессе при подготовке практических заданий к дисциплинам в рамках направления подготовки «Экология и природопользование».

Методология и методы исследования.

В работе использованы многолетние данные мониторинга, проводимого Росгидрометом в части качества поверхностных вод суши в пределах бассейна р. Кубани за период 1990–2020 гг. Применялись традиционные (описательный,

сравнительно-географический, математико-статистический) и новые (ГИС-технологии) методы географических исследований. Методологической основой являются подходы, разработанные и применяемые в Гидрохимическом институте Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Для анализа многолетних данных использовали коэффициент ранговой корреляции Кендалла и метод разностно-интегральных кривых. Разработка картосхем осуществлялась с помощью свободно распространяемой геоинформационной системы QGIS 3.10 и компьютерной программы для редактирования пространственных данных SAGA GIS 2.3.2.

Положения, выносимые на защиту.

1. Статистически значимые тенденции изменчивости концентраций химических веществ в речных водах бассейна Кубани характеризуются как убывающие по большинству показателей. За период 1990–2020 гг. наблюдалось улучшение качества воды с 4-го («грязная» и «очень грязная») до 3-го класса («загрязненная» и «очень загрязненная») с последующей стабилизацией.

2. Изменчивость химического стока по длине реки Кубани и на участках ее основных притоков преимущественно характеризуется убывающими тенденциями. Выявленные тренды ионного стока, стока органических веществ, минерального азота и соединений цинка имеют локальный характер, а статистически значимые тенденции снижения стока соединений железа, меди и нефтепродуктов отмечались в большинстве пунктов наблюдений.

3. За период 1990–2020 гг. выявлено сокращение совместного выноса дельтовыми рукавами р. Кубани главных ионов, азота аммонийного и нитритного, соединений железа, меди, цинка и нефтепродуктов в Азовское море, что способствовало более равномерному распределению многолетнего и сезонного химического стока по рукавам дельты.

4. Сверхнормативный сток сульфатов, органических веществ, азота нитритного, соединений железа, меди, цинка и нефтепродуктов в бассейне р. Кубани снизился за последние 15–20 лет.

Степень достоверности и апробация результатов.

Результаты работы докладывались на российских и международных конференциях: Всероссийская научная конференция «Проблемы социально-экономической географии и природопользования» (г. Ростов-на-Дону, г. Таганрог, 01 декабря 2017 г.), Всероссийская научная конференция «Актуальные вопросы и инновационные технологии в развитии географических наук» (г. Ростов-на-Дону, 31 января – 01 февраля 2020 г.), Международная научно-практическая конференция «Системы контроля окружающей среды – 2022» (г. Севастополь, 08–11 ноября 2022 г.), XVIII Ежегодная молодежная научная конференция «Наука Юга России: достижения и перспективы» (г. Ростов-на-Дону, 18–29 апреля 2022 г.), XIX Ежегодная молодежная научная конференция «Достижения и перспективы научных исследований молодых ученых Юга России» (г. Ростов-на-Дону, 17–28 апреля 2023 г.), Всероссийская научно-практическая конференция «Водные ресурсы в условиях глобальных вызовов: экологические проблемы, управление, мониторинг» (г. Ростов-на-Дону, 20–22 сентября 2023 г.), XIV Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» (г. Махачкала, 17–22 сентября 2024 г.).

По теме исследования подготовлено 12 публикаций, из них 4 статьи в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, 8 работ в рецензируемых журналах и сборниках всероссийских и международных конференций. Зарегистрирована 1 база данных.

Соответствие работы паспорту специальности.

Результаты исследования соответствуют паспорту специальности 1.6.21. Геоэкология: п. 5 «Природная среда и индикаторы ее изменения под влиянием естественных природных процессов и хозяйственной деятельности человека (химическое и радиоактивное загрязнение биоты, почв, пород, поверхностных и подземных вод)...», п. 16 «...Современные методы

геоэкологического картирования, ГИС-технологии и информационные системы в геоэкологии».

Личный вклад автора состоит в формулировании цели, задач и выводов исследования, а также в обработке многолетней гидрологической и гидрохимической информации и создании картосхем. Автором проведен сбор и анализ литературных источников и фондовых материалов. Часть результатов исследования обобщена и интерпретирована при консультации с научным руководителем.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 180 страницах (без учета приложения), включает 37 рисунков и 44 таблицы. Список литературы состоит из 172 наименований, из них 17 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю д.г.н., доценту Ольге Сергеевне Решетняк за помощь в работе, советы и рекомендации, коллегам из Гидрохимического института и сотрудникам кафедры геоэкологии и прикладной геохимии Института наук о Земле ЮФУ за помощь при подготовке работы.

1 ИЗУЧЕННОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СТОКА И СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ РЕЧНЫХ ВОД В БАССЕЙНЕ КУБАНИ

Гидрохимические исследования поверхностных вод рек бассейна Кубани можно условно разделить на два периода. Во время первого периода изучался химический состав воды рек бассейна Кубани. Исследование водных объектов в это время стимулировалось развитием промышленности и сельского хозяйства, а результаты проводимых работ использовались для решения практических задач. Этот этап ориентировочно охватывал первую половину XX века.

Одним из первых трудов начального периода, в котором приводятся данные о химическом составе воды рек бассейна Кубани, стал опубликованный в 1936 г. «Справочник по водным ресурсам СССР» [144]. В нем содержатся сведения о концентрациях в воде химических веществ по длине р. Кубани (в пунктах г. Армавир, ст-ца Темижбекская, г. Краснодар, ст-ца Елизаветинская, ст-ца Федоровская), а также ее притоков: рр. Большой Зеленчук и Малый Зеленчук, Уруп, Лабы, Белой, Иль, Афипс и других небольших водотоков. В справочнике рассматривались результаты химических анализов воды за период с 1926 по 1932 г. В основном в воде упомянутых рек определялись главные ионы, нитриты, нитраты, окисляемость и сухой остаток. Справочник по водным ресурсам СССР фактически стал первой работой, в которой сделана попытка провести сравнительный анализ вод р. Кубани и ее притоков и дать гидрохимическую характеристику этих рек.

Последующие годы относят к началу регулярных наблюдений за химическим составом в бассейне р. Кубани. Данные мониторинга с тех пор публиковались в издании Гидрометеорологической службы СССР «Гидрологический ежегодник».

Гидрохимическая характеристика отдельных притоков р. Кубани дана Б. А. Скопинцевым. По результатам экспедиции 1935 г. был проанализирован химический состав воды рек Пшиш, Белой, Пшехи и Курджипс. Рассматривалось

содержание в речных водах некоторых главных ионов (кальция, магния, хлоридов и сульфатов), соединений азота, фосфора, железа, органических веществ. Выявлено значительное загрязнение рек Пшиш и Пшехи нефтепродуктами [138].

Год спустя в монографии О. А. Алекина «Гидрохимия рек СССР» по материалам сети гидрометеорологических станций Гидрометслужбы СССР за период 1936–1944 гг. были описаны гидрохимические характеристики р. Кубани и ее притоков. Работа внесла значительный вклад в понимание процессов формирования химического состава рек и изменения минерализации воды благодаря притокам на различных участках р. Кубани [2].

В публикации А. А. Зенина и Г. С. Коновалова приведены данные о содержании в воде р. Кубани мышьяка, бора, брома, йода, фтора и подсчитан сток этих микроэлементов [43]. В другой работе того же года за авторством В. Я. Еременко, А. А. Зенина и Г. С. Коновалова подробно исследованы гидрохимический режим и сток главных ионов и биогенных веществ в нижнем течении р. Кубани в районе г. Краснодара и х. Тиховского [41].

На основе литературных источников Б. А. Скопинцев и Л. П. Крылова вычислили величину стока крупных рек Советского Союза. Авторы опубликовали одни из первых сведений о стоке органических веществ в бассейне р. Кубани [137].

Особого внимания заслуживает работа О. А. Алекина и Л. В. Бражниковой. Помимо того, что авторами впервые оценен ионный сток с обширной территории СССР, были также рассмотрены и сопоставлены сезонные распределения ионного стока р. Кубани и некоторых ее притоков (рр. Малый Зеленчук, Большой Зеленчук, Уруп, Курджипс, Адагум). Приведена сравнительная характеристика среднегодового ионного стока и водоносности отдельных рек СССР. Ионный сток и показатель (модуль) ионного стока р. Кубани был оценен по данным пункта наблюдений, расположенного в районе Переволокского узла. Кроме того, рассчитаны абсолютные значения и модули ионного стока притоков Кубани: рр. Малый Зеленчук, Уруп, Лаба, Фарс, Белая, Курджипс, Пшеха, Афипис и Адагум [3].

Уже во второй половине XX века вследствие увеличившейся антропогенной нагрузки на водные объекты исследователи чаще обращали внимание на проблему изменения химического состава воды рек и качества водных ресурсов. Это способствовало развитию второго условного периода исследований речных вод бассейна Кубани.

Так, наблюдения, проведенные О. А. Клименко и М. Н. Тарасовым в 1966 г., позволили изучить загрязненность р. Кубани и ее отдельных притоков. Отмечалось, что горные районы речного бассейна не имеют источников загрязнения, а равнинные участки загрязняются хозяйственно-бытовыми сточными водами, предприятиями пищевой, деревообрабатывающей и химической промышленности. Наиболее загрязненной синтетическими поверхностно-активными веществами (СПАВ) и ионами аммония вода р. Кубани была близ городов Невинномысска и Крпоткина за счет сточных вод этих населенных пунктов. Также поверхностные воды были загрязнены фенолами естественного и промышленного происхождения. Санитарное состояние воды реки по таким показателям, как растворенный в воде кислород, нитраты, соединения меди и цинка, авторы считали удовлетворительным [45].

Помимо изучения загрязненности р. Кубани и изменчивости ее химического состава вследствие антропогенного воздействия, продолжались исследования гидрохимической направленности, в том числе в районах, мало подверженных влиянию хозяйственной деятельности человека. Так, П. П. Куцевой, Г. С. Коноваловым и Б. А. Петросьянц проведена работа по установлению источников поступления хлоридов в поверхностные воды рек Северного Кавказа. В частности, изучены верхние участки рек от р. Большой Лабы до р. Баксан. Установлено, что в основном хлориды поступают в реки из атмосферных осадков и горных пород. При этом благодаря большому содержанию веществ в осадочных горных породах концентрации хлоридов в воде рек могут существенно превышать концентрации по сравнению с реками, которые протекают по изверженным и метаморфическим горным породам. В последнем случае содержание хлоридов почти равно их концентрациям в атмосферных осадках [70].

П. П. Куцевой, Г. С. Коноваловым и Д. Е. Людовских изучался химический состав воды р. Уруп. Анализ изменчивости содержания химических веществ позволил установить, что в разных частях бассейна реки химический состав воды формируется по-разному [69]. «В предгорной части минерализация речной воды намного увеличивается за счет ионов HCO_3^- , SO_4^{2-} и Ca^{2+} . Источником поступления этих ионов являются карбонатные породы верхней юры и нижнего мела и гипсоносные отложения титона» [69, с. 13].

О. Е. Ланчиковой и В. Т. Каплиным при изучении режима биогенных и органических веществ Шапсугского, Октябрьского, Шенджийского и Читукского водохранилищ обнаружена выраженная сезонная изменчивость концентраций рассматриваемых веществ в воде. Установлено, что одним из главных источников биогенных и органических веществ являлся растительный покров [72]. Позже тем же коллективом были проведены лабораторные опыты по исследованию влияния почвенного покрова на содержание органических и биогенных веществ в природных водах. Для эксперимента были отобраны образцы растительности и почв, распространенных на водосборной площади тех же четырех водохранилищ [71].

Н. В. Веселовским и др. описана изменчивость изотопного состава серы сульфатных ионов в бассейне р. Кубани, определены основные источники их поступления: продукты окисления сульфидов различного генезиса, сульфаты эвапоритов, сульфаты континентального происхождения [19].

В монографии 1973 г. «Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 8: Северный Кавказ» в главе IX подробно описаны гидрохимические характеристики рек Северного Кавказа. Приведены данные о минерализации, концентрациях главных ионов, биогенных и органических веществ. Уделялось внимание ионному стоку по длине р. Кубани и ее притоков [122].

Н. И. Кочетовым проводилась оценка химической денудации на Западном Кавказе [64]. Автором выявлены закономерности изменчивости интенсивности химической денудации в зависимости от высоты водосбора для рек северного (рр. Уруп, Малая Лаба, Лаба, Белая, Пшеха, Псекупс, Афипс, Абин, Адагум) и

южного (рр. Мзымта, Шахе, Сочи, Вулан, Туапсе, Аше, Хоста) склонов Западного Кавказа. Установлено, что «в условиях сурового климата высокогорных районов, где в геологическом разрезе преобладают магматические и метаморфические породы, господствуют процессы физического выветривания, а интенсивность химического преобразования пород сравнительно низка. В среднегорье, где при благоприятном гидротермическом режиме и глубоком врезе долин обеспечивается хороший дренаж территории и быстрое удаление рыхлых продуктов выветривания, интенсивность химической денудации резко возрастает. В области низкогорья, для которой характерны меньшие глубина и густота расчленения, активны процессы аккумуляции продуктов выветривания» [64, с. 65].

Дальнейшие исследования часто касались более масштабных процессов, и сведения о химическом составе поверхностных вод и стоке растворенных веществ рек бассейна Кубани представлялись в обобщенном виде и сравнивались с другими речными бассейнами. К таким работам относятся труды сотрудников Гидрохимического института.

Так, Г. С. Коноваловым и соавторами был рассчитан сток микроэлементов (бора, фтора, иода, меди, цинка, ванадия, марганца, никеля, молибдена, железа) с Европейской территории СССР за период 1971–1972 гг. [58]. Позже исследования 1971–1976 гг. позволили Г. С. Коновалову и В. И. Кореневой оценить вынос тех же микроэлементов с территории СССР в моря и тем самым дополнить и уточнить исследования прошлых лет. Вынос микроэлементов с речным стоком р. Кубани был рассчитан для 1971, 1972, 1976 гг. По отдельным микроэлементам авторы отмечали рост значений стока, который связывали с антропогенным воздействием [56]. В следующей работе Г. С. Коновалова и соавторов рассматривалось содержание микроэлементов в воде замыкающих створов рек Европейской территории СССР в 1976–1978 гг. Концентрации микроэлементов в воде р. Кубани изменялись в широких пределах. Отдельно авторы обращали внимание на повышенные концентрации меди и цинка в воде рек Кавказа. Причиной этому служит металлоносность пород в пределах бассейнов рек [57].

А. В. Мальцевой и др. в работе по изучению выноса органических веществ реками СССР рассчитаны среднемноголетние значения выноса ОВ за два периода: 1936–1965 гг. и 1966–1975 гг. Отмечалось незначительное снижение стока ОВ для р. Кубани (в районе х. Тиховского) во втором периоде [81]. Изученное позже А. В. Мальцевой внутригодовое распределение стока органических веществ для рек СССР показало, что в воде р. Кубани сезонные изменения содержания органических веществ выражены незначительно, а сток ОВ рек бассейна Кубани в течение года распределялся равномерно [80].

В работе А. В. Мальцевой и соавторов рассматривалась пространственно-временная изменчивость стока органических веществ и приводились данные о его среднемноголетних значениях для отдельных рек СССР [82]. Авторами оценен среднегодовой сток органических веществ р. Кубани в районе г. Усть-Лабинска и х. Тиховского. Рассмотрен среднемноголетний перенос ОВ притоками: р. Лаба (х. Догужиев), р. Уруп (ст-ца Попутная), р. Малый Зеленчук (а. Али-Бердуковский), р. Чамлык (ст-ца Вознесенская), р. Пшиш (г. Хадыженск), р. Псекупс (г. Горячий Ключ). Внутригодовое распределение стока органических веществ рек бассейна Кубани было достаточно равномерным. В зимний период реками выносилось 7–30 %, в период весеннего половодья – 42–53 %, в летне-осенний период – 17–50 % годового стока органических веществ [82].

Особого внимания заслуживают работы двух коллективов: И. А. Кондрашовой и др. [55] и В. И. Манихина и др. [83]. Первыми изучались условия формирования химического состава вод р. Теберды. Авторы определили источники питания высокогорных рек бассейна р. Теберды и выявили, какое влияние на химический состав оказывают различные источники питания рек. В работе приведены сведения о минерализации воды и содержании биогенных и органических веществ. Показано, что «химический состав воды рек в отдельные периоды года определяется химическим составом воды преобладающего в этот период источника питания» [55, с. 27]. Подсчитан ионный сток р. Гоначхир (10 тыс. т в год в среднем за период с 1969 по 1971 г.). Даны рекомендации по частоте и условиям отбора проб воды на химический анализ [55].

В. И. Манихиным и соавторами оценивалась связь поступления воды от различных источников питания и минерализации воды р. Белой [83]. Благодаря наблюдениям, проведенным в 1971–1972 гг., были выявлены закономерности в распределении водного стока и минерализации, на основе которых предложено «уравнение связи минерализации и относительного содержания составляющих речного стока» [83, с. 54].

Позднее в работе Р. К. Манихиной и соавторов были обобщены накопленные сведения о химическом составе рек бассейна Кубани. Исследование позволило выявить зависимость минерализации и химического состава поверхностных вод рек от характера и степени засоленности водосборов и их высотного расположения. Отмечено возрастание минерализации воды рек при переходе от горной части к степной [84].

Накопленный объем гидрохимических данных позволил Л. Н. Назаровой и соавторам разработать схему типизации рек горных и высокогорных районов Кавказа. При разработке схемы использованы данные пунктов наблюдений располагавшихся в пределах бассейнов рек Кубани, Терека, Риони, Кумы, Мингечаурского водохранилища, озера Севан и других водных объектов Кавказа. Были выделены три гидрохимические зоны: А, В, С. Река Кубань и ее притоки (рр. Белая, Большая Лаба, Уруп) включены в зону «А», к которой относятся гидрокарбонатно-кальциевые воды [90]. Как отмечалось, «средняя минерализация этих вод около 180 мг/л» [90, с. 10].

В последующие годы появлялись работы, которые все чаще касались проблемы изменчивости химического состава, качества воды и стока веществ вследствие хозяйственной деятельности. В частности, обращалось внимание на изменения в ионном стоке р. Кубани из-за возросшего антропогенного воздействия. На основе оценки антропогенных изменений химического стока В. И. Кореневой и соавторами выделена антропогенная составляющая стока минеральных компонентов 47 рек СССР [61]. Основной целью работы являлось «исследование некоторых методов расчета антропогенной составляющей речного стока» [61, с. 178]. Данное исследование стало одной из первых работ, в которой

даны сведения об изменении антропогенной составляющей стока главных ионов р. Кубани. Установлено, что по сравнению с 1971–1975 гг. в 1976–1980 гг. произошел прирост техногенной составляющей стока большей части главных ионов [61]. Позже В. Н. Бортник и М. А. Друмева количественно определили антропогенную составляющую солевого стока Дона и Кубани. Авторы отмечали заметный рост стока главных ионов р. Кубани вследствие увеличившейся антропогенной нагрузки в 1980-е гг. [13].

В конце XX – начале XXI в. благодаря накоплению обширного гидрохимического и гидрологического материала, расширению перечня определяемых в воде компонентов химического состава и разработке интегральных методов оценки качества поверхностных вод исследования геоэкологического характера получили новый импульс.

С. В. Коняевым и соавторами было показано, что вследствие антропогенной деятельности произошли существенные изменения в структуре ионного стока р. Кубани. Для бассейна реки авторами был выделен период условного гидрохимического фона – 1936–1955 гг. В эти годы бассейн Кубани испытывал наименьшую антропогенную нагрузку, а структура ионного стока характеризовалась высокой стабильностью. В последующие годы происходил рост стока сульфатов, хлоридов, суммы натрия и калия, который особенно был заметен ниже г. Невинномысска. В ионном стоке на этом участке стали преобладать сульфаты из анионов, из катионов – натрий и калий [59].

В работе Л. Г. Коротовой и соавторов рассматривается вынос реками Дон, Кубань и Миус минеральных, органических, биогенных и загрязняющих веществ. Динамика стока веществ была проанализирована по пятилетним периодам: 1981–1985, 1986–1990, 1991–1995, 1996–2000 гг. Показано, что динамика общего стока веществ и антропогенной составляющей р. Кубани за исследуемый период имела неоднозначный характер и часто определялась поступлением компонентов в поверхностные воды, нежели от изменчивости водного стока [63].

В работе, посвященной анализу состояния и использования водных ресурсов крупных рек России, приведены сведения о качестве воды, которое

оценивалось с помощью индекса загрязнения воды (ИЗВ). В 1994–1997 гг. качество воды изменялось от III класса качества («умеренно загрязненная») до V класса («грязная») [22]. В монографии П. М. Лурье, В. Д. Панова и Ю. Ю. Ткаченко, помимо описания природных условий, гидрографии и режима стока рек бассейна Кубани, приводятся сведения об основных источниках загрязнения вод реки и ее притоков. Рассмотрены пространственно-временные тенденции изменчивости степени загрязненности водных объектов. Качество воды оценивалось на основе удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ). Показано, что наиболее загрязненными поверхностные воды рек бассейна Кубани были в 90-е гг., а к началу 2000 г. качество воды заметно улучшилось в большинстве створов [74]. В дальнейшем динамика качества воды в бассейне р. Кубани рассматривалась в работах О. А. Клименко, А. М. Никанорова, Т. А. Хоружей и других [24, 30–33, 46, 94, 96, 100, 108, 109, 111].

В пределах бассейна р. Кубани находится уникальный географический объект – дельта р. Кубани. Ее верхняя часть занята рисовыми полями, а нижняя – лиманами и плавнями [74, 89]. В монографии, посвященной гидрологии дельты и устьевого взморья Кубани [24], уделено внимание гидрохимии Нижней Кубани и водотоков дельты. На основе многолетних наблюдений (с 1936 по 2005 г.) были рассмотрены ионный состав, газовый режим, содержание органических и биогенных веществ в воде нижнего течения р. Кубани и рукавов ее дельты, химический состав коллекторно-дренажных вод, качество воды в бассейне и вынос главных ионов, органических и биогенных веществ в Азовское море. Показано, что сток растворенных веществ р. Кубани непостоянен и изменяется вследствие естественных и антропогенных причин.

С 2010 г. публиковались работы сотрудников Гидрохимического института, посвященные качеству поверхностных вод, стоку загрязняющих веществ и оценке экологического состояния экосистем водных объектов юга России. В работе А. М. Никанорова и др. по оценке выноса органических и биогенных веществ реками в моря России рассматривались тенденции изменения химического стока р. Кубани по пятилетним периодам с 1981 по 2000 г. Показано, что из-за роста

загрязненности сток органических веществ увеличился более чем в 2 раза. Отмечены существенные значения выноса нитратного азота, обусловленные интенсивным применением удобрений в бассейне р. Кубани. Наблюдалось увеличение выноса аммонийного и нитратного азота, минерального и общего фосфора, соединений железа и кремния в 1991–2000 гг. по сравнению с предшествующим периодом (1981–1990 гг.) [98]. Позже сотрудниками Гидрохимического института был проведен расчет и анализ динамики притока растворенных веществ на устьевую область р. Кубани. Показано, что наиболее изменчивым был сток аммонийного и нитратного азота, органических веществ по БПК₅, нефтепродуктов и соединений железа. Колебания значений стока были обусловлены изменчивостью концентраций компонентов [95]. В дальнейшем А. М. Никаноровым, В. А. Брызгалю и другими исследовалась пространственно-временная изменчивость гидрологических, гидрохимических и гидробиологических показателей в бассейне р. Кубани [15, 16, 91, 94, 100, 101]. Вместе с тем была обнаружена тенденция снижения стока нефтепродуктов для замыкающего створа р. Кубани (х. Тиховский) и высокие значения притока азота аммонийного и органических веществ по БПК₅ [16].

Кроме работ, опубликованных сотрудниками Гидрохимического института, представляют значительный интерес исследования ученых других научных организаций.

А. Е. Букатов и Е. А. Павленко за двадцатилетний период (1992–2012 гг.) изучали воздействие гидрометеорологических условий на изменчивость степени загрязненности вод устьевых зон Дона и Кубани. Показано значительное влияние увеличения количества осадков и объемов водного стока на содержание нефтепродуктов, СПАВ и азота аммонийного. Рассчитаны среднегодовые значения стока нефтепродуктов, СПАВ, азота аммонийного, фосфора общего и силикатов [17].

А. Н. Ткаченко и др. исследовали сток тяжелых металлов (Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Co, Ni, Pb, Cr) в дельтах Дона и Кубани в меженный период 2013–2014 гг. Для рукава Кубань в работе приведены данные о стоке растворенных и взвешенных

форм и суммарном стоке металлов. Отмечено превышение значений стока растворенных форм меди и цинка над взвешенными формами. Сравнение стока тяжелых металлов в дельте Дона и Кубани показало, что бóльшие объемы веществ выносятся через дельту Дона. Для дельты Кубани характерны высокие объемы стока взвешенных форм железа и хрома [150].

В. В. Сорокиной и С. В. Бердниковым оценивалась биогенная нагрузка Дона и Кубани на экосистему Азовского моря. Сток органических веществ и биогенных элементов р. Дон оценен за период 2007–2015 гг. на основе данных, полученных в ходе полевых работ. При оценке выноса тех же веществ р. Кубанью использовались данные ранее опубликованных работ на эту тему. Отмечено снижение выноса реками валового азота и стабилизация стока валового фосфора в Азовское море с середины 1990-х гг. [140].

Т. Г. Коротковой и др. исследовано состояние р. Кубани в черте г. Краснодара в 2018 г. [62]. В. М. Пискаревой и др. при исследовании стока полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в дельте р. Кубани установлено, что значительным источником загрязнения воды ПАУ является г. Краснодар. При этом наибольшие величины стока ПАУ отмечались в вершине дельты р. Кубани, а наименьшие – в районе впадения рукавов в Темрюкский залив [112, 113].

В работе Снежко В. Л. и др. проводилась оценка уровня загрязненности речных вод в бассейне р. Кубани с использованием многомерного кластерного анализа. Проведенное с июня 2017 года по июль 2019 года исследование химического состава показало, что наибольший уровень загрязненности воды характерен для западной части бассейна. Обнаруженные высокие концентрации соединений тяжелых металлов авторы связывают с антропогенными источниками (сельскохозяйственная деятельность и промышленные предприятия) [168].

Отдельно необходимо отметить гидрохимические исследования особенностей водных объектов Северного Кавказа коллектива Центра географических исследований Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук (ЦГИ КБНЦ РАН), проводящиеся с 2013 г. [38]. В

рамках исследований сотрудниками ЦГИ охвачена часть верхнего течения р. Кубани. Был изучен микроэлементный состав поверхностных вод верховьев р. Кубани [125], прослежена изменчивость содержания цинка в воде реки в зависимости от высоты расположения створов [124], определен ионный и микроэлементный состав вод бассейна р. Теберды в пределах Тебердинского государственного биосферного заповедника [127, 128], получены сведения о содержании в поверхностных водах рр. Теберды и Кубани стронция [126].

Помимо прочего, важно отдельно упомянуть о сборниках карт, которые публиковались в разные периоды. В 1990 г. выпущен «Гидрохимический атлас СССР» [25]. В 2022 г. сотрудниками Института водных проблем РАН и Гидрохимического института под редакцией Р. Г. Джамалова, О. С. Решетняк и М. М. Трофимчука опубликован атлас «Гидрохимический сток рек Европейской части России» [26]. В первой работе визуализированы данные о химическом составе поверхностных вод и стоке растворенных веществ в масштабе всего СССР. Во втором сборнике карт рассмотрен гидрохимический сток как в масштабе Европейской части России, так и отдельных речных бассейнов. Сотрудниками Гидрохимического института визуализирована информация о качестве поверхностных вод Российской Федерации (в том числе в пределах бассейна р. Кубани) и опубликована на сайте в виде ГИС-приложения (набор многослойных карт). Данные о степени загрязненности поверхностных вод охватывают период 2018–2022 гг. и регулярно дополняются [27].

Отдельного внимания также заслуживает справочник «Органическое вещество Азовского моря и прилегающих районов Черного моря» [143], входящий в «Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878–2013)» [6], где обобщены сведения о выносе Доном и Кубанью органического углерода и биогенных элементов в Азовское море [6, 143].

На сегодняшний день в открытом доступе сведения о качестве и степени загрязненности поверхностных вод России в целом и рек бассейна Кубани в частности публикуются в различных ежегодных докладах и обзорах: «Качество поверхностных вод Российской Федерации» [39], «О состоянии и об охране

окружающей среды Российской Федерации» [104], «Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации» [106], «О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края» [40], «Доклад об экологической ситуации в Республике Адыгея» [37]. Кроме того, разработана «Схема комплексного использования и охраны водных объектов», в которой приводятся общая характеристика бассейна р. Кубани, оценка экологического состояния речного бассейна, целевые показатели и т. д. [149].

Таким образом, для водных объектов бассейна р. Кубани наиболее изученными являются ионный состав и качество поверхностных вод по длине р. Кубани. К началу 2000-х гг. сложилась тенденция улучшения и стабилизации качества поверхностных вод в бассейне. Это может свидетельствовать о снижении антропогенной нагрузки на водотоки. Подобные изменения, несомненно, могут сказаться на объемах стока веществ, поставляемых притоками в р. Кубань и дальнейшем их выносе через дельтовые рукава в Азовское море. Химический сток и его антропогенная составляющая преимущественно рассматривались на замыкающем створе в нижнем течении р. Кубани. Притокам уделялось меньше внимания. При этом анализ временной изменчивости стока веществ проводился по пятилетним периодам или для произвольно выделенных временных интервалов без учета характерных фаз формирования химического стока.

Важная особенность геоэкологических исследований – необходимость количественной оценки техногенного воздействия на окружающую среду [146]. В этом отношении сток растворенных веществ и его антропогенная составляющая или сверхнормативный сток могут выступать в качестве такого количественного показателя. Как отмечалось Г. К. Парфеновой «сток растворенных веществ является одним из важнейших гидрохимических показателей формирования геоэкологической обстановки в бассейне реки» [110, с. 44].

Сетевыми подразделениями Росгидромета проводятся гидрологические и гидрохимические наблюдения. На основе собранной информации могут быть получены данные о годовых и сезонных значениях химического стока, его

антропогенной составляющей и сведения о сверхнормативном стоке (переносе) веществ за многолетний период.

Выводы

В главе приведен обзор содержания основных работ, в которых авторы рассматривали химический состав, качество воды и сток растворенных веществ рек бассейна Кубани.

Общим для всех рассмотренных публикаций является последовательное, по мере накопления данных, развитие работ в области многолетней изменчивости качества вод и стока растворенных химических веществ реками бассейна Кубани.

Обзор показал, что материалы, приведенные в публикациях, несовершенны вследствие недостаточности информации, а иногда и полного ее отсутствия.

Химический сток является наиболее важным и одновременно наиболее достоверно определяемым показателем поступления веществ в моря.

Как показано выше, в настоящее время возникла необходимость провести новые исследования по определению стока химических веществ рек бассейна Кубани в силу следующего:

- накопление значительного объема новой информации по ранее неизученным и малоизученным водным объектам (по длине р. Кубани и ее притоков);
- значительного изменения гидрохимического режима рек, обусловленного антропогенным воздействием и изменением климата;
- возможность провести работы на новой методологической основе с привлечением банка гидрохимических данных и современных технических средств, что позволит повысить точность расчетов.

Изучение гидрохимического режима малоизученных рек или их участков окажет несомненную помощь при определении величины антропогенной составляющей в выносе растворенных веществ.

2 ОБЪЕКТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Природно-климатические факторы формирования химического стока

Бассейн реки Кубани – наиболее крупный речной бассейн Северного Кавказа. Его площадь 57900 км² [73–75, 123]. «Гидрографическая сеть в бассейне развита хорошо и представлена реками самыми малыми, малыми и средними – всего здесь 14516 рек общей протяженностью 41639 км. Преобладающая их часть – самые малые, длиной менее 10 км, на которые приходится 96,5 % числа всех рек и 62,9 % от их общей длины. Средних рек, длиной более 101 км, всего 25, или 0,1 % от общего числа, но 11,4 % от общей длины» [74, с. 143]. «Бассейн р. Кубани имеет резко асимметричную форму. Большая часть и все значительные притоки впадают в реку с левой стороны северного склона Большого Кавказа. В равнинной части с правой стороны в Кубань впадает только несколько незначительных притоков, берущих начало с западного склона Ставропольской возвышенности» [74, с. 143]. В границах бассейна находятся четыре субъекта Российской Федерации: Карачаево-Черкесская Республика, Ставропольский край, Республика Адыгея и Краснодарский край. Некоторые характеристики этих субъектов представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Некоторые характеристики субъектов Российской Федерации, расположенных в пределах бассейна Кубани (составлено по [34, 147])

Субъект Российской Федерации	Площадь субъекта, тыс. км ²	Плотность населения, чел./км ²	Площадь субъекта, относящаяся к водосбору реки	
			тыс. км ²	%
Карачаево-Черкесская Республика	14,3	32,9	11,7	81,8
Ставропольский край	66,2	43,9	2,5	3,8
Республика Адыгея	7,8	63,9	7,8	100
Краснодарский край	75,5	77,3	35,9	47,5

Река Кубань относится к бассейну Азовского моря. Ее длина 870 км, если за исток принимать место слияния рр. Уллу-Кам и Уччулан, или 906 км, если началом водотока считать ледник Уллукам [73, 123]. От истока до станицы Темижбекской р. Кубань протекает в северном и северо-западном направлениях, после станицы резко поворачивает на запад и протекает так до самого впадения в Азовское море [22].

Недалеко от х. Тиховского река делится на рукав Кубань (117,5 км) и рукав Протока (133,3 км). Главным рукавом является Кубань. В 16 км от устья он разделяется на рук. Петрушин, рук. Казачий ерик и протоку Переволока [74]. Устьевая область р. Кубани относится к дельтовому типу. Ее верхняя часть занята поливными рисовыми полями, а большую часть нижней (приморской) области занимают лиманы и плавни [74, 89]. Площадь дельты составляет 4190 км², устьевое взморья – 110 км² [88]. На рисунке 2.1 приведена схема устьевой области р. Кубани с основными дельтовыми рукавами и оросительными каналами.

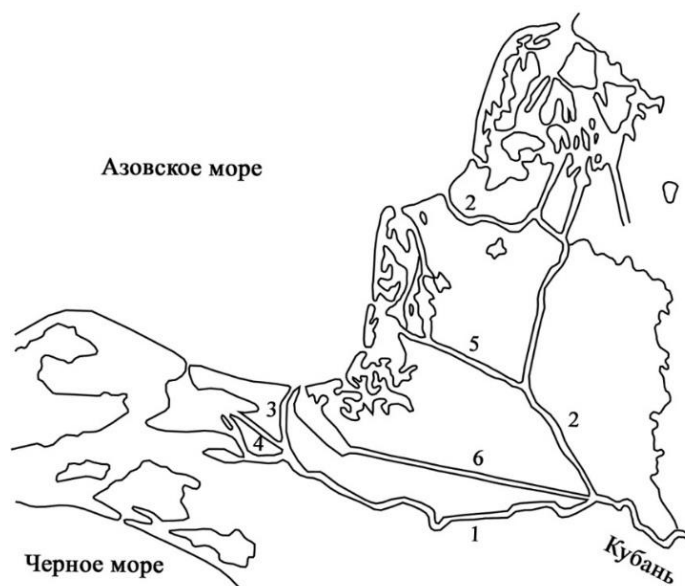


Рисунок 2.1 – Картосхема дельты р. Кубани: 1 – рук. Кубань; 2 – рук. Протока; 3 – рук. Петрушин; 4 – рук. Казачий Ерик; 5 – Чебургольский оросительный канал (ЧОК); 6 – Петровско-Анастасиевская оросительная система (ПАОС) [88]

В данной работе внимание уделяется наиболее крупным левобережным притокам р. Кубани: рекам в верхнем течении – р. Большой Зеленчук, в среднем течении – рр. Лаба, Белая, Пшеха, Пшиш, Псекупс, Афипс, и «закубанским» рекам – рр. Абин и Адагум. Основные сведения об этих водотоках представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Основные характеристики притоков р. Кубани (составлено по [74, 147])

Водоток	Длина водотока, км	Площадь водосборного бассейна, км	Куда впадает	Субъекты Российской Федерации, на территории которых расположены бассейны рек
р. Большой Зеленчук	158	2730	р. Кубань	Карачаево-Черкесская Республика, Краснодарский край, Ставропольский край
р. Лаба	214	12500	р. Кубань	Краснодарский край, Республика Адыгея
р. Белая	266	5990	Краснодарское водохранилище	Краснодарский край, Республика Адыгея
р. Пшеха	150	2090	р. Белая	Краснодарский край, Республика Адыгея
р. Пшиш	247	1850	Краснодарское водохранилище	Краснодарский край, Республика Адыгея
р. Псекупс	143	1370	Краснодарское водохранилище	Краснодарский край, Республика Адыгея
р. Афипс	98	1400	р. Кубань	Краснодарский край, Республика Адыгея
р. Абин	72	336	Варнавинское водохранилище	Краснодарский край
р. Адагум	87	719	Варнавинское водохранилище	Краснодарский край

Природные условия определяют характерные черты стока веществ в бассейне р. Кубани. Перенос вещества тесно связан с водным стоком, на который

вливают баланс тепла и влаги, атмосферные осадки, характер подстилающей поверхности и т. д. В соответствии с [3] эти физико-географические условия, от которых зависят водный сток и химический состав, относятся к косвенным факторам. К прямым факторам, непосредственно влияющим на сток веществ, относятся горные породы, почвенный покров и деятельность живых организмов [3].

Ниже представлены природные условия в бассейне р. Кубани.

Рельеф и геологическое строение

Бассейн р. Кубани расположен в пределах Северного Кавказа и охватывает как равнинную, так и горную территории. Здесь к наиболее крупным орографическим зонам относятся Предкавказье и Большой Кавказ [134].

В пределах бассейна р. Кубани Предкавказье включает в себя Азово-Кубанскую равнину, сложенную плиоценовыми и четвертичными отложениями, и Ставропольскую возвышенность, сложенную из палеогеновых и неогеновых пород [122, 134]. Равнинная часть бассейна р. Кубани в соответствии с [74] относится к Прикубанской наклонной равнине, которая охватывает дельту и левый берег р. Кубани. При этом рельеф дельты в основном представлен плоской аккумулятивно-дельтовой равниной. Реже встречаются повышенные формы рельефа [24]. Участок бассейна р. Кубани от г. Невинномыска до ст-цы Темижбекской, в свою очередь, относится к Ставропольской возвышенности, которая в бассейне занимает только небольшую часть [74].

Большой Кавказ представлен системой примерно параллельно расположенных хребтов и внутригорными котловинами. Эта орографическая зона расположена в южной части бассейна р. Кубани. К хребтам относятся Главный, Боковой, Скалистый, Пастбищный, Лесистый и Передовой [74, 122]. Данная территория характеризуется сложным геологическим строением и разнообразием горных пород. Таким образом, «в геологическом строении бассейна принимают участие отложения от протерозоя до антропогена» [74, с. 28].

«Средняя высота земной поверхности в бассейне р. Кубани равна 631 м при довольно значительном среднеквадратическом отклонении от средней (760 м)» [114, с. 57]. При этом «по характеру рельефа территория бассейна делится на низменную (до 200 м над уровнем моря), возвышенную (до 1000 м) и горную части» [22, с. 335] или «...на четыре основные зоны: равнинную, высотой до 200 м над уровнем моря, предгорную – от 200 до 500 м, горную – от 500 до 1000 м, высокогорную – свыше 1000 м над уровнем моря» [12, с. 44]. На основе последнего разделения была составлена картосхема бассейна р. Кубани (рисунок 2.2).

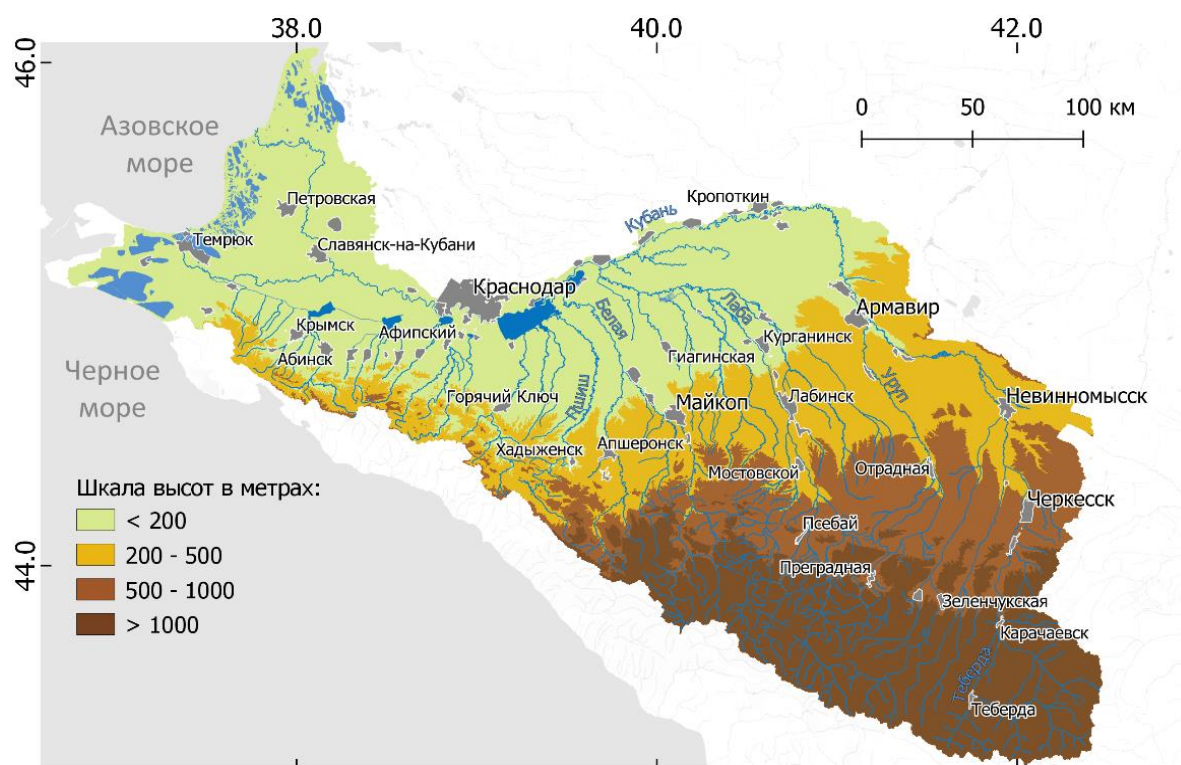


Рисунок 2.2 – Районирование бассейна р. Кубани по высоте

По данным А. В. Погорелова и Ж. А. Думита ниже 500 м расположено 61,4 % бассейна р. Кубани, 78 % – ниже 1000 м. Свыше 1000 м расположены оставшиеся 32 %. По причине того, что большая часть речного бассейна расположена на высоте менее 500 м, авторы указывают, что р. Кубань в большей степени является равнинной рекой [114].

Климат

Климатические особенности территории определяются положением бассейна р. Кубани. Речной бассейн находится в умеренном и субтропическом климатических поясах. При этом рельеф территории значительно влияет на радиационный режим, циркуляцию атмосферы и создает различия в климатических условиях отдельных районов [74].

Вследствие поступления большого количества солнечной радиации территория бассейна р. Кубани хорошо прогревается летом и не успевает существенно охладиться зимой [74, 75]. При этом количество поступающей солнечной радиации изменяется с увеличением высоты: суммарная и отраженная радиация увеличиваются, поглощенная радиация и радиационный баланс уменьшаются [74, 75].

Географическое положение речного бассейна определяет особенности циркуляции атмосферы. Расположенные на севере Русская равнина и Большой Кавказ на юге приводят к формированию фронтов, связанных с зоной атмосферных осадков [74, 75].

Температура воздуха снижается по территории бассейна с увеличением высоты и с северо-запада на юго-восток. Среднегодовая температура воздуха в границах бассейна может изменяться в широких пределах: от $-10,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (М Эльбрус) до $10,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (М Темрюк) [74, 75].

Атмосферные осадки на территории бассейна р. Кубани распределяются неравномерно. С увеличением высоты количество осадков увеличивается, достигая максимума на высоте 2000–2500 или 2500–3000 м, после чего их количество уменьшается [75]. По данным П. М. Лурье и соавторов, в среднем за год в горной зоне бассейна выпадает 433–2495 мм, в предгорной – 532–911 мм, в равнинной – 416–643 мм осадков. В среднем по бассейну большая часть осадков выпадает в теплый период (IV–X) – 66 % от годовой суммы [74].

На климат в пределах бассейна существенное влияние оказывает оледенение и постоянный снежный покров [74]. Площадь оледенения в бассейне р. Кубани составляет $203,9\text{ км}^2$ [76]. Ледниковая область обладает высокой отражательной

способностью, а температура воздуха вблизи ледников и непосредственно на них в теплое время года ниже, чем на тех же высотах при отсутствии оледенения. Кроме того, снежный покров, находящийся в районе ледников, имеет бóльшую длительность залегания и меньшую интенсивность таяния [74].

Почвенный покров и растительность

Почвенный покров в пределах бассейна р. Кубани характеризуется большим разнообразием. Выделяются почвы тайги и хвойно-широколиственных лесов, почвы широколиственных лесов и лесостепей, почвы степей, гидроморфные почвы, пойменные и маршевые почвы, почвы горных территорий [155].

В Карачаево-Черкесской Республике значительную часть занимают почвы горных территорий, которые распространены в верховьях р. Кубани и некоторых ее притоков: горно-луговые дерново-торфянистые – 14,7 %, горно-луговые дерновые – 20,4 %, горно-луговые черноземовидные – 14,3 % от площади субъекта [155]. Ниже по течению часто встречаются почвы широколиственных лесов и лесостепей и почвы степей: бурые лесные слабонасыщенные – 13,4 %, черноземы выщелоченные мицелярно-карбонатные – 12,1 %, черноземы южные и обыкновенные мицелярно-карбонатные – 9,8 % и т. д. [155]. На территории бассейна, расположенной в пределах Ставропольского края, преобладают черноземы южные и обыкновенные мицелярно-карбонатные. В пределах Республики Адыгея, полностью находящейся в пределах бассейна р. Кубани, наиболее распространены различные почвы степей (45,4 %) и почвы тайги и хвойно-широколиственных лесов (28,5 %). Бóльшая часть Краснодарского края занята почвами степей (61,4 %). В частности, на черноземы южные и обыкновенные мицелярно-карбонатные приходится около 40,7 % от площади субъекта [155].

Почвы бассейна р. Кубани подвержены ветровой и водной эрозии. Ветровая эрозия характерна для северо-восточной части бассейна, водная – для горных районов [147]. Кроме того, активное использование земель привело к деградации

почвенного покрова. Содержание гумуса в черноземах за последние полвека заметно снизилось [74].

Растительность в пределах бассейна р. Кубани представлена степным, лесостепным, лесным, субальпийским, альпийским и нивальным типами [74].

В низменной части бассейна прослеживается чередование степных и лесных участков. Здесь хозяйственная деятельность человека оказала значительное влияние на растительность. В степной части бассейна естественный растительный покров сохранился только на участках, которые непригодны для сельского хозяйства. Развита вторичная растительность [8, 74, 147].

В предгорной и горной зонах преобладают леса. Лесистость этих территорий достигает 10–50 % и 50–80 % соответственно [147]. В хозяйственной деятельности наиболее активно используются леса предгорной и низменной частей бассейна р. Кубани, так как остальные запасы древесины расположены в труднодоступных районах [147].

Водный сток

Физико-географические условия в бассейне р. Кубани определяют разнообразие, роль и значение источников питания в общем стоке. Реки бассейна получают питание за счет дождей, таяния сезонного снега, ледников и подземных вод. С запада на восток и в зависимости от высоты бассейна доля отдельных источников значительно изменяется [73]. Кроме того, горная область бассейна относится к зоне формирования водного стока, равнинная часть, напротив, является областью, в которой происходит потеря и использование водных ресурсов [24].

В соответствии с [74] по особенностям режима водного стока бассейн р. Кубани делится на три района.

1. Район, охватывающий реки верхней и средней части бассейна (от истока р. Кубани до р. Пшехи). Для рек этого района характерно ледниковое и снеговое питание, а также длительное половодье.

2. Район нижней части бассейна (от р. Пшехи до устья р. Кубани). В питании этих рек преобладает дождевое питание и отсутствует ледниковое.

3. Район предгорной части бассейна р. Кубани. В общем стоке данных рек в течение года преобладает дождевое питание, кроме того, весной значительную часть занимает снеговое питание [74].

В таблице 2.3 представлена доля источников питания в стоке основных притоков р. Кубани.

Таблица 2.3 – Источники питания некоторых рек бассейна Кубани (составлено по [74])

Водный объект, пункт наблюдений	Доля источников питания, %			
	Дождевой	Снеговой	Ледниковый	Подземный
р. Большой Зеленчук, ст-ца Исправная	37,6	30,3	10,2	21,9
р. Лаба, х. Догужиев	48,2	29,4	4,3	18,1
р. Белая, п. Гузерибль	31,9	41,6	3,2	23,3
р. Белая, х. Грозный	45,0	33,5	3,4	18,1
р. Пшеха, г. Апшеронск	56,8	29,0	–	14,2
р. Пшиш, г. Хадыженск	70,5	19,4	–	10,1
р. Пшиш, ст-ца Бжедуховская	81,4	10,2	–	8,4
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	89,7	8,1	–	2,2
р. Афипс, ст-ца Смоленская	92,4	5,4	–	2,2

Реки бассейна Кубани отличаются сложным внутригодовым распределением водного стока. В пределах бассейна выделяются водотоки с половодьем и паводками и только с паводками [74]. Для первых характерно половодье в летний и весенне-летний периоды с паводками в теплое время года, для рек с паводочным режимом отмечаются паводки в течение всего года. К рекам с половодьем в летний сезон относятся водотоки высокогорной части бассейна: рр. Уллукам, Уччулан, Теберда, Аксаут, Маруха и др. Реки среднего и нижнего течения р. Кубани, расположенные в пределах лесной зоны, относятся к водотокам с весенне-летним половодьем: рр. Уруп, Лаба, Чамлык, Фарс, Белая и др. Только паводочным режимом характеризуются такие реки, как Псекупс, Афипс, Шебш, Абин, Адагум и др., протекающие к северо-западу от р. Белой [74].

Водный сток р. Кубани значительно изменялся в течение периода инструментальных измерений. Выделялись периоды повышенной и пониженной водности различной продолжительности. В соответствии с [87] на гидрологическом посту (г/п) Тиховский водный сток изменялся от 9,2 до 13,1 км³/год в выделенные авторами периоды. По данным [141] среднемноголетнее значение водного стока в нижнем течении р. Кубани (г/п Тиховский) составляло 11,8 км³/год (за период 1940–1999 гг.). В настоящее время на динамику водного стока в нижнем течении реки значительное влияние оказывает режим Краснодарского водохранилища. Кроме того, на сток р. Кубани повлиял ввод в эксплуатацию Невинномысского и Большого Ставропольского каналов [74].

2.2 Антропогенные факторы формирования химического стока

Деятельность человека оказала и продолжает оказывать существенное воздействие на сток химических веществ рек мира [157, 162, 163, 171, 172]. Общий химический сток складывается из природной и антропогенной составляющих. Последняя определяется поступлением химических веществ за счет хозяйственной деятельности человека [35]. «В период техногенеза антропогенные потоки вещества, в итоге переводятся в природные. Часть их иммобилизуется на территории водосборного бассейна, а часть, попадая в водотоки, достигает конечного водоема (моря). Природные воды – наиболее чуткий индикатор антропогенных изменений природной среды» [78, с. 89].

Компоненты химического состава воды, поступающие за счет хозяйственной деятельности, привносятся в водные объекты как из точечных источников (непосредственный сброс веществ в водный объект), так и из диффузных (сельское и городское хозяйство, транспорт, промышленное производство и добыча природных ресурсов и т. д.) [36].

Реки Северного Кавказа относятся к водотокам с неблагоприятной гидроэкологической и водохозяйственной ситуацией [132]. Непосредственно в

бассейне р. Кубани антропогенное воздействие оказывает существенное влияние на формирование стока растворенных веществ. По длине рек происходит сброс сточных вод промышленных предприятий, животноводческих и птицеводческих комплексов, поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий и сброс вод оросительных систем [93]. Вниз по течению рек увеличивается антропогенное воздействие [93], возрастает плотность населения в предгорной и равнинной частях бассейна реки (рисунок 2.3)

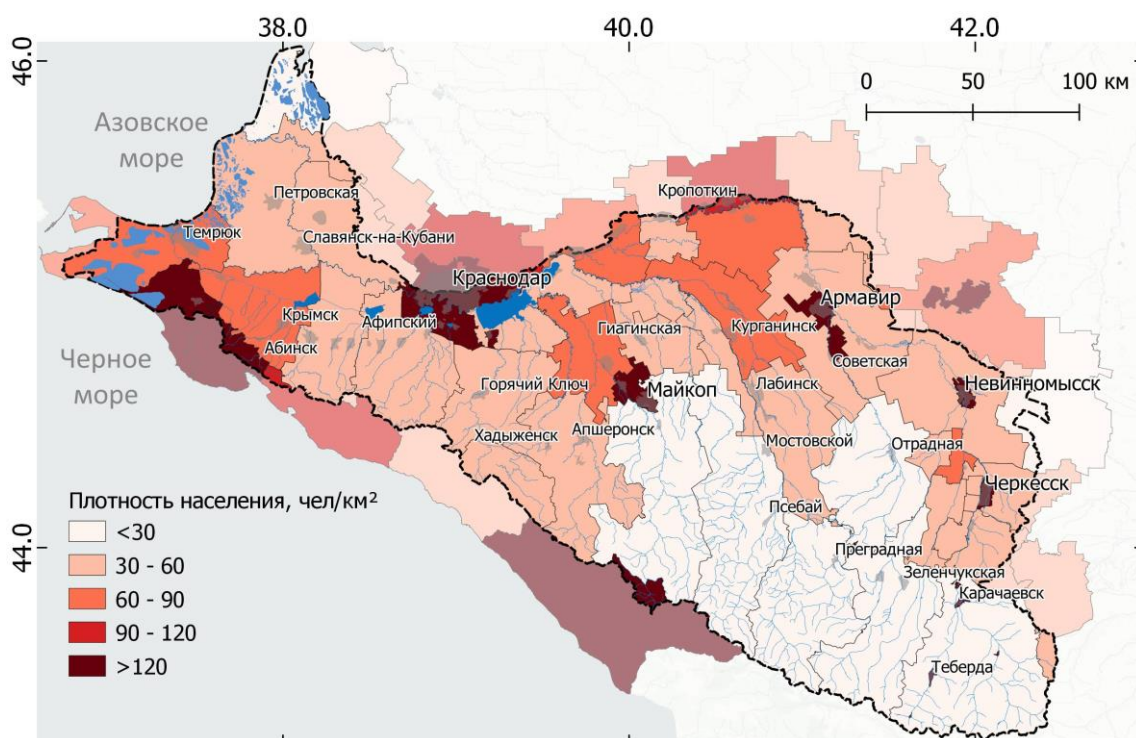


Рисунок 2.3 – Плотность населения в бассейне р. Кубани (составлено по [7])

Водные ресурсы рек бассейна Кубани широко используются в сельском хозяйстве, орошаемом земледелии, промышленности, гидроэнергетике, рыбном хозяйстве и жилищно-коммунальном хозяйстве [148]. На территории Краснодарского края по данным [105] 82 % от общего объема забранной воды приходилось на сельское и лесное хозяйство, охоту, рыболовство и рыбоводство, на остальные виды экономической деятельности приходилось 18 % соответственно. Кроме того, в бассейне р. Кубани используют водные ресурсы

более 500 различных предприятий, которые сбрасывают загрязняющие вещества в водные объекты бассейна [148].

В общей сложности половина поступающих загрязняющих веществ в водные объекты бассейна р. Кубани может приходиться на точечные источники загрязнения [148].

Точечный сброс сточных вод оказывает значительное воздействие на поверхностные воды в бассейне р. Кубани. Как было показано А. В. Селезневой, р. Кубань испытывает высокую нагрузку сточными водами – 22,9 % от водного стока приходится на объем сточных вод [135]. При этом «...объем принимаемых сточных вод очень велик и составляет 3,09 км³/год, что примерно соответствует объему сточных вод, сбрасываемых в бассейн Енисея» [135, с. 271].

На рисунке 2.4 представлена динамика сброса загрязненных сточных вод в бассейне р. Кубани за период 1993–2020 гг. по данным Федеральной службы государственной статистики [107]. Объем сброса загрязненных сточных вод сократился с 1,6 млрд м³ в 1993 г. до 0,6 млрд м³ в 2020 г. [107]. При этом период 1993–1998 гг. характеризуется наибольшими значениями объемов сброса (1,0–1,6 млрд м³). После резкого снижения объемов поступающих в водные объекты загрязненных сточных вод в 1999 г. режим сброса стабилизировался на уровне 0,3–0,8 млрд м³ [107].

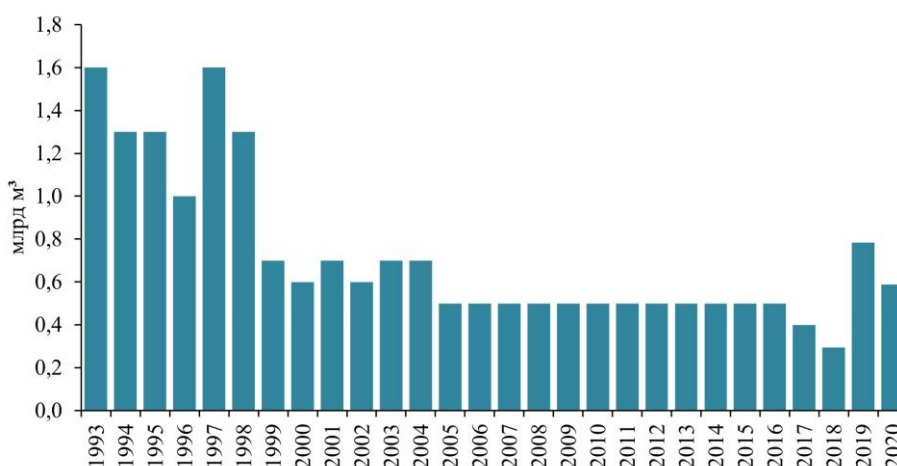


Рисунок 2.4 – Объем сброса загрязненных сточных вод в бассейне р. Кубани
(составлено по [107])

Среди субъектов Российской Федерации, расположенных в пределах бассейна, большая доля сброшенных сточных вод приходится на Краснодарский край – около 89 % [148].

На территории края со сточными водами в водные объекты преимущественно поступают сульфаты, хлориды, кальций, магний, фосфаты и нитраты. На долю остальных химических веществ, поступающих со сточными водами, в среднем приходится около 12 % от общей массы (по данным 2012–2020 гг.). При этом сброс со сточными водами этих компонентов может приводить к значительному ухудшению качества воды в водотоках [40].

В целом по бассейну «характерными загрязняющими веществами, поступающими со сточными водами, являются хлориды, взвешенные вещества, сульфаты, кальций, органические вещества по БПК₅, ионы меди, фосфор общий и нефтепродукты» [148, с. 126].

В таблице 2.4 представлены крупные источники загрязнения поверхностных вод в бассейне р. Кубани.

Таблица 2.4 – Некоторые крупные источники загрязнения поверхностных вод в бассейне р. Кубани (составлено по [148])

Водный объект	Источник загрязнения
р. Кубань	МУП «Карачевский городской Водоканал»; АО Агрокомбинат «Южный»; ОАО «Карачаево-Черкесский Сахарный Завод»; ОАО «Резинотехник»; АО «Водоканал», г. Черкесск; АО «ЧЗРТИ»; АО «Невинномысский Азот»; ГУП КК СВ ВУК «Курганинский групповой водопровод»; МУП «Водоканал», г. Кропоткин; АО «Сахарный завод «Свобода»; МП «ЖКХ» Теучежского района; «Адыгейский» ОАО «Консервный комбинат»; МУП ЖКХ «Яблоновское»; МУП ЖКХ «Энемское»; ООО «Зенит» пос. Яблоновский; ООО «КХ «Яблоновское»; ООО «Краснодар Водоканал»; Темрюкская оросительная система
рук. Протока	ООО «Кубаньводоканал», г. Славянск-на-Кубани»
р. Большой Зеленчук	ОАО «Шерстяной комбинат»

Водный объект	Источник загрязнения
р. Уруп	АО «Урупский ГОК»; ОАО Пищеккомбинат «Отраденский»; ОСК ППП «Водоканал»
р. Лаба	ООО «Гофицкий сырзавод»; МУП «Водоканал» г. Лабинск
р. Белая	Майкопский спиртовой завод; Целлюлозно-картонный завод; МУП «Майкопводоканал»; МУП «Водоканал», г. Белореченск; ООО «ЕвроХим-БМУ»
р. Псекупс	ж/д станция «Горячий Ключ»; ж/д станция «Псекупс»

Отмечалось, что «примерно с середины 90-х годов прошлого столетия началось сокращение сброса массы загрязняющих веществ, связанное со спадом производства, нестабильностью экономической обстановки, сокращением количества и масштабов применения средств защиты растений и выполнением ряда водоохранных мероприятий, однако изменение качества воды водных объектов в сторону улучшения произошло незначительно» [148, с. 11].

Причиной загрязнения поверхностных вод в бассейне р. Кубани также является и диффузное поступление веществ, связанное с сельскохозяйственной деятельностью: неорганизованные стоки с животноводческих ферм и хранилищ с удобрениями, смыв загрязняющих веществ с полей, сельскохозяйственная техника [148].

Доля сельскохозяйственных угодий от общей площади бассейна р. Кубани в 2007 г. составляла 54 %, на пашни приходилось 36 % [147]. На рисунке 2.5 показана картосхема земельного покрова в бассейне р. Кубани, полученная на основе снимков ESA Sentinel-2 с разрешением 10 м, по состоянию на 2023 год [158, 167].

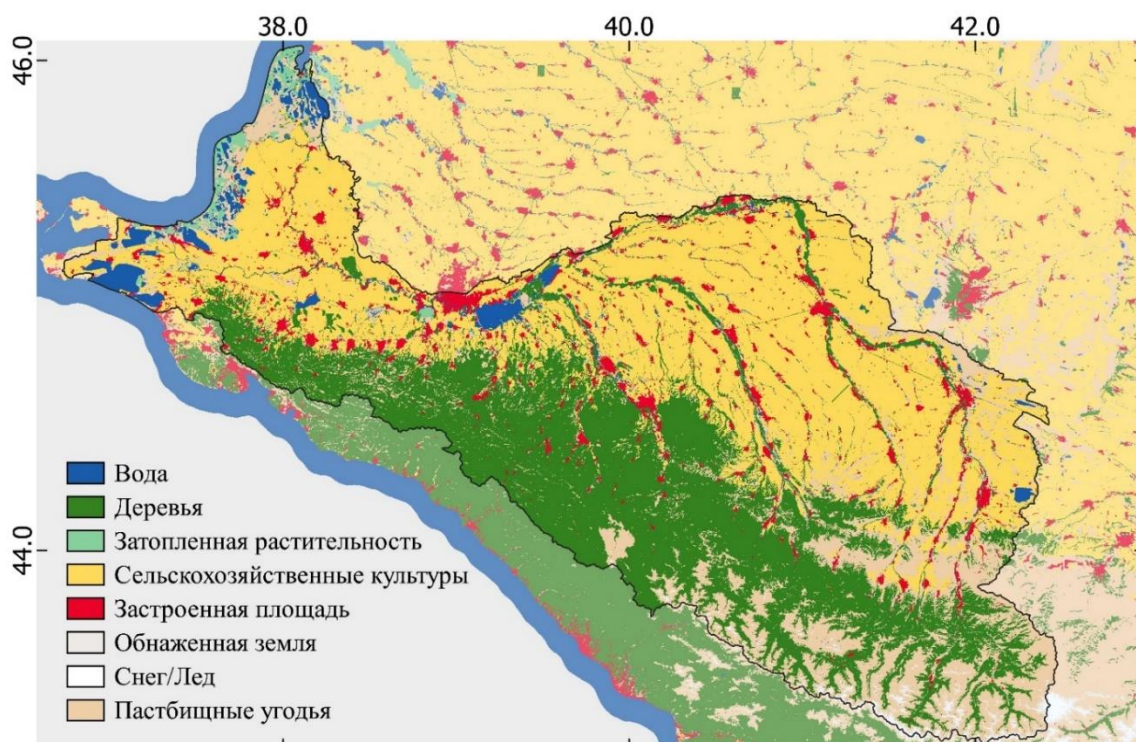


Рисунок 2.5 – Картосхема классов земельного покрова в бассейне р. Кубани
(составлено по [158, 167])

Как было показано в [63], одним из основных источников формирования речного стока химических веществ р. Кубани являются используемые в сельском хозяйстве минеральные и органические удобрения. Их применение в пределах речного бассейна способствует загрязнению водотоков. Не весь объем вносимых удобрений используется сельскохозяйственными культурами, значительная часть питательных веществ может выноситься в водные объекты. Доля удобрений, которые в итоге оказываются в водных объектах, зависит от стратегии ведения сельского хозяйства, количества внесенных веществ, технической оснащенности и др. [36].

На рисунке 2.6 представлена динамика внесения сельскохозяйственными организациями минеральных удобрений в субъектах РФ, расположенных в пределах бассейна р. Кубани (в Карачаево-Черкесской Республике, Ставропольском крае, Республике Адыгея и Краснодарском крае).

В период с 1993 по 2019 г. во всех четырех субъектах произошло снижение объемов внесенных удобрений в конце XX в. Такая тенденция была характерна не только для рассматриваемых регионов, но и в целом для России в это время [153].

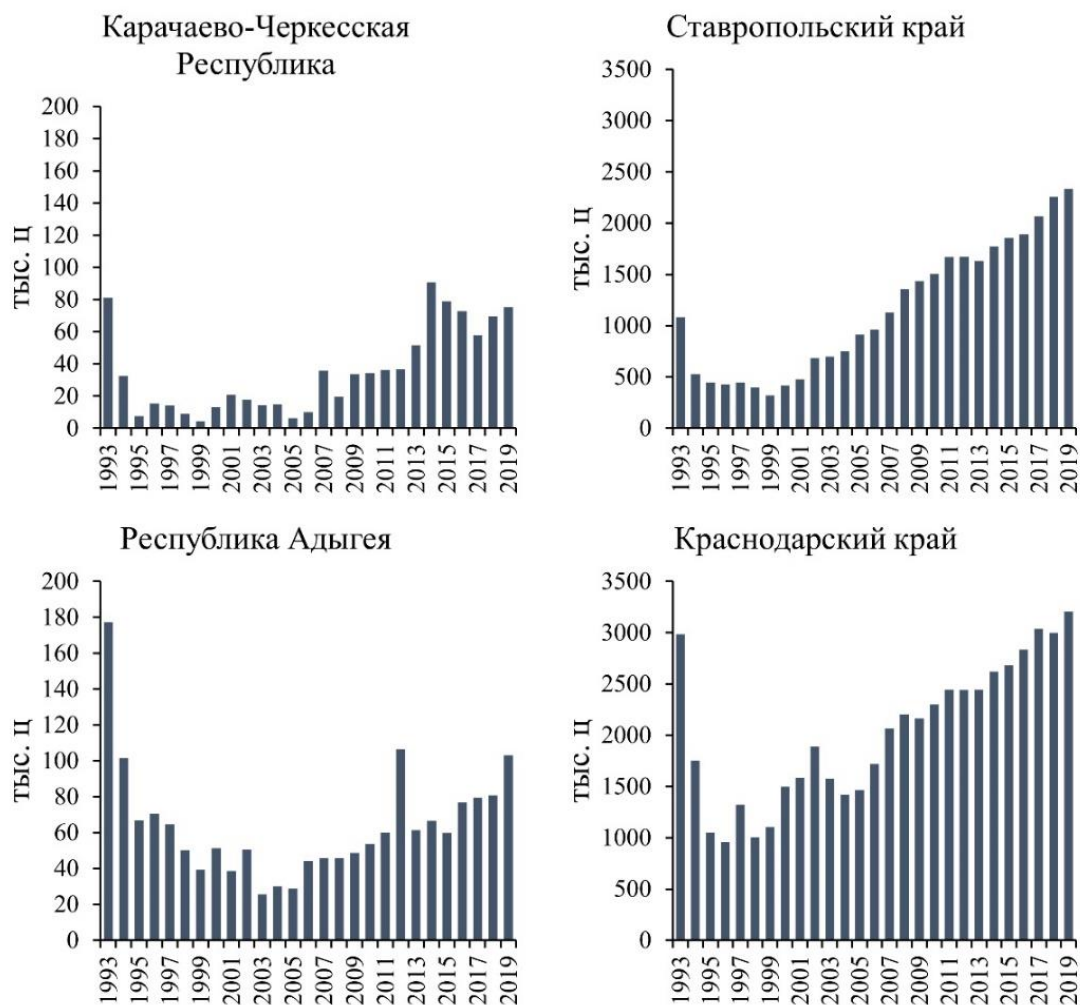


Рисунок 2.6 – Динамика внесения минеральных удобрений на поля в субъектах РФ, расположенных в пределах бассейна р. Кубани, в пересчете на 100 % питательных веществ, тысяч центнеров (составлено по [20])

Приблизительно после 2000 г. внесение минеральных удобрений в рассматриваемых субъектах РФ начало возрастать, к 2019 г. их объемы достигли, а в некоторых регионах даже превысили показатели 90-х гг.

Использование органических удобрений в Карачаево-Черкесской Республике, Республике Адыгея и Краснодарском крае в конце XX в. заметно снизилось и оставалось примерно на одном уровне до 2019 г. (рисунок 2.7).

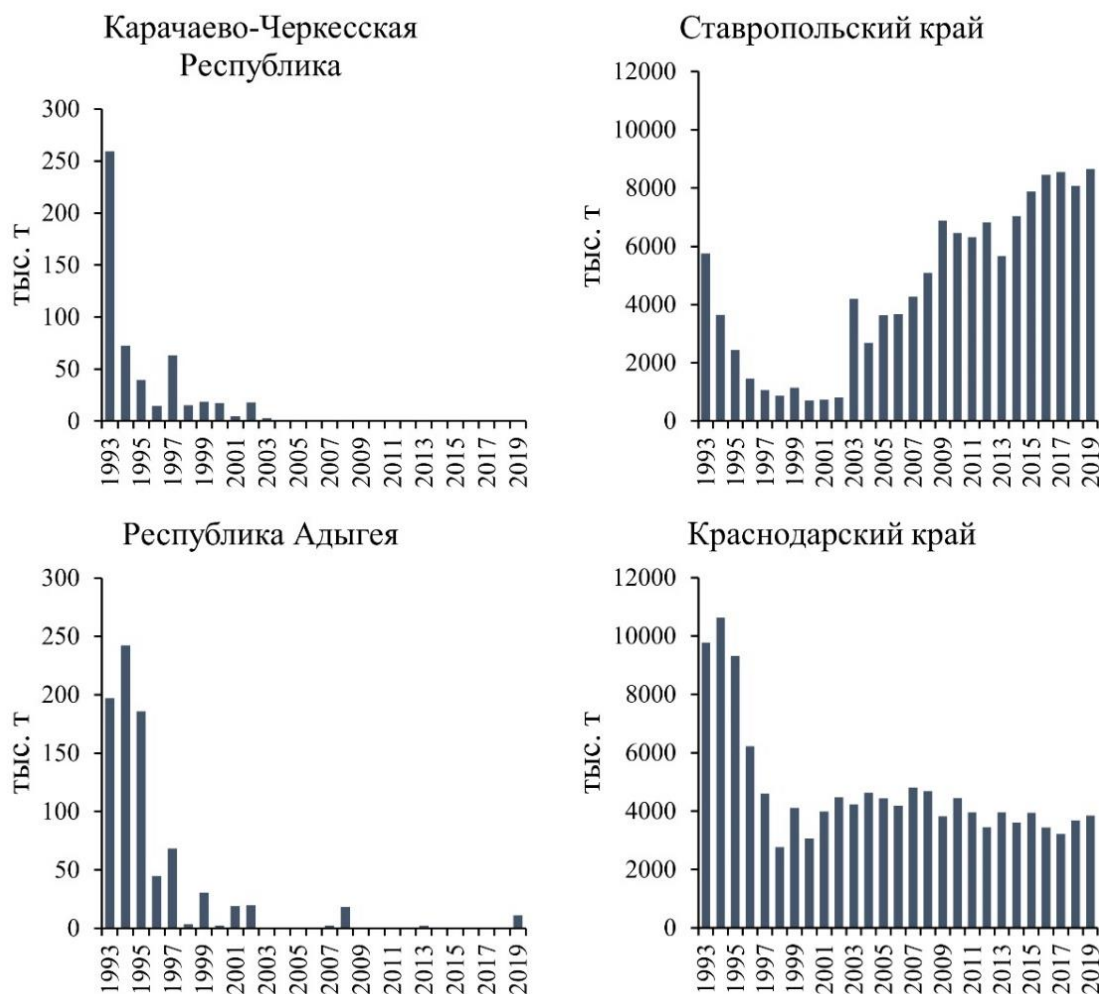


Рисунок 2.7 – Динамика внесения органических удобрений на поля в субъектах РФ, расположенных в пределах бассейна р. Кубани, тысяч тонн
(составлено по [21])

В Ставропольском крае после спада в 90-х гг. объем применения удобрений значительно вырос.

Применение удобрений по отдельным субъектам РФ не отражает того, какое количество веществ было внесено в границах бассейна р. Кубани. Тем не менее, такая информация позволяет рассмотреть динамику использования минеральных и органических удобрений в целом.

Кроме того, «устьевые участки Кубани подвергаются влиянию рисосеяния. С рисовых оросительных систем в лиманы поступает ежегодно около 1,5 км³ коллекторно-дренажных вод с повышенной минерализацией (до 2000 мг/л) и

высоким содержанием сульфатов (200–1000 мг/л), значительным содержанием взвешенных и органических веществ, азота» [148, с. 12]. На рисунке 2.8 показана динамика посевных площадей риса в Краснодарском крае и Республике Адыгея с учетом хозяйств всех категорий.

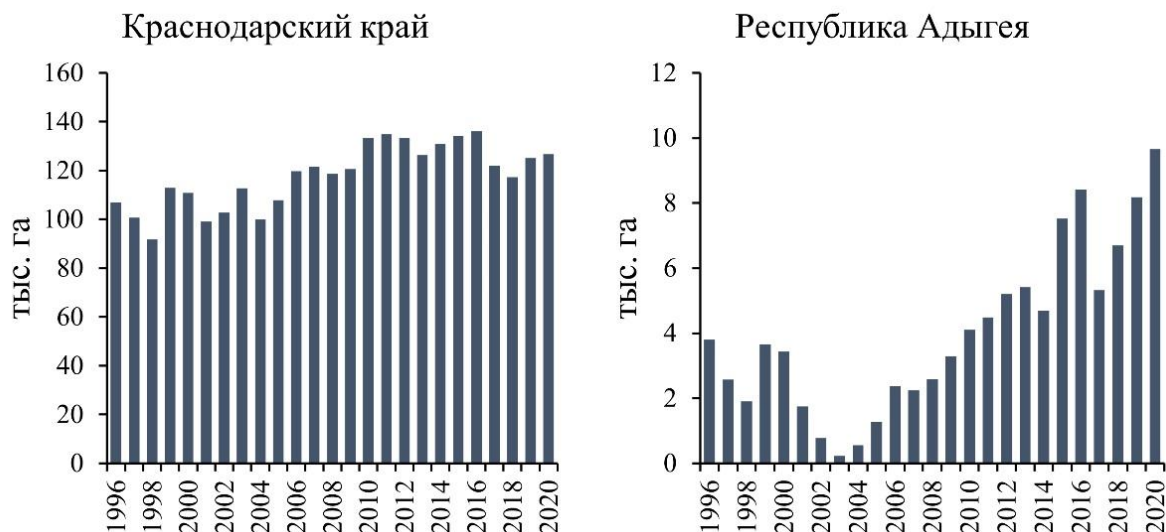


Рисунок 2.8 – Посевные площади риса в Краснодарском крае и Республике Адыгея (хозяйства всех категорий), тысяча гектаров (составлено по [115])

В пределах бассейна р. Кубани выделяются крупные зоны горнорудного техногенеза. Наиболее значительными из них являются Урупское месторождение и Эльбрусский свинцово-цинковый рудник. Экологическую опасность представляют их хвостохранилища [11, 151, 165].

Добычу и обогащение медно-колчеданной руды Урупского месторождения осуществляет Урупский горно-обогатительный комбинат (Урупский ГОК) [152]. Хвостохранилище Урупского ГОКа расположено вблизи станицы Преградной (Карачаево-Черкесская Республика, Урупский район), на левом берегу р. Уруп. Расстояние южной части хвостохранилища до поймы реки – около 0,6 км [11, 133]. Как показали исследования [10, 11, 165], концентрации тяжелых металлов в воде р. Уруп (особенно меди) ниже района деятельности Урупского ГОКа заметно возрастают. «Река Уруп загрязнена как непосредственно стоками

горнодобывающего производства, так и дополнительным переносом загрязняющих веществ с водосборных площадей» [133, с. 88].

Эльбрусский свинцово-цинковый рудник находится в Карачаево-Черкесской Республике. С 1891 по 1975 год здесь велась добыча цинка и свинца. На данный момент разработка рудника не проводится. Хвостохранилище располагалось в верхнем течении р. Кубани на ее правом берегу [151, 165]. Долгое время заброшенное хвостохранилище Эльбрусского свинцово-цинкового рудника оказывало негативное воздействие на окружающую среду. Так, И. А. Богуш с соавторами отмечали увеличение концентраций свинца в воде р. Кубани ниже рудника более чем в два раза в сравнении с вышележащим участком реки [10]. В 2022 году была завершена работа по рекультивации хвостохранилища Эльбрусского рудника [18].

Таким образом, в бассейне р. Кубани водотоки подвержены значительному антропогенному воздействию, которое обусловлено поступлением загрязняющих веществ как из точечных, так и рассредоточенных источников. Природные условия определяют неоднородность пространственного распределения антропогенной нагрузки в бассейне реки, а изменения в хозяйственной деятельности сказываются на временной изменчивости поступающих в водные объекты веществ.

2.3 Исходная информация, методы исследования и представления картографической информации

Исходная информация

В диссертационном исследовании использованы многолетние данные государственной наблюдательной сети Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).

Информация, использованная в работе, представляет собой ряды данных о концентрациях в воде следующих компонентов химического состава воды за период с 1990 по 2020 год:

- минерализация (Σ и);
- главные ионы – кальций (Ca^{2+}), магний (Mg^{2+}), сумма натрия и калия ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), гидрокарбонаты (HCO_3^-), сульфаты (SO_4^{2-}), хлориды (Cl^-);
- органические вещества – органические вещества по ХПК (ОВ по ХПК), органические вещества по БПК₅ (ОВ по БПК₅);
- биогенные вещества – азот аммонийный (N-NH_4^+), азот нитритный (N-NO_2^-), азот нитратный (N-NO_3^-);
- соединения металлов – железа (Fe), меди (Cu), цинка (Zn);
- нефтепродукты.

Как указывалось ранее, объектами исследования выступают реки бассейна Кубани: рр. Кубань, Большой Зеленчук, Лаба, Белая, Пшеха, Пшиш, Псекупс, Афипис, Адагум, Абин, а также рукава Петрушин, Казачий Ерик и Протока. В таблице 2.5 приведены сведения о пунктах наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши сети Росгидромета в бассейне р. Кубани, отобранных для анализа тенденций изменчивости химического состава и качества поверхностных вод, а также для дальнейшего расчета стока веществ.

Таблица 2.5 – Перечень пунктов наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши в бассейне р. Кубани

№	Водный объект	Пункт наблюдений	Расстояние пункта наблюдений от устья, км [1]	Количество створов
1	р. Кубань	г. Невинномысск	662	2
2	р. Кубань	г. Армавир	566	2
3	р. Кубань	г. Кропоткин	458	2
4	р. Кубань	ст-ца Ладожская	354	1
5	р. Кубань	г. Краснодар	177	3
6	р. Кубань	х. Тиховский	111	1
7	рук. Петрушин	г. Темрюк	2,70	2

№	Водный объект	Пункт наблюдений	Расстояние пункта наблюдений от устья, км [1]	Количество створов
8	рук. Казачий Ерик	х. Дубовый Рынок	6,80	1
9	рук. Протока	г. Славянск-на-Кубани	98,0	2
10	рук. Протока	ст-ца Гривенская	54,0	1
11	рук. Протока	х. Слободка	9,40	1
12	р. Большой Зеленчук	г. Невинномысск	2,00	1
13	р. Лаба	г. Лабинск	160	2
14	р. Лаба	х. Догужиев	17,1	1
15	р. Белая	п. Гузерибль	223	1
16	р. Белая	г. Майкоп	108	2
17	р. Белая	а. Адамий	1,00	1
18	р. Пшеха	г. Апшеронск	45,0	2
19	р. Пшиш	г. Хадыженск	177	2
20	р. Пшиш	х. Фокин	1,50	1
21	р. Псекупс	г. Горячий Ключ	73,0	2
22	р. Афипс	ст-ца Смоленская	36,0	1
23	р. Абин	г. Абинск	17,6	1
24	р. Адагум	г. Крымск	59,5	2

Территориально пункты наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши в бассейне р. Кубани расположены как в равнинной, так и в горной зонах (рисунок 2.9). Наибольшая плотность пунктов наблюдений отмечается в равнинной части бассейна.

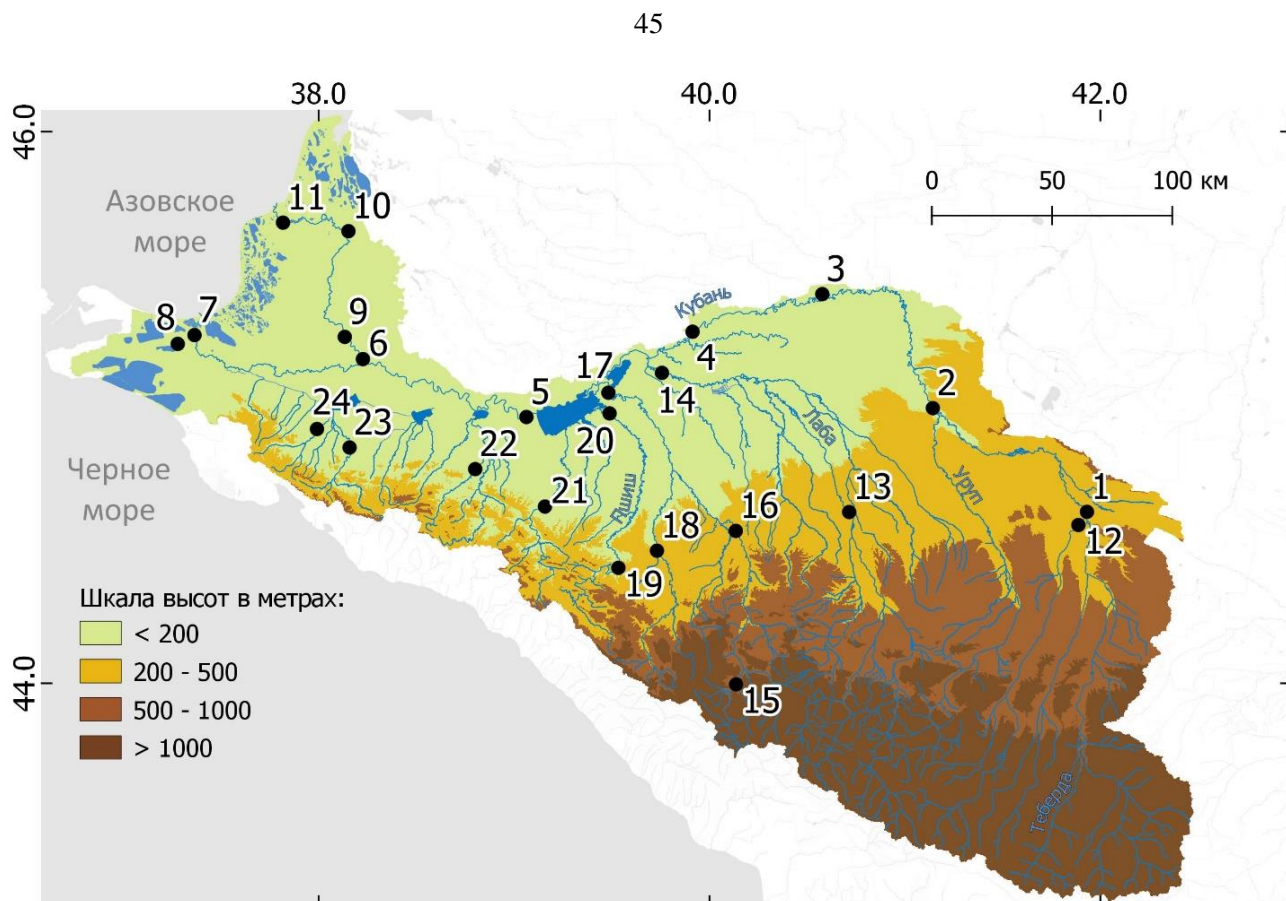


Рисунок 2.9 – Пункты наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши в бассейне р. Кубани

1 – р. Кубань, г. Невинномысск; 2 – р. Кубань, г. Армавир; 3 – р. Кубань, г. Крото́ткин; 4 – р. Кубань, ст-ца Ладожская; 5 – р. Кубань, г. Краснодар; 6 – р. Кубань, х. Тиховский; 7 – рук. Петрушин, г. Темрюк; 8 – рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок; 9 – рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани; 10 – рук. Протока, ст-ца Гривенская; 11 – рук. Протока, х. Слободка; 12 – р. Большой Зеленчук, г. Невинномысск; 13 – р. Лаба, г. Лабинск; 14 – р. Лаба, х. Догужиев; 15 – р. Белая, п. Гузерипль; 16 – р. Белая, г. Майкоп; 17 – р. Белая, а. Адамий; 18 – р. Пше́ха, г. Апшеронск; 19 – р. Пшиш, г. Хадыженск; 20 – р. Пшиш, х. Фокин; 21 – р. Псекупс, г. Горячий Ключ; 22 – р. Афи́пс, ст-ца Смоленская; 23 – р. Аби́н, г. Абинск; 24 – р. Адагум, г. Крымск.

Периодичность отбора проб воды на химический анализ определяется категорией пункта в соответствии с нормативным документом [119]. В бассейне р. Кубани отбор проб в створах пунктов наблюдений преимущественно проводился 4–24 раз в год в зависимости от категории пункта наблюдений. За период с 1990 по 2020 год было выполнено от 6370 до 8889 определений отдельных химических веществ – всего 115251 определений (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Объем исходной гидрохимической информации

№	Показатель	Количество измерений	№	Показатель	Количество измерений
1	Ca ²⁺	6491	9	Нефтепродукты	8648
2	Mg ²⁺	6383	10	N-NH ₄ ⁺	8712
3	Na ⁺ + K ⁺	6370	11	N-NO ₂ ⁻	8463
4	HCO ₃ ⁻	6379	12	N-NO ₃ ⁻	6931
5	SO ₄ ²⁻	6744	13	Fe	6903
6	Cl ⁻	8353	14	Cu	8889
7	ОВ по ХПК	8770	15	Zn	8462
8	ОВ по БПК ₅	8753	Итого		115251

В соответствии с [119] наблюдения проводились в основные фазы водного режима: в период зимней межени; в начале весеннего половодья; на пике половодья; в летне-осенний период.

Степень загрязненности воды определялась на основе метода комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям, который позволяет рассчитать удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) [120]. При расчете УКИЗВ были использованы предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения [117].

Границы классов качества воды изменяются в зависимости от количества критических показателей загрязненности (КПЗ). Для того чтобы не менять эти границы и в дальнейшем иметь возможность адекватно отображать изменения значений на картах, выполнен перерасчет значений УКИЗВ. Полученная величина удельного комбинаторного индекса загрязненности воды была поделена на коэффициент запаса k , рассчитываемый в зависимости от числа КПЗ [120].

Классификация воды по степени загрязненности проведена в соответствии с таблицей 2.7.

Таблица 2.7 – Классификация качества воды водотоков по значению удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (составлено по [120])

Класс качества воды и разряд	Характеристика состояния загрязненности воды	Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды
1-й класс	Условно чистая	< 1
2-й класс	Слабо загрязненная	1–2
3-й класс, разряд «а»	Загрязненная	2–3
3-й класс, разряд «б»	Очень загрязненная	3–4
4-й класс, разряд «а»	Грязная	4–6
4-й класс, разряд «б»	Грязная	6–8
4-й класс, разряд «в»	Очень грязная	8–10
4-й класс, разряд «г»	Очень грязная	10–11
5-й класс	Экстремально грязная	> 11

Для того чтобы сравнивать степень загрязненности по величинам удельного комбинаторного индекса и по характеристике состояния загрязненности воды водотоков в бассейне р. Кубани, соблюдалось условие, при котором разница в количестве учтенных при расчете индекса показателей качества не должна превышать 30 % [120].

Для расчета химического стока были выбраны пункты наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши, более полно обеспеченные гидрологической информацией. Перечень гидрологических постов, включенных в исследование, приведен в таблице 2.8.

Исходной гидрологической информацией послужили данные о расходах воды, полученные Северо-Кавказским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета, а также собранные из автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [1] и госфонда данных Гидрохимического института (ФГБУ «ГХИ»).

Таблица 2.8 – Перечень гидрологических постов в бассейне р. Кубани

№	Водный объект	Гидрологический пост (г/п)	Площадь водосбора, км ² [1, 123]
1	р. Кубань	г/п Армавир	16900
2	р. Кубань	г/п Ладожская	19800
3	р. Кубань	г/п Пашковский (г. Краснодар)	45000
4	р. Кубань	г/п Тиховский	–
5	рук. Кубань	г/п Темрюк	–
6	рук. Казачий Ерик	г/п Дубовый Рынок	–
7	рук. Протока	г/п Славянск-на-Кубани	–
8	рук. Протока	г/п Слободка	–
9	р. Лаба	г/п Догужиев	12000
10	р. Белая	г/п Гузеришль	547
11	р. Белая	г/п Грозный (г. Майкоп)	2310
12	р. Пшеха	г/п Апшеронск	1480
13	р. Пшиш	г/п Хадыженск	710
14	р. Псекупс	г/п Горячий Ключ	765
15	р. Афипс	г/п Смоленская	298
16	р. Адагум	г/п Крымск	328

Примечание: *если наименования гидрологического поста и пункта гидрохимических наблюдений не совпадало, в скобках указывалось название соответствующего пункта за загрязнением поверхностных вод суши.

За период 1990–2020 гг. наблюдения на гидрологических постах проводились от 11 лет до 31 года.

С использованием данных об объемах годового стока воды в одном или нескольких пунктах-аналогах по уравнениям линейной регрессии были восстановлены значения объемов годового стока для некоторых гидрологических постов. Из всего ряда данных, используемого в работе для расчета стока веществ, восстановлено 6 % данных.

Методы расчета химического стока

В соответствии с [121] и с помощью программы «ГХМ-вынос» на основе данных о концентрациях главных ионов, органических и биогенных веществ, соединений металлов, нефтепродуктов и значениях водного стока (за год или месяц) выполнен расчет стока веществ для рек бассейна Кубани за период 1990–2020 гг. Расчет проводился прямым способом [121]:

$$G = \bar{C}_в W, \quad (1)$$

где G – количество перенесенного вещества, тыс. т или т;

$\bar{C}_в$ – средняя концентрация вещества, мг/дм³ или мкг/дм³;

W – водный сток, км³.

При расчете стока органических веществ был выполнен пересчет количества кислорода, потребляемого при химическом окислении органических и минеральных веществ в концентрации органических веществ (мг/дм³) с помощью умножения на коэффициент 0,75 [3, 82, 97]. «Для вычисления концентрации углерода, содержащегося в органических веществах, надо значения ХПК умножить на 0,375 (коэффициент, равный отношению количества вещества эквивалента углерода к количеству вещества эквивалента кислорода), а для вычисления концентрации органических веществ – на 0,75» [42, с. 217].

Периодичность наблюдений может изменяться в зависимости от особенности водного режима водотоков. Учитывая сложность природных условий в бассейне р. Кубани и наличие рек с разным гидрологическим режимом (с половодьем и паводками, только с паводками) [74], сезонная динамика стока веществ была рассмотрена для основных сезонов года (зима, весна, лето, осень).

«Для характеристики отличий речных водосборов разной площади в отношении интенсивности формирования на них стока химических веществ используется величина показателя стока с единицы площади (F) – модуль стока растворенных химических веществ» [103, с. 448].

Модули стока веществ M (т/км² в год или кг/км² в год) рассчитаны по формуле [26]:

$$M = \frac{G}{F}, \quad (2)$$

где G – количество перенесенного вещества, тыс. т или т;

F – площадь водосбора, тыс. км².

Для составляющих химического стока проводилась оценка сверхнормативного переноса веществ с речным стоком по формуле [121]:

$$G_{\Delta} = \frac{(G_{\text{пер}} - G_{\text{норм}})}{G_{\text{норм}}} \times 100, \quad (3)$$

где G_{Δ} – сверхнормативный перенос вещества, %;

$G_{\text{пер}}$ – перенос вещества, тыс. т или т;

$G_{\text{норм}}$ – нормативный перенос вещества, тыс. т или т.

Нормативный перенос вещества ($G_{\text{норм}}$) вычисляется по формуле [121]:

$$G_{\text{норм}} = C_{\text{ПДК}} W, \quad (4)$$

где $C_{\text{ПДК}}$ – предельно допустимая концентрация рассматриваемого вещества, мг/дм³ или мкг/дм³;

W – водный сток, км³.

Сверхнормативный перенос может быть отрицательным в случае, когда величина стока вещества за заданный расчетный период меньше нормативного стока. Тогда сверхнормативный перенос считается отсутствующим.

Дополнительно проводился расчет антропогенной составляющей (АС) ионного стока и его элементов. Для этого использовались данные за условно

фоновый период, за который были приняты 1938–1960 гг. Сведения, необходимые для расчета АС за период 1990–2020 гг., были взяты из публикаций [2, 3] и госфонда данных ФГБУ «ГХИ».

Расчет антропогенной составляющей осуществлялся с использованием двух методов. Первый – метод гидрохимического фона [121]:

$$G_a = G_{\text{пер}} - K_v G_{\text{ф.пер}}, \quad (5)$$

где G_a – антропогенная составляющая стока рассматриваемого компонента (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, SO_4^{2-} , Cl^-) за расчетный период, тыс. т;

$G_{\text{пер}}$ – количество перенесенного вещества за расчетный период, тыс. т;

$G_{\text{ф.пер}}$ – количество перенесенного вещества за период, когда концентрация отвечала относительному гидрохимическому фону, тыс. т;

K_v – поправочный коэффициент, равный отношению водного стока за расчетный период к водному стоку за «фоновый» период.

Кроме того, расчет антропогенной составляющей ионного стока рек бассейна Кубани выполнялся с помощью метода реперных компонентов по формуле [78]:

$$G' = G_{\Sigma} - \frac{G_{\text{HCO}_3^-}}{K_{\text{ф}}}, \quad (6)$$

где G' – антропогенная составляющая стока рассматриваемого компонента (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, SO_4^{2-} , Cl^-) за расчетный период, тыс. т;

G_{Σ} – суммарный сток природной и антропогенной составляющих компонента за расчетный период, тыс. т;

$G_{\text{HCO}_3^-}$ – сток HCO_3^- за расчетный период, тыс. т;

$K_{\text{ф}}$ – коэффициент, равный отношению стока HCO_3^- к стоку Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, SO_4^{2-} или Cl^- в «фоновый» период.

«При отсутствии данных наблюдений по стоку вышеуказанных компонентов для фонового периода, предлагаемым методом можно рассчитать возрастание их

антропогенной составляющей, исходя из данных предшествующего периода (за который имеются данные)» [78, с. 91].

Методы анализа многолетних данных

Для обработки многолетних гидрохимических и гидрологических данных использованы MS Excel 2010 и пакет прикладных программ Statistica 13.0, а также средства языка программирования Python с подключением библиотеки для работы с данными Pандас.

Статистически значимые временные тенденции химического состава, качества воды и стока веществ определялись с помощью коэффициента ранговой корреляции Кендалла [53]. За критический уровень статистической значимости принимали 5 % (тенденция считалась значимой при $p < 0,05$). Оценка интенсивности изменений проводилась с использованием коэффициента линейного тренда.

С целью анализа изменчивости стока веществ выделялись контрастные периоды (фазы повышенных или пониженных значений химического стока относительно среднемноголетних значений). Для этого использовался метод разностно-интегральных кривых. Данный подход активно используется в гидрологических исследованиях при изучении изменчивости водного стока [87, 136]. Как отмечалось, «с конца 1980-х до середины первого десятилетия 2000-х гг. этот метод применялся существенно реже, но в последние годы интерес к нему среди гидрологов и климатологов снова возрос» [23, с. 58]. Кроме того, Е. Г. Кольмаковой метод применялся для установления начального момента нарушения режима стока растворенных веществ рек вследствие антропогенного воздействия [50, 51].

Разностно-интегральная кривая представляет собой нарастающую сумму отклонений годовых модульных коэффициентов (относительных отклонений) от среднемноголетнего значения [28].

Выделение характерных периодов осуществлялось для тех участков, где были обнаружены статистически значимые тенденции стока веществ. Такой

подход позволяет выявить закономерности и взаимосвязи в больших наборах данных и на количественном уровне оценить происходящие изменения. Кроме того, «при значительном воздействии антропогенных факторов должно иметь место нарушение однородности данных по стоку химических веществ» [51, с. 60]. Поэтому помимо оценки изменений химического стока, анализировалась динамика антропогенной составляющей и сверхнормативного стока веществ для тех же пунктов и периодов.

Оценка различий между выделенными периодами проводилась с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни (различия считались значимыми при $p < 0,05$).

Среднемноголетние и сезонные значения стока веществ в контрастные периоды представлялись в виде «среднее значение \pm стандартное отклонение». Для сравнения выделенных характерных фаз рассчитаны относительные изменения средних значений, выраженные в процентах. Базовый период отмечался как «I», современный – «II».

Чаще всего водный сток более изменчив в течение года, чем концентрации веществ в воде, поэтому сток химических веществ в основном повторяет ход гидрографа [3]. При рассмотрении сезонного распределения стока растворенных веществ по рукавам дельты Кубани было показано, что в среднемноголетнем отношении (за период 2008–2018 гг.) даже сток поллютантов может соответствовать изменению водности в основные сезоны года [130]. Для того, чтобы проследить, как изменяется сезонный сток веществ при смене характерных фаз, были рассчитаны относительные изменения для выделенных периодов.

Метод представления картографической информации

Разработка картосхем осуществлялась с использованием свободно распространяемой геоинформационной системы QGIS 3.10 и компьютерной программы для редактирования пространственных данных SAGA GIS 2.3.2.

В качестве исходного материала для выделения границ бассейна р. Кубани и частных водосборов выступал набор данных цифровых моделей рельефа (ЦМР) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Границы водосборов выделялись с помощью модуля, в котором используется алгоритм, предложенный в [170], и инструментов «Flow Accumulation» и «UpSlope Area (Interactive)».

Дополнительно для оформления картосхем использовались картографические данные OpenStreetMap.

Результат выделения водосборов представлены на рисунке 2.10.



Рисунок 2.10 – Границы частных водосборов рек бассейна Кубани

Для определения областей формирования стока веществ в бассейне р. Кубани на основе подхода, предложенного сотрудниками Института водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН) и использованного при составлении атласа «Гидрохимический сток рек Европейской части России» [26], были разработаны картосхемы пространственной изменчивости модулей стока

веществ частных водосборов в пределах бассейна р. Кубани. Путем вычитания значений на расчетном и вышележащем пункте наблюдений получали показатели стока веществ частных водосборов. Для визуального представления полученных результатов выполнено ранжирование модулей стока от меньшего к большему с присвоением соответствующего цвета.

Кроме того, на основе выделенных контрастных периодов разной продолжительности, определялись общие характерные периоды стока веществ для водосбора р. Кубани в целом. Для этих периодов были рассчитаны среднемноголетние модули стока химических веществ по каждому пункту наблюдений без вычитания значений на расчетном и вышележащем участках (т. е. для всей площади, относящейся к пункту наблюдений). В круговых значках в числителе указывается среднее значение модуля стока базового периода, в знаменателе – современного.

Всего на основе данных о концентрациях веществ и объемах водного стока рассчитаны модули стока для 11 пунктов наблюдений, расположенных по длине р. Кубани и ее основных притоков (Лаба, Белая, Пшеха, Пшиш, Псекупс, Афипс и Адагум).

При разработке картосхем изменчивости качества воды по удельному комбинаторному индексу загрязненности воды использована информация по 24 пунктам наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши в бассейне р. Кубани (таблица 2.5). Для интерполяции данных использовался инструмент «IDW interpolation», основанный на методе обратных взвешенных расстояний.

Выводы

Приведена характеристика природных и антропогенных факторов формирования стока химических веществ в бассейне р. Кубани. Показано, что антропогенная нагрузка в пределах бассейна распределяется неравномерно и изменяется со временем.

Представлена исходная информация и метод расчета химического стока.

Была собрана и подготовлена гидрохимическая и гидрологическая информация за период 1990–2020 гг. Выбрано 24 пункта наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши в бассейне р. Кубани, наиболее полно обеспеченных гидрохимической информацией, 16 их них сопровождались наблюдениями за расходами воды. Для определения стока химических веществ использовался прямой метод расчета. Антропогенная составляющая ионного стока и его элементов рассчитывалась двумя методами: методом гидрохимического фона и методом реперных компонентов. Для остальных веществ проводился расчет сверхнормативного стока.

Для анализа многолетних данных использовались коэффициент ранговой корреляции Кендалла и метод разностно-интегральных кривых.

Разработка картосхем осуществлялась с использованием свободно распространяемой геоинформационной системы QGIS 3.10 и компьютерной программы для редактирования пространственных данных SAGA GIS 2.3.2.

3 ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ ВОД И ВОДНОГО СТОКА В БАССЕЙНЕ КУБАНИ

3.1 Тенденции изменчивости химического состава речных вод

Основные компоненты гидрохимического состава поверхностных вод (главные ионы, органические и биогенные вещества, микроэлементы) поступают в водные объекты как из природных, так и из антропогенных источников (точечных и диффузных). При анализе многолетней изменчивости химического стока необходимо учитывать динамику содержания в воде веществ, так как последние являются одним из ключевых факторов формирования стока веществ наряду с водным стоком.

Изменчивость химического состава речных вод в многолетнем отношении может выступать в качестве индикатора интенсификации или спада антропогенного воздействия на речной водосбор. В данном разделе представлены основные тенденции изменчивости химического состава поверхностных вод рек бассейна Кубани в условиях неравномерно распределенного в пространстве и изменяющегося во времени антропогенного воздействия. Для каждого компонента определялись статистически значимые тренды изменчивости химического состава речных вод за период 1990–2020 гг. Для анализа направленности и интенсивности изменений использовались коэффициенты линейного тренда. Статистические характеристики многолетней изменчивости показателей химического состава речных вод бассейна Кубани приведены в Приложении 1.

Минерализация воды

За период 1990–2020 гг. наблюдались разнонаправленные тенденции изменчивости минерализации воды и концентраций главных ионов в речных водах бассейна Кубани. Статистически значимые тенденции во временной динамике минерализации воды были выявлены в 11 створах из 36 (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Коэффициенты линейного тренда, характеризующие направленность и интенсивность изменений минерализации воды рек бассейна Кубани (1990–2020 гг.)

Водный объект, пункт наблюдений	Расположение створа	Коэффициент линейного тренда, мг/дм ³ в год
По длине р. Кубани		
р. Кубань, г. Невинномысск	выше города	-8,43
	ниже города	–
р. Кубань, г. Армавир	выше города	–
	ниже города	–
р. Кубань, г. Кропоткин	выше города	–
	ниже города	–
р. Кубань, ст-ца Ладожская	ниже станицы	-7,02
р. Кубань, г. Краснодар	выше города	-2,14
	ниже города	-2,43
р. Кубань, х. Тиховский	в черте хутора	–
Дельтовые рукава р. Кубани		
рук. Петрушин, г. Темрюк	выше города	-1,62
	ниже города	-1,61
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	выше хутора	–
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	выше города	–
	ниже города	–
рук. Протока, ст-ца Гривенская	в черте станицы	-2,49
рук. Протока, х. Слободка	ниже хутора	-6,24
Притоки р. Кубани		
р. Большой Зеленчук, г. Невинномысск	выше города	–
р. Лаба, г. Лабинск	выше города	–
	ниже города	–
р. Лаба, х. Догужиев	выше хутора	–
р. Белая, п. Гузерибль	выше поселка	0,83
р. Белая, г. Майкоп	выше города	–
	ниже города	–
р. Белая, а. Адамий	в черте аула	–
р. Пшеха, г. Апшеронск	выше города	–
	ниже города	–
р. Пшиш, г. Хадыженск	выше города	0,72
	ниже города	–
р. Пшиш, х. Фокин	ниже хутора	–
	выше города	–
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	выше города	–
	ниже города	–
р. Афипс, ст-ца Смоленская	ниже станицы	–
р. Адагум, г. Крымск	выше города	–
	ниже города	-2,75
р. Абин, г. Абинск	ниже города	–
Примечания: статистически значимые тенденции ($p < 0,05$) отмечены цветом: синий – убывающая тенденция, красный – возрастающая; прочерк означает отсутствие статистически значимых тенденций.		

Обнаруженные статистически значимые тенденции в основном (82 % случаев) носили характер убывающей линейной зависимости, что свидетельствует об уменьшении минерализации воды в створах на 1,61–8,43 мг/дм³ в год.

На рисунке 3.1 показано пространственное распределение трендов минерализации воды. Для створов, расположенных по длине главной реки, характерны 4 тенденции из 10 возможных на данном участке, 4 из 7 – для дельтовых рукавов, 3 из 19 – для притоков.

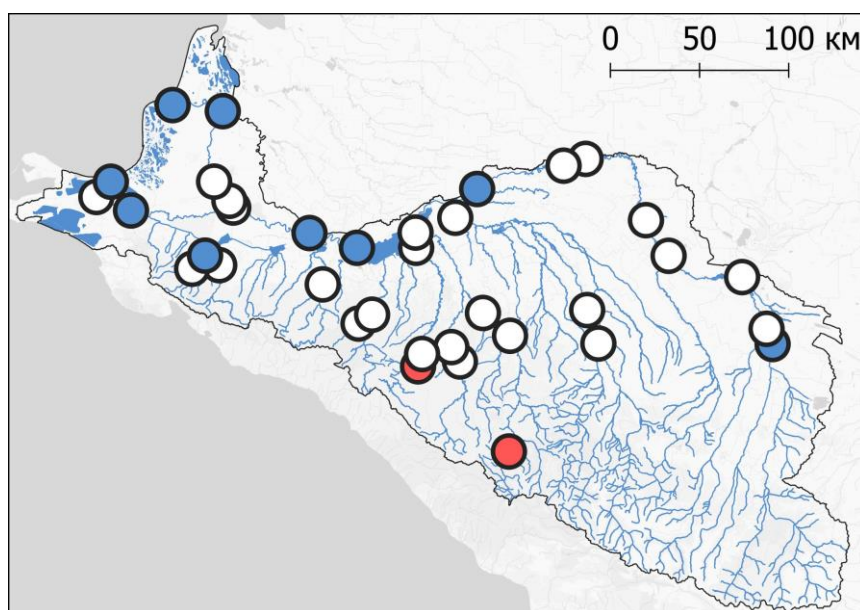


Рисунок 3.1 – Пространственное распределение тенденций изменчивости минерализации воды в бассейне р. Кубани за период 1990–2020 гг. (статистически значимые тенденции ($p < 0,05$) отмечены цветом: синий – убывающая тенденция, красный – возрастающая тенденция)

В пунктах наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши могут быть организованы два или более створа [119]. В бассейне р. Кубани функционируют 12 пунктов гидрохимических наблюдений со створами выше и ниже городов с населением от 20 до 1000 тыс. человек: г. Невинномысск, г. Армавир, г. Кропоткин, г. Краснодар, г. Темрюк, г. Славянск-на-Кубани, г. Лабинск, г. Майкоп, г. Апшеронск, г. Хадыженск, г. Горячий Ключ и г. Крымск.

Сравнение направленности изменений минерализации воды в створах выше и ниже урбанизированных территорий показало, что тренд минерализации воды от статистически значимого выше г. Невинномысска (уменьшение на 8,43 мг/дм³ в год) изменился до статистически незначимого ниже города, от статистически значимого выше г. Хадыженска (увеличение на 0,72 мг/дм³ в год) изменился до статистически незначимого ниже города и от статистически незначимого выше г. Крымска изменился до значимого ниже города (уменьшение на 2,75 мг/дм³ в год). Это может косвенно указывать на техногенное воздействие, источником которого на данных участках выступают урбанизированные территории.

Ионный состав воды

Во временной динамике концентраций отдельных главных ионов в воде рек бассейна Кубани статистически значимые тенденции обнаружены в 72 случаях из 216 возможных (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Коэффициенты линейного тренда, характеризующие направленность и интенсивность изменений концентраций главных ионов в воде рек бассейна Кубани (1990–2020 гг.)

Водный объект, пункт наблюдений	Расположение створа	Коэффициент линейного тренда, мг/дм ³ в год					
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
По длине р. Кубани							
р. Кубань, г. Невинномыссск	выше города	-0,69	-0,48	-1,19	–	-4,13	–
	ниже города	-0,47	-0,24	–	–	-2,21	–
р. Кубань, г. Армавир	выше города	-0,46	-0,24	–	–	–	-0,27
	ниже города	–	–	–	–	–	-0,26
р. Кубань, г. Кропоткин	выше города	–	–	–	–	–	-0,26
	ниже города	–	–	–	–	–	–
р. Кубань, ст-ца Ладожская	ниже станицы	-0,74	-0,38	-1,09	–	-3,21	-0,71
р. Кубань, г. Краснодар	выше города	-0,29	-0,11	–	–	-1,19	-0,19
	ниже города	–	-0,10	–	–	-1,07	-0,26
р. Кубань, х. Тиховский	в черте хутора	-0,95	–	1,39	–	0,36	–

Водный объект, пункт наблюдений	Расположение створа	Коэффициент линейного тренда, мг/дм ³ в год					
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Дельтовые рукава р. Кубани							
рук. Петрушин, г. Темрюк	выше города	-1,13	–	0,75	–	–	-0,60
	ниже города	-1,13	–	0,74	–	–	-0,61
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	выше хутора	-0,87	–	0,97	–	–	–
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	выше города	-1,07	–	1,15	–	–	–
	ниже города	-1,05	–	1,16	–	–	–
рук. Протока, ст-ца Гривенская	в черте станицы	-1,21	–	0,53	–	–	-1,07
рук. Протока, х. Слободка	нижу хутора	-1,51	–	–	-0,64	-1,44	-1,94
Притоки р. Кубани							
р. Большой Зеленчук, г. Невинномысск	выше города	–	–	–	0,92	–	–
р. Лаба, г. Лабинск	выше города	–	–	–	–	–	-0,094
	ниже города	–	–	–	–	–	-0,080
р. Лаба, х. Догужиев	выше хутора	–	–	–	–	–	-0,080
р. Белая, п. Гузерипль	выше поселка	0,082	0,062	–	0,41	0,13	0,026
р. Белая, г. Майкоп	выше города	–	–	–	–	–	–
	ниже города	–	–	–	–	–	–
р. Белая, а. Адамий	в черте аула	-0,36	–	–	–	–	-0,082
р. Пшеха, г. Апшеронск	выше города	–	0,051	–	–	–	–
	ниже города	–	0,069	–	–	–	–
р. Пшиш, г. Хадыженск	выше города	–	–	–	–	–	0,040
	ниже города	–	–	–	–	–	–
р. Пшиш, х. Фокин	ниже хутора	–	–	–	–	–	–
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	выше города	–	–	0,32	–	–	0,19
	ниже города	–	–	–	–	–	–
р. Афипс, ст-ца Смоленская	ниже станицы	–	–	–	–	-0,42	-0,27
р. Адагум, г. Крымск	выше города	-0,47	–	0,28	–	-0,59	–
	ниже города	-0,75	–	–	–	-0,85	-0,24
р. Абин, г. Абинск	ниже города	–	0,062	–	0,88	–	–
Примечания: статистически значимые тенденции ($p < 0,05$) отмечены цветом: синий – убывающая тенденция, красный – возрастающая; прочерк означает отсутствие статистически значимых тенденций.							

Для участков, расположенных по длине р. Кубани, выявлено 27 статистически значимых тенденций из 60 возможных, для рукавов дельты – 19 из 42, для притоков – 26 из 114 (таблица 3.2).

Пространственное распределение выявленных тенденций представлено на рисунке 3.2. В 69 % случаев статистически значимые тенденции характеризовались как убывающие. Однако такое распределение характерно не для всех исследуемых частей бассейна р. Кубани. Так, для створов, расположенных по длине р. Кубани, подавляющее большинство статистически значимых тенденций (93 % случаев) носили характер убывающей линейной зависимости. В дельтовых рукавах р. Кубани увеличивается доля возрастающих статистически значимых тенденций (32 % случаев). Для притоков часто свойственен тренд на увеличение концентраций главных ионов (54 % случаев).

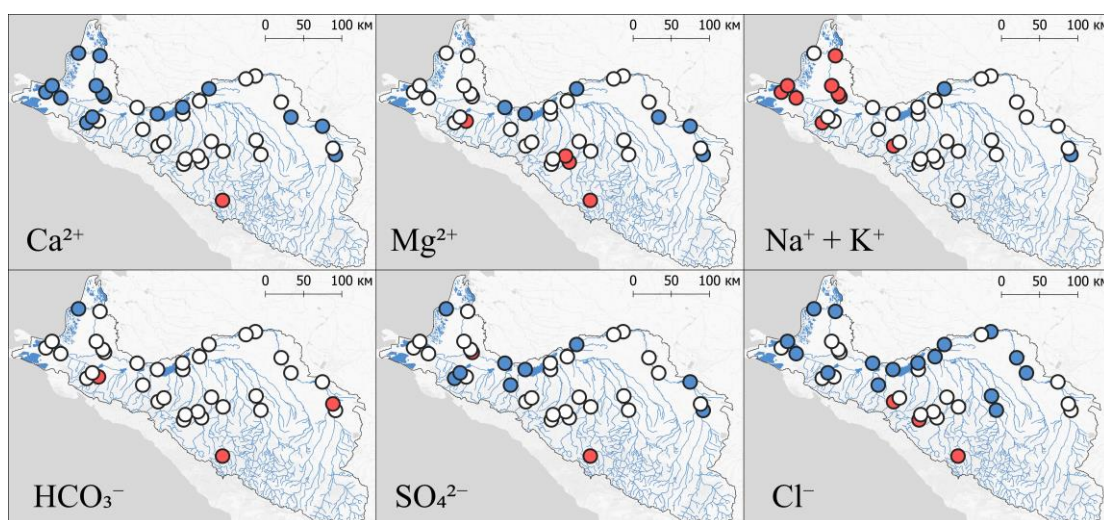


Рисунок 3.2 – Пространственное распределение тенденций изменчивости концентраций главных ионов в бассейне р. Кубани за период 1990–2020 гг. (статистически значимые тенденции ($p < 0,05$) отмечены цветом: синий – убывающая тенденция, красный – возрастающая тенденция)

Анализ полученных результатов позволил выявить характерные особенности тенденций изменчивости отдельных главных ионов.

В динамике концентраций Ca^{2+} статистически значимые тенденции обнаружены в 17 створах из 36. Подавляющее большинство из них характеризовалось убывающим трендом (94 % случаев).

Обращает на себя внимание стремительное уменьшение концентраций Ca^{2+} в воде вершины дельты р. Кубани (х. Тиховский) и дельтовых рукавах на 0,87–

1,51 мг/дм³ в год. На этом фоне происходило увеличение содержания Na⁺ + K⁺ в 7 створах. Статистически значимые тренды роста концентраций Na⁺ + K⁺ локализуются в нижнем течении р. Кубани и ее дельте, где водотоки подвержены влиянию сельского хозяйства (особенно рисосеяния). Здесь поступление щелочных металлов происходит с коллекторно-дренажными и хозяйственно-бытовыми водами [24]. Интенсивность изменений составляла 0,53–1,39 мг/дм³ в год.

Для Mg²⁺ статистически значимые тенденции обнаружены в 10 створах. Снижение концентраций встречалось по длине р. Кубани (всего 6 случаев). В 4 створах притоков отмечалось увеличение содержания компонента. Интенсивность убывающих изменений составляла 0,10–0,48 мг/дм³ в год, возрастающих – всего 0,051–0,069 мг/дм³ в год.

Больше всего статистически значимых тенденций обнаружено для Cl⁻ (в 19 створах из 36), значительная доля которых описывалась убывающим линейным трендом (86 % случаев). На устьевом участке р. Кубани во всех створах происходило уменьшение концентраций Cl⁻ в поверхностных водах. При этом отмечалось увеличение интенсивности изменений концентраций при приближении к морскому краю дельты. В створах дельтовых рукавов (рук. Петрушин и рук. Протока) происходило снижение концентраций со скоростью 0,60–1,94 мг/дм³ в год.

Динамика концентраций HCO₃⁻ характеризовалась наибольшей стабильностью: для большинства речных участков статистически значимых изменений не обнаружено. Выявлена одна убывающая тенденция в пункте наблюдений рук. Протока – х. Слободка и 3 возрастающих в створах притоков: р. Большой Зеленчук – г. Невинномысск, р. Белая – п. Гузерибль, р. Абин – г. Абинск.

В изменчивости содержания SO₄²⁻ обнаружено 11 статистически значимых тенденций. В 9 створах происходило уменьшение концентраций (82 % случаев), в 2 – увеличение (18 %).

В целом обнаруженные статистически значимые тенденции изменчивости концентраций главных ионов преимущественно носили характер убывающей линейной зависимости (69 % случаев). Статистически значимые тренды часто отмечались в створах нижнего течения р. Кубани и рукавов ее дельты.

Органические вещества

Тенденции изменчивости концентраций органических веществ рассмотрены по таким показателям как химическое потребление кислорода (ХПК) и биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК₅). В данном случае величина ХПК характеризует суммарное содержание в поверхностных водах органических веществ, а БПК₅ – легкоокисляющихся органических веществ [92].

В бассейне р. Кубани для органических веществ характерно уменьшение концентраций за период 1990–2020 гг. В целом выявлено 26 статистически значимых тенденций из 72 возможных (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Коэффициенты линейного тренда, характеризующие направленность и интенсивность изменений концентраций органических веществ в воде рек бассейна Кубани (1990–2020 гг.)

Водный объект, пункт наблюдений	Расположение створа	Коэффициент линейного тренда, мг/дм ³ в год	
		ОВ по ХПК	ОВ по БПК ₅
По длине р. Кубани			
р. Кубань, г. Невинномысск	выше города	-0,26	–
	ниже города	-0,22	-0,032
р. Кубань, г. Армавир	выше города	–	–
	ниже города	–	-0,022
р. Кубань, г. Кропоткин	выше города	–	–
	ниже города	–	–
р. Кубань, ст-ца Ладожская	ниже станицы	–	–
р. Кубань, г. Краснодар	выше города	-0,20	-0,039
	ниже города	-0,32	-0,043
р. Кубань, х. Тиховский	в черте хутора	–	–
Дельтовые рукава р. Кубани			
рук. Петрушин, г. Темрюк	выше города	–	-0,012
	ниже города	–	-0,011

Водный объект, пункт наблюдений	Расположение створа	Коэффициент линейного тренда, мг/дм ³ в год	
		ОВ по ХПК	ОВ по БПК ₅
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	выше хутора	–	–
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	выше города	–	-0,010
	ниже города	–	-0,009
рук. Протока, ст-ца Гривенская	в черте станицы	–	-0,019
рук. Протока, х. Слободка	нижу хутора	–	-0,009
Притоки р. Кубани			
р. Большой Зеленчук, г. Невинномысск	выше города	–	–
р. Лаба, г. Лабинск	выше города	–	-0,022
	ниже города	–	–
р. Лаба, х. Догужиев	выше хутора	–	–
р. Белая, п. Гузерипль	выше поселка	-0,21	-0,032
р. Белая, г. Майкоп	выше города	–	-0,034
	ниже города	–	-0,029
р. Белая, а. Адамий	в черте аула	–	–
р. Пшеха, г. Апшеронск	выше города	–	-0,028
	ниже города	–	-0,035
р. Пшиш, г. Хадыженск	выше города	–	-0,027
	ниже города	-0,34	-0,030
р. Пшиш, х. Фокин	ниже хутора	–	–
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	выше города	–	–
	ниже города	-0,17	–
р. Афипс, ст-ца Смоленская	ниже станицы	–	–
р. Адагум, г. Крымск	выше города	–	–
	ниже города	-0,27	–
р. Абин, г. Абинск	ниже города	–	–
Примечания: синим цветом отмечены статистически значимые убывающие тенденции ($p < 0,05$); прочерк означает отсутствие статистически значимых тенденций.			

Для участков, расположенных по длине р. Кубани, выявлено 8 статистически значимых тенденций из 20, для рукавов дельты – 6 из 14, для притоков – 12 из 38 (рисунок 3.3). Все выявленные статистически значимые тенденции описывались убывающим линейным трендом.

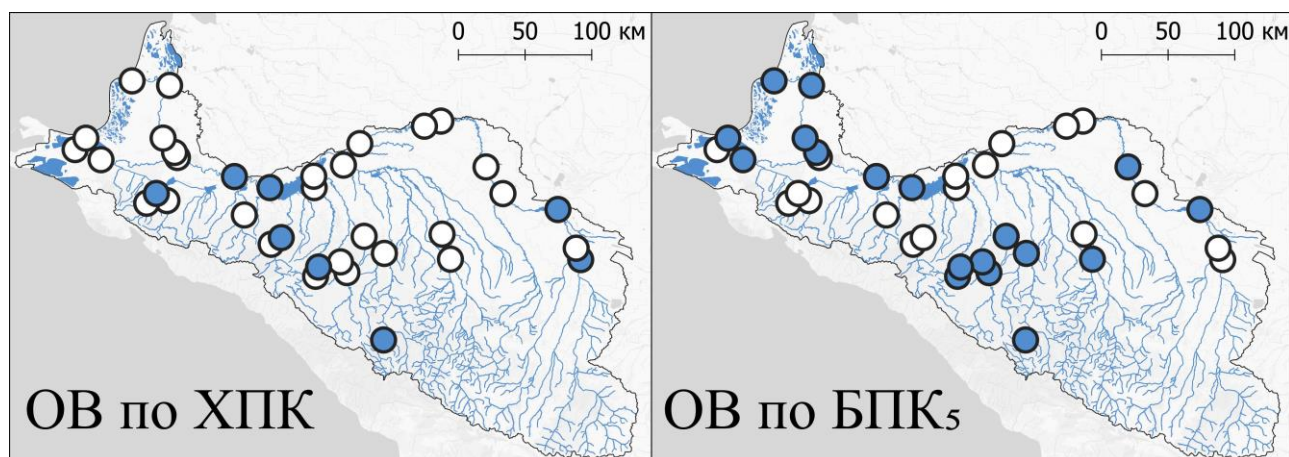


Рисунок 3.3 – Пространственное распределение тенденций изменчивости концентраций органических веществ в бассейне р. Кубани за период 1990–2020 гг. (синим цветом отмечены убывающие статистически значимые ($p < 0,05$) тенденции)

Анализ полученных данных показывает, что динамика концентраций ОВ по ХПК отличается высокой стабильностью. В бассейне р. Кубани статистически значимые тенденции выявлены всего в 8 створах из 36. Интенсивность уменьшения концентраций ОВ по ХПК изменялась в пределах $0,17\text{--}0,34$ мг/дм³ в год.

Содержание ОВ по БПК₅ в водах рек бассейна статистически значимо сокращалось в нижнем течении р. Кубани, ее дельтовых рукавов и на участках отдельных притоков (рр. Лаба, Белая, Пшеха и Пшиш). Наиболее интенсивные изменения характерны для участка в районе г. Краснодара: $0,039\text{--}0,040$ мг/дм³ в год. В остальных случаях интенсивность не превышала $0,035$ мг/дм³ в год.

Сравнение направленности изменений концентраций ОВ в воде нескольких створов пунктов наблюдений показало, что за период 1990–2020 гг. характерной особенностью для данных химических веществ является изменение тенденций от статистически незначимых выше населенных пунктов до статистически значимых убывающих трендов ниже урбанизированных территорий (гг. Невинномыск, Армавир, Хадыженск, Горячий Ключ, Крымск). По-видимому, возникновение

тенденций связано с уменьшением воздействия, оказываемого населенными пунктами на водотоки бассейна р. Кубани за рассматриваемый период.

Биогенные вещества

С 1990 по 2020 г. изменчивость концентраций рассматриваемых биогенных веществ ($N-NH_4^+$, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$) в бассейне р. Кубани характеризовалась разнонаправленными тенденциями.

Статистически значимые тенденции выявлены в 67 случаях из 108 (таблица 3.4). В целом выявленные тренды чаще носили характер убывающей линейной зависимости (52 % случаев).

Таблица 3.4 – Коэффициенты линейного тренда, характеризующие направленность и интенсивность изменений концентраций биогенных веществ в воде рек бассейна Кубани (1990–2020 гг.)

Водный объект, пункт наблюдений	Расположение створа	Коэффициент линейного тренда, мг/дм ³ в год		
		$N-NH_4^+$	$N-NO_2^-$	$N-NO_3^-$
По длине р. Кубани				
р. Кубань, г. Невинномысск	выше города	0,002	-0,003	-0,083
	ниже города	–	–	-0,074
р. Кубань, г. Армавир	выше города	0,003	–	-0,065
	ниже города	0,003	-0,003	-0,069
р. Кубань, г. Кропоткин	выше города	0,003	-0,002	-0,084
	ниже города	0,003	-0,002	-0,081
р. Кубань, ст-ца Ладожская	ниже станицы	0,003	–	-0,098
р. Кубань, г. Краснодар	выше города	0,004	–	-0,034
	ниже города	0,005	–	-0,036
р. Кубань, х. Тиховский	в черте хутора	-0,012	-0,001	–
Дельтовые рукава р. Кубани				
рук. Петрушин, г. Темрюк	выше города	-0,011	-0,001	–
	ниже города	-0,012	-0,001	0,024
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	выше хутора	-0,008	-0,001	0,034
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	выше города	-0,014	-0,001	–
	ниже города	-0,014	-0,001	–
рук. Протока, ст-ца Гривенская	в черте станицы	-0,013	-0,001	–
рук. Протока, х. Слободка	нижу хутора	-0,011	-0,001	–

Водный объект, пункт наблюдений	Расположение створа	Коэффициент линейного тренда, мг/дм ³ в год		
		N-NH ₄ ⁺	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻
Притоки р. Кубани				
р. Большой Зеленчук, г. Невинномысск	выше города	0,002	–	-0,037
р. Лаба, г. Лабинск	выше города	0,002	–	–
	ниже города	0,002	–	–
р. Лаба, х. Догужиев	выше хутора	0,003	–	-0,045
р. Белая, п. Гузерибль	выше поселка	0,002	–	0,006
р. Белая, г. Майкоп	выше города	0,002	–	–
	ниже города	0,002	–	–
р. Белая, а. Адамий	в черте аула	0,003	–	-0,012
р. Пшеха, г. Апшеронск	выше города	0,002	–	–
	ниже города	0,004	–	–
р. Пшиш, г. Хадыженск	выше города	0,003	–	–
	ниже города	0,003	–	–
р. Пшиш, х. Фокин	ниже хутора	0,004	–	–
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	выше города	0,003	–	0,009
	ниже города	0,003	–	0,011
р. Афипис, ст-ца Смоленская	ниже станицы	0,003	–	-0,015
р. Адагум, г. Крымск	выше города	0,003	–	–
	ниже города	0,003	–	-0,054
р. Абин, г. Абинск	ниже города	0,002	–	-0,010
Примечания: статистически значимые тенденции ($p < 0,05$) отмечены цветом: синий – убывающая тенденция, красный – возрастающая; прочерк означает отсутствие статистически значимых тенденций.				

Для участков, расположенных по длине р. Кубани, выявлено 23 статистически значимых тенденции из 30 возможных, для рукавов дельты – 16 из 21, для притоков – 28 из 57 (рисунок 3.4).

Для концентраций N-NH₄⁺ в воде рек почти во всех створах (35 из 36) наблюдались разнонаправленные статистически значимые тенденции. Большинство из них характеризовалось возрастающим трендом (77 % случаев). При этом обращает на себя внимание статистически значимое уменьшение концентраций, наблюдаемое только в воде вершины дельты р. Кубани (х. Тиховский) и ее дельтовых рукавах. Интенсивность увеличения концентраций N-NH₄⁺ по длине р. Кубани и ее притоков изменялась в пределах 0,002–0,005 мг/дм³ в год, а интенсивность уменьшения содержания вещества в нижнем

течении р. Кубани и дельтовых рукавах составляла $0,008\text{--}0,014\text{ мг/дм}^3$ в год. Скорость происходящих изменений указывает на тот факт, что увеличение притока N-NH_4^+ с вышележащих участков р. Кубани в период 1990–2020 гг. не может компенсировать снижения концентраций вещества в нижнем течении реки. Как показано А. Е. Букатовым и Е. А. Павленко, увеличение концентраций N-NH_4^+ в бассейне р. Кубани может быть связано с «загрязнением, переносимым ливневыми сточными водами и вымыванием из почвы сельхозугодий минеральных удобрений» [17, с. 372].

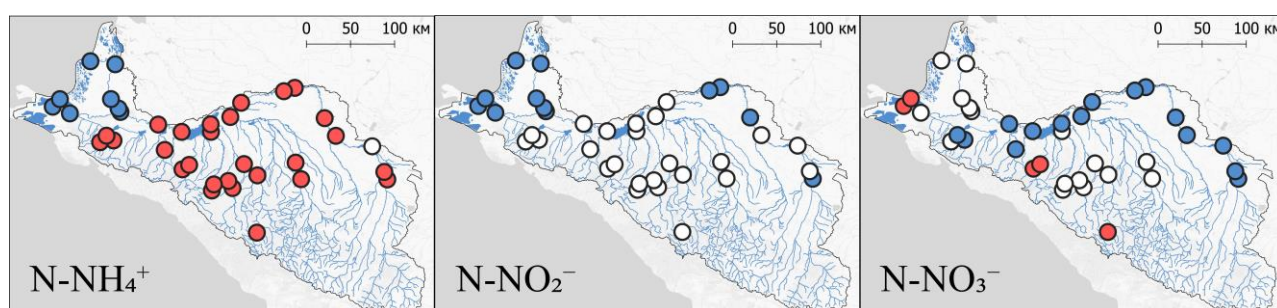


Рисунок 3.4 – Пространственное распределение тенденций изменчивости концентраций биогенных веществ в бассейне р. Кубани за период 1990–2020 гг. (статистически значимые тенденции ($p < 0,05$) отмечены цветом: синий – убывающая тенденция, красный – возрастающая тенденция)

В 12 створах из 36 выявлены статистически значимые убывающие тенденции N-NO_2^- . Все выявленные тренды относятся к пунктам наблюдений, которые расположены по длине р. Кубани и ее дельтовых рукавов. Интенсивность снижения концентраций N-NO_2^- изменялась в пределах $0,001\text{--}0,003\text{ мг/дм}^3$ в год и характеризовалась возрастанием интенсивности по направлению к истоку р. Кубани.

В динамике концентраций N-NO_3^- выявлены разнонаправленные статистически значимые тенденции в 20 створах из 36. В 15 случаях (75 %) концентрация азота нитратного снижалась, в 5 (25 %) – увеличивалась. По длине р. Кубани от г. Невинномысска до г. Краснодара интенсивность снижения концентраций N-NO_3^- уменьшалась от $0,083\text{--}0,074$ до $0,034\text{--}0,036\text{ мг/дм}^3$ в год. На

участках дельтовых рукавов Петрушин и Казачий Ерик происходило увеличение концентраций вещества на 0,024–0,034 мг/дм³ в год. Для отдельных притоков были характерны разнонаправленные тенденции.

В целом обнаруженные статистически значимые тенденции свидетельствуют о снижении концентраций биогенных веществ в бассейне р. Кубани за период 1990–2020 гг.

Соединения металлов

С 1990 по 2020 г. изменчивость концентраций соединений металлов (железа, меди и цинка) в бассейне р. Кубани в подавляющем большинстве случаев характеризовалась убывающими тенденциями. Статистически значимые тренды уменьшения концентраций веществ выявлены в 77 случаях из 108 (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Коэффициенты линейного тренда, характеризующие направленность и интенсивность изменений концентраций соединений металлов в воде рек бассейна Кубани (1990–2020 гг.)

Водный объект, пункт наблюдений	Расположение створа	Коэффициент линейного тренда, мкг/дм ³ в год		
		Fe*	Cu	Zn
По длине р. Кубани				
р. Кубань, г. Невинномысск	выше города	-0,028	-0,075	–
	ниже города	-0,042	-0,25	–
р. Кубань, г. Армавир	выше города	-0,050	-0,21	–
	ниже города	-0,056	-0,34	–
р. Кубань, г. Кропоткин	выше города	-0,046	-0,27	–
	ниже города	-0,049	-0,33	–
р. Кубань, ст-ца Ладожская	ниже станицы	-0,037	-0,38	–
р. Кубань, г. Краснодар	выше города	-0,007	-0,14	-0,26
	ниже города	-0,010	-0,23	-0,25
р. Кубань, х. Тиховский	в черте хутора	-0,010	-0,067	-0,34
Дельтовые рукава р. Кубани				
рук. Петрушин, г. Темрюк	выше города	-0,008	-0,057	-0,21
	ниже города	-0,008	-0,070	-0,31
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	выше хутора	-0,006	–	-0,057

Водный объект, пункт наблюдений	Расположение створа	Коэффициент линейного тренда, мкг/дм ³ в год		
		Fe*	Cu	Zn
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	выше города	-0,010	-0,060	-0,32
	ниже города	-0,010	-0,061	-0,34
рук. Протока, ст-ца Гривенская	в черте станицы	-0,011	-0,059	-0,24
рук. Протока, х. Слободка	ниже хутора	-0,014	-0,054	-0,59
Притоки р. Кубани				
р. Большой Зеленчук, г. Невинномысск	выше города	-0,019	-0,10	–
р. Лаба, г. Лабинск	выше города	-0,017	-0,060	–
	ниже города	-0,019	–	–
р. Лаба, х. Догужиев	выше хутора	-0,018	-0,30	–
р. Белая, п. Гузерибль	выше поселка	-0,006	–	–
р. Белая, г. Майкоп	выше города	-0,028	–	–
	ниже города	-0,061	-0,19	–
р. Белая, а. Адамий	в черте аула	-0,024	-0,19	–
р. Пшеха, г. Апшеронск	выше города	-0,040	–	–
	ниже города	-0,067	-0,13	–
р. Пшиш, г. Хадыженск	выше города	-0,028	–	–
	ниже города	-0,031	-0,12	–
р. Пшиш, х. Фокин	ниже хутора	-0,035	-0,24	-0,34
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	выше города	-0,008	-0,18	–
	ниже города	-0,007	-0,24	–
р. Афипис, ст-ца Смоленская	ниже станицы	-0,011	-0,18	–
р. Адагум, г. Крымск	выше города	-0,011	-0,25	–
	ниже города	-0,007	-0,35	–
р. Абин, г. Абинск	ниже города	-0,007	-0,22	–
Примечания: *выражено в мкг/дм ³ в год; синим цветом отмечены статистически значимые ($p < 0,05$) убывающие тенденции; прочерк означает отсутствие статистически значимых тенденций.				

Для участков, расположенных по длине р. Кубани, выявлено 23 статистически значимых тенденции из 30 возможных, для рукавов дельты – 20 из 21, для притоков – 34 из 57 (рисунок 3.5).

В динамике концентраций Fe статистически значимые убывающие тенденции выявлены во всех 36 створах. Наибольшая интенсивность изменений характерна для р. Кубани до Краснодарского водохранилища (0,028–0,056 мкг/дм³ в год) и для отдельных притоков (р. Белая, Пшеха и Пшиш), где интенсивность

изменений составляла $0,024\text{--}0,067\text{ мг/дм}^3$ в год. На остальных участках р. Кубани, ее дельтовых рукавов и притоков интенсивность изменений не превышала $0,020\text{ мг/дм}^3$ в год.

Для Cu статистически значимые убывающие тенденции обнаружены в 32 створах из 36. Интенсивность снижения концентраций в пределах бассейна р. Кубани изменялась в широких пределах от $0,054$ до $0,38\text{ мкг/дм}^3$ в год.

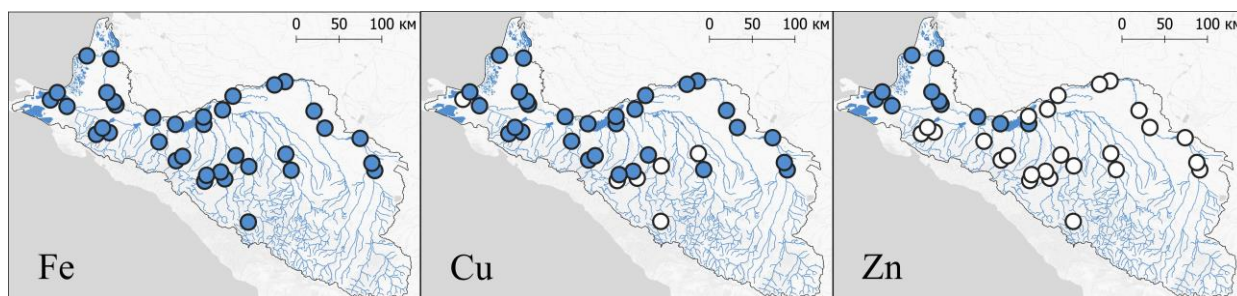


Рисунок 3.5 – Пространственное распределение тенденций изменчивости концентраций соединений металлов в бассейне р. Кубани за период 1990–2020 гг. (синим цветом отмечены статистически значимые ($p < 0,05$) тенденции уменьшения концентраций)

Содержание соединений Zn в воде рек бассейна Кубани статистически значимо уменьшалось в 11 створах из 36. Интенсивность изменений концентраций вещества изменялась в пределах $0,057\text{--}0,59\text{ мкг/дм}^3$ в год.

Таким образом, обнаруженные статистически значимые тенденции характеризуются снижением концентраций соединений металлов на подавляющем большинстве участков и отличаются меняющейся в широких пределах интенсивностью изменений.

Нефтепродукты

Во всех исследуемых створах за период 1990–2020 гг. концентрации нефтепродуктов статистически значимо снижались (таблица 3.6).

Интенсивность изменений на всех участках составляла 0,010–0,016 мг/дм³ в год, что свидетельствует о достаточно равномерном сокращении концентраций нефтепродуктов в водотоках бассейна р. Кубани.

Таблица 3.6 – Коэффициенты линейного тренда, характеризующие направленность и интенсивность изменений концентраций нефтепродуктов в воде рек бассейна Кубани (1990–2020 гг.)

Водный объект, пункт наблюдений	Расположение створа	Коэффициент линейного тренда, мг/дм ³ в год
По длине р. Кубани		
р. Кубань, г. Невинномысск	выше города	-0,016
	ниже города	-0,013
р. Кубань, г. Армавир	выше города	-0,013
	ниже города	-0,014
р. Кубань, г. Кропоткин	выше города	-0,012
	ниже города	-0,012
р. Кубань, ст-ца Ладожская	ниже станицы	-0,013
р. Кубань, г. Краснодар	выше города	-0,013
	ниже города	-0,013
р. Кубань, х. Тиховский	в черте хутора	-0,011
Дельтовые рукава р. Кубани		
рук. Петрушин, г. Темрюк	выше города	-0,011
	ниже города	-0,010
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	выше хутора	-0,011
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	выше города	-0,011
	ниже города	-0,011
рук. Протока, ст-ца Гривенская	в черте станицы	-0,013
рук. Протока, х. Слободка	нижу хутора	-0,011
Притоки р. Кубани		
р. Большой Зеленчук, г. Невинномысск	выше города	-0,014
р. Лаба, г. Лабинск	выше города	-0,012
	ниже города	-0,014
р. Лаба, х. Догужиев	выше хутора	-0,012
р. Белая, п. Гузерибль	выше поселка	-0,011
р. Белая, г. Майкоп	выше города	-0,014
	ниже города	-0,013
р. Белая, а. Адамий	в черте аула	-0,011
р. Пшеха, г. Апшеронск	выше города	-0,014
	ниже города	-0,015

Водный объект, пункт наблюдений	Расположение створа	Коэффициент линейного тренда, мг/дм ³ в год
р. Пшиш, г. Хадыженск	выше города	-0,013
	ниже города	-0,013
р. Пшиш, х. Фокин	ниже хутора	-0,013
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	выше города	-0,014
	ниже города	-0,011
р. Афипс, ст-ца Смоленская	ниже станицы	-0,013
р. Адагум, г. Крымск	выше города	-0,014
	ниже города	-0,016
р. Абин, г. Абинск	ниже города	-0,013
Примечание: синим цветом отмечены статистически значимые ($p < 0,05$) убывающие тенденции.		

Изменчивость качества речных вод

В исследованиях прошлых лет при изучении качества воды в бассейне Кубани была выявлена пространственно-временная неоднородность изменчивости загрязненности воды в бассейне р. Кубани [24, 30–33, 46, 52, 94, 96, 100, 108, 109, 111, 131]. Однако наибольшее внимание часто уделялось изменчивости качества воды по длине р. Кубани, в меньшей степени исследованы притоки и дельтовые рукава.

В пределах бассейна р. Кубани статистически значимые тенденции изменчивости качества поверхностных вод выявлены во всех рассматриваемых в работе створах. Изменчивость значений УКИЗВ по пятилетним периодам, представленная на рисунке 3.6, свидетельствует о снижении уровня загрязненности и стабилизации качества поверхностных вод на уровне 3 «а» и 3 «б» («загрязненная» и «очень загрязненная» соответственно).

По длине р. Кубани (от г. Невинномысска до х. Тиховского) наибольшие значения УКИЗВ во всех створах прослеживались в 1990-е гг. Значения показателя изменялись в широких пределах от 3,27 до 8,53 («загрязненная» – «очень грязная»). Чаще всего вода соответствовала 4-му классу качества разряды «а» и «б» («грязная»), что согласуется с [24, 46, 74, 93, 94].

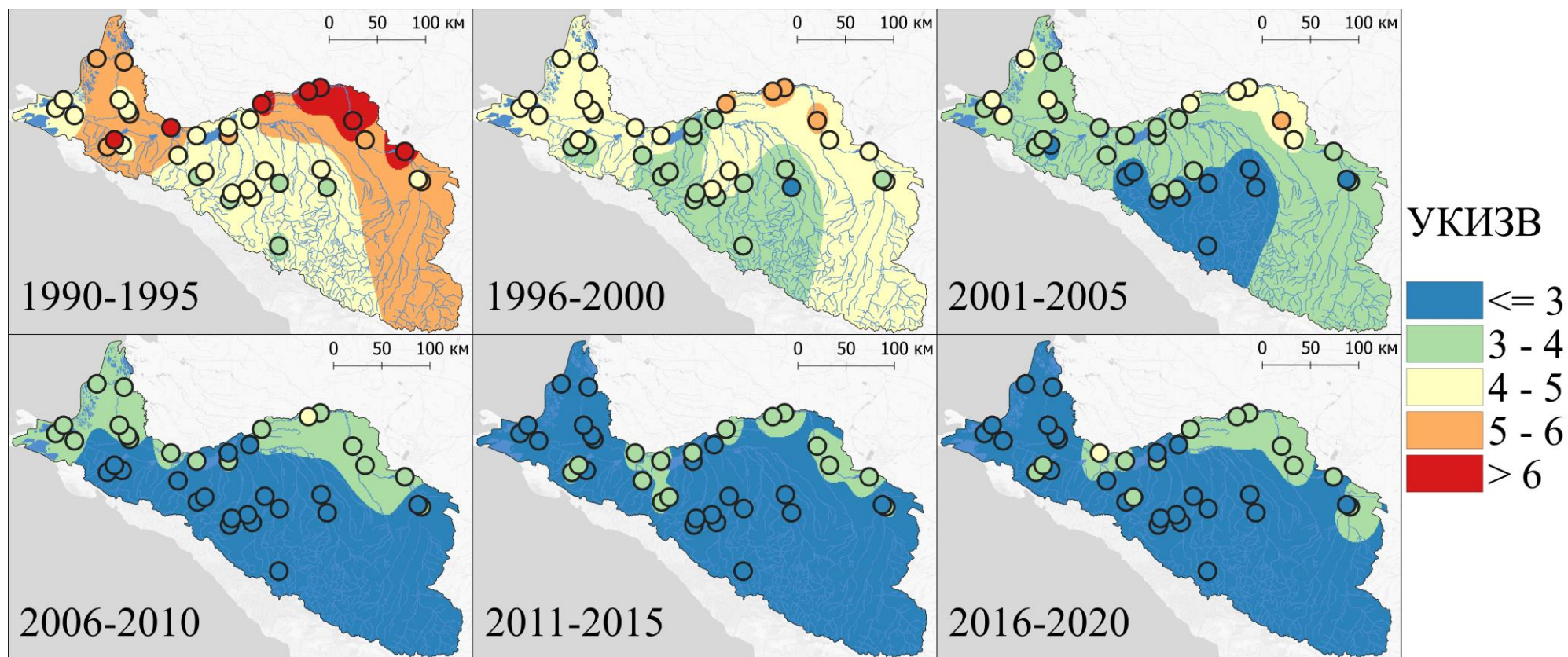


Рисунок 3.6 – Пространственно-временная изменчивость величин УКИЗВ в бассейне р. Кубани

Заметное снижение УКИЗВ наблюдалось в конце 1990-х – начале 2000-х гг. Соответственно, качество воды реки улучшилось, значения УКИЗВ варьировались от 2,32 до 6,43 («загрязненная» – «грязная»). В этот временной промежуток вода реки чаще всего соответствовала 3-му классу разряда «б» («очень загрязненная») [131].

Критическими показателями загрязненности воды для исследуемых участков были сульфаты, легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), нефтепродукты, нитритный азот, соединения железа, меди и цинка (таблица 3.7), что характерно и для притоков р. Кубани [52].

Таблица 3.7 – Критические показатели загрязненности воды р. Кубани (1990–2020 гг.)

Пункт наблюдений	Расположение створа	Критические показатели загрязненности (случаев КПЗ за период 1990–2020 гг.)
г. Невинномысск	выше города	Fe (9), нефтепродукты (3), N-NO ₂ ⁻ (2), Cu (1), Zn (2)
	ниже города	Fe (16), Cu (8), N-NO ₂ ⁻ (4), нефтепродукты (3)
г. Армавир	выше города	Fe (18), Cu (6), нефтепродукты (2), N-NO ₂ ⁻ (2)
	ниже города	Fe (17), Cu (12), нефтепродукты (2), N-NO ₂ ⁻ (2)
г. Кропоткин	выше города	Fe (14), Cu (8), SO ₄ ²⁻ (4), нефтепродукты (2), N-NO ₂ ⁻ (2)
	ниже города	Fe (15), Cu (9), SO ₄ ²⁻ (3), N-NO ₂ ⁻ (3), нефтепродукты (1), Zn (1)
ст-ца Ладожская	ниже станицы	Cu (15), Fe (12), SO ₄ ²⁻ (3), нефтепродукты (2), ОБ по БПК ₅ (1), Zn (1)
г. Краснодар	выше города	Cu (3), нефтепродукты (2)
	ниже города	N-NO ₂ ⁻ (4), Cu (3), ОБ по БПК ₅ (1), нефтепродукты (1)
х. Тиховский	в черте хутора	Нефтепродукты (2)

Вода дельтовых рукавов р. Кубани в 1990-е годы преимущественно относилась к 4-му классу разряда «а» («грязная»). Значения УКИЗВ изменялись от 3,45 до 6,49 («очень загрязненная» – «грязная»). В начале 2000-х гг. произошел переход класса качества воды от 4 «а» («грязная») до 3 «б» («очень загрязненная»). После 2010 г. качество воды дельтовых рукавов преимущественно

характеризовалось 3-м классом разряда «а» («загрязненная»). Величина УКИЗВ изменялась от 2,17 до 3,47. Критическими показателями загрязненности воды для исследуемого участка в отдельные годы были нефтепродукты, азот нитритный и соединения железа. В этот период в дельтовых рукавах при невысокой кратности превышения ПДК формировался низкий уровень загрязненности воды [130].

Для воды притоков Кубани (рр. Большой Зеленчук, Лаба, Белая, Пшеха, Пшиш, Псекупс, Афипс, Абин и Адагум) за период 1990–2020 гг. также прослеживалось снижение степени загрязненности. Наибольшие значения УКИЗВ наблюдались в 1990-е гг. Вода в эти годы часто соответствовала 4-му классу разрядов «а», «б» и «в» («грязная» и «очень грязная»), в последующие годы вода в реках преимущественно характеризовалась 3-м классом разрядов «а» и «б» («загрязненная» и «очень загрязненная» соответственно). В перечень критических показателей загрязненности воды притоков р. Кубани часто входили соединения меди и железа. Периодически наблюдалась высокая загрязненность воды нефтепродуктами, легкоокисляемыми органическими веществами, соединениями цинка и азота нитритного [52].

3.2 Изменчивость водного стока

При анализе изменчивости стока химических веществ важно учитывать динамику водного стока. Ведь именно последний является одним из ключевых факторов формирования стока веществ наряду с содержанием в воде компонентов химического состава. Чем больше водный сток, тем большее количество веществ может быть перенесено водотоком, и наоборот.

В дальнейшем расчеты и анализ химического стока проводились для меньшего количества речных участков по сравнению с пунктами наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши в связи с отсутствием достаточного объема гидрологических данных по отдельным гидрологическим постам. Поэтому, не претендуя на всесторонний анализ динамики водного стока в бассейне р. Кубани,

его расчет и оценка изменений осуществлялись по данным 14 гидрологических постов, представленных в таблице 3.8.

Изменчивость водного стока в рассматриваемых гидрологических постах преимущественно характеризовалась отсутствием статистически значимых тенденций. Только на трех участках рек за период 1990–2020 гг. водный сток статистически значимо сокращался: рук. Протока – г/п Славянск-на-Кубани, р. Пшиш – г/п Хадыженск и р. Псекупс – г/п Горячий Ключ.

Таблица 3.8 – Коэффициенты линейного тренда, характеризующие направленность и интенсивность изменений водного стока рек бассейна Кубани (1990–2020 гг.)

Водный объект, гидрологический пост	Коэффициент линейного тренда, км ³ в год	Водный объект, гидрологический пост	Коэффициент линейного тренда, км ³ в год
р. Кубань, г/п Армавир	-0,015	рук. Протока, г/п Слободка	-0,043
р. Кубань, г/п Ладожская	-0,011	р. Лаба, г/п Догужиев	-0,026
р. Кубань, г/п Пашковский	-0,077	р. Белая, г/п Гузерибль	0,002
р. Кубань, г/п Тиховский	-0,074	р. Белая, г/п Грозный	0,005
рук. Петрушин, г/п Темрюк	-0,021	р. Пшиш, г/п Хадыженск	-0,005
рук. Казачий Ерик, г/п Дубовый Рынок	-0,002	р. Псекупс, г/п Горячий Ключ	-0,008
рук. Протока, г/п Славянск-на-Кубани	-0,071	р. Адагум, г/п Крымск	-0,002
Примечание: статистически значимые ($p < 0,05$) тенденции уменьшения отмечены синим цветом.			

В таблице 3.9 показаны выделенные с помощью разностно-интегральных кривых контрастные периоды водного стока для участков, где были обнаружены статистически значимые тренды. Согласно полученным данным, на рассматриваемых участках произошло снижение водного стока на 24–38 %.

Таблица 3.9 – Водный сток в контрастные периоды на гидрологических постах р. Кубани и ее притоков

Выделенные периоды	Водный сток (W), км ³ /год	Относительные изменения средних значений W, %
рук. Протока – г/п Славянск-на-Кубани		
1990–2006 (I)	6,78±1,78	-24
2007–2020 (II)	5,15±1,13	
р. Пшиш – г/п Хадыженск		
1990–2004 (I)	0,341±0,114	-36
2005–2018 (II)	0,219±0,066	
р. Псекупс – г/п Горячий Ключ		
1990–2001 (I)	0,525±0,148	-38
2002–2020 (II)	0,323±0,152	

Как показала оценка возможных изменений водного стока р. Кубани, «величина стока воды Кубани в XXI в. будет определяться ростом температуры воздуха, изменением величины испарения и количества атмосферных осадков в регионе» [24, с. 168]. Питание в нижнем течении р. Кубани (г. Краснодар) смешанное. На долю дождевого источника питания приходится 38 % от годового стока, подземного – 36 %, снегового и ледникового – 26 % [24]. При этом, как было показано при исследовании водного баланса дельты р. Кубани, основная приходная часть уравнения водного баланса приходится на сток р. Кубани (около 70–75 %), вторая по значимости составляющая – атмосферные осадки, на долю которых приходится 16 % приходной части [77]. Реки Пшиш и Псекупс относятся к водотокам с преобладанием дождевого питания. На его долю приходится 70,5 и 89,7 % от годового стока на участках г. Хадыженск и г. Горячий Ключ

соответственно [74]. На рисунке 3.7 представлены изменения водного стока на отдельных гидрологических постах и динамика атмосферных осадков по данным [142]. Форма разностно-интегральных кривых свидетельствует о подобии многолетних колебаний водного стока и атмосферных осадков. Поэтому возможной причиной уменьшения водного стока на участках может выступать именно сокращение количества выпадающих осадков.

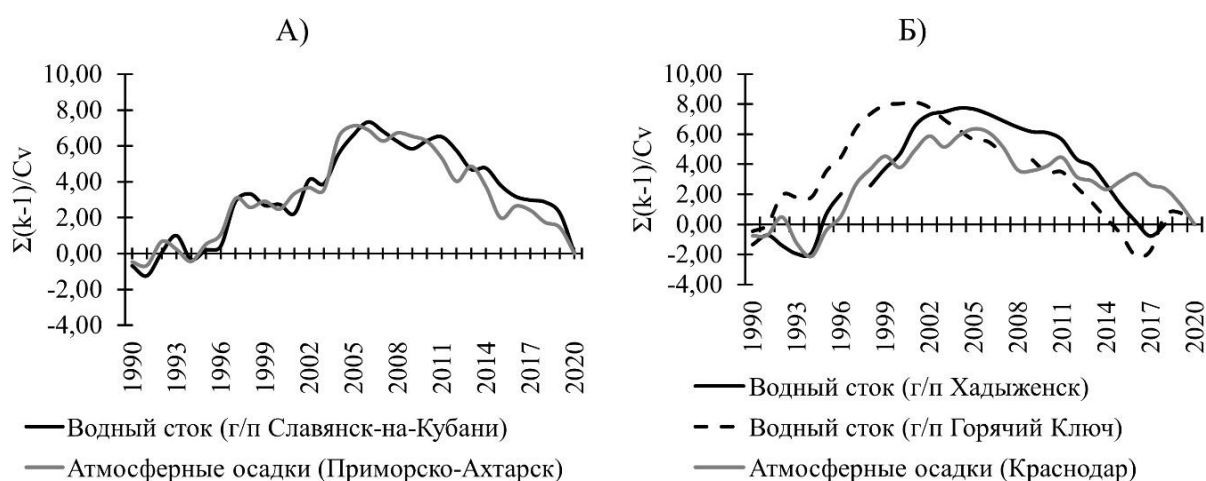


Рисунок 3.7 – Многолетние изменения водного стока в дельтовом рукаве Протока (А) и на участках притоков р. Кубани (Б), сопоставленные с динамикой атмосферных осадков в виде разностно-интегральных кривых

Таким образом, на участках рук. Протока – г/п Славянск-на-Кубани, р. Пшиш – г/п Хадыженск, р. Псекупс – г/п Горячий Ключ может происходить заметное уменьшение стока веществ из-за снижения водного стока.

Выводы

Выполнен анализ тенденций изменчивости химического состава и качества речных вод в бассейне Кубани. Показано, что за период 1990–2020 гг. происходили разнонаправленные статистически значимые изменения концентраций компонентов в поверхностных водах рек бассейна Кубани.

Статистически значимые тенденции были выявлены в 50 % случаев. Большинство выявленных трендов (81 %) характеризовались как убывающие. Это

косвенно свидетельствует о снижении антропогенного воздействия в бассейне р. Кубани в исследуемый период. Обнаруженные статистически значимые тенденции отличаются меняющейся в широких пределах интенсивностью изменений.

Статистически значимые изменения минерализации воды, концентраций отдельных главных ионов, органических веществ, азота нитритного, азота нитратного и соединений цинка носили в большей степени локальный характер. Статистически значимые изменения содержания азота аммонийного, соединений железа, меди и нефтепродуктов, напротив, отмечались в подавляющем большинстве створов. Кроме того, в пределах бассейна р. Кубани на изменчивость химического состава речных вод может оказывать воздействие поступление веществ от урбанизированных территорий. Влияние крупных населенных пунктов, по-видимому, проявляется на водотоках с низкой способностью к самоочищению. Этот аспект необходимо учитывать при расчете химического стока. При этом рассмотрение влияния урбанизированных территорий на перенос веществ может стать отдельной задачей для будущих исследований.

Комплексная оценка качества воды в бассейне р. Кубани свидетельствует о снижении уровня загрязненности и стабилизации качества воды в среднем на уровне 3 «а» и 3 «б» («загрязненная» и «очень загрязненная» соответственно).

Изменчивость водного стока на отдельных участках водотоков р. Кубани преимущественно характеризовалась отсутствием статистически значимых тенденций.

4 ХИМИЧЕСКИЙ СТОК РЕК БАССЕЙНА КУБАНИ

4.1 Тенденции многолетней и сезонной изменчивости химического стока в бассейне р. Кубани

На основе данных государственной наблюдательной сети Росгидромета о химическом составе и расходах воды были рассчитаны многолетние и сезонные значения ионного стока, стока органических и биогенных веществ, соединений металлов и нефтепродуктов за период 1990–2020 гг. Для расчета сезонных значений стока веществ использовались данные пунктов наблюдений с достаточной для этого внутригодовой информацией.

Тенденции изменчивости химического стока определялись с помощью коэффициента ранговой корреляции Кендалла. За критический уровень статистической значимости принимали 5 % ($p = 0,05$).

Для анализа многолетней и сезонной изменчивости стока веществ сравнивались выделенные с помощью разностно-интегральных кривых контрастные (характерные) периоды. Для подтверждения корректности выделения периодов проводилась оценка статистически значимых отличий среднемноголетних значений с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни. Различия считались значимыми при $p < 0,05$. Всего было построено и проанализировано более 100 разностно-интегральных кривых.

В разделе обобщается информация о стоке веществ и проводится анализ временной изменчивости за период 1990–2020 гг.

Ионный сток

Под ионным стоком понимается «количество главных ионов химического состава воды, стекающих с поверхностным и подземным водным стоком с водосбора водотока или водоема за определенный промежуток времени (сутки, месяц, сезон, год или любой другой)» [42, с. 84]. «Ионный сток является

важнейшей геохимической характеристикой, описывающей эрозионные и аккумулятивные процессы на земной поверхности» [92, с. 221]. Помимо этого, «оценка структуры и величины изменений ионного стока для отдельных речных бассейнов, имеющих различную степень интенсивности развития промышленности, сельского хозяйства, орошения, позволяет определить направленность формирования химического состава воды в условиях антропогенного воздействия» [110, с. 130].

На основе данных о концентрациях главных ионов и объемах водного стока был рассчитан ионный сток для 16 пунктов наблюдений за период 1990–2020 гг. и определены тенденции его изменчивости (таблица 4.1).

В бассейне р. Кубани значения ИС изменялись в широких пределах. По длине р. Кубани от пункта наблюдений г. Армавир до х. Тиховского ионный сток последовательно увеличивался, достигая наибольших значений в нижнем течении (4673 тыс. т/год). Через дельтовые рукава р. Кубани (рук. Петрушин и рук. Протока) в среднем в Азовское море суммарно выносилось 4706 тыс. т/год главных ионов.

Таблица 4.1 – Изменчивость ионного стока рек бассейна Кубани за период 1990–2020 гг. [53]

Водный объект, пункт наблюдений	Ионный сток, тыс. т/год*	Коэффициент корреляции Кендалла
По длине р. Кубани		
р. Кубань, г. Армавир	522–3016	–
	1766	
р. Кубань, ст-ца Ладожская	818–4489	–
	2558	
р. Кубань, г. Краснодар	1975–6116	-0,28
	3864	
р. Кубань, х. Тиховский	3132–7805	–
	4673	
Дельтовые рукава р. Кубани		
рук. Петрушин, г. Темрюк	1207–3299	–
	2114	

Водный объект, пункт наблюдений	Ионный сток, тыс. т/год*	Коэффициент корреляции Кендалла
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	10,7–215	–
	90,7	
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	818–3836	-0,25
	2191	
рук. Протока, х. Слободка	1459–4679	-0,50
	2592	
Притоки р. Кубани		
р. Лаба, х. Догужиев	474–1926	–
	1215	
р. Белая, пос. Гузерипль	47,9–176	–
	85,9	
р. Белая, г. Майкоп	132–445	–
	283	
р. Пшеха, г. Апшеронск	66,1–274	н.д.
	170	
р. Пшиш, г. Хадыженск	19,7– 87,2	-0,29
	44,0	
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	42,0–220	-0,30
	117	
р. Афипс, ст-ца Смоленская	35,9–90,2	н.д.
	59,6	
р. Адагум, г. Крымск	1,98–99,0	–
	45,6	
Примечания: *в числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее; синим цветом отмечены статистически значимые ($p < 0,05$) величины коэффициента ранговой корреляции Кендалла, характеризующие убывающие тенденции; прочерк – корреляционная связь статистически незначима ($p > 0,05$); н.д. – недостаточно данных для оценки тенденции.		

Среди изученных притоков р. Кубани наибольшие величины ИС характерны для пр. Лабы и Белой. Среднемноголетний сток суммы главных ионов в пунктах наблюдений р. Лаба – х. Догужиев и р. Белая – г. Майкоп составлял 1215 и 283 тыс. т/год соответственно. Среднегодовые величины ИС остальных рек изменялись от 44,0 до 170 тыс. т/год. Такие сравнительно небольшие значения обусловлены низкой водоносностью рассматриваемых рек.

Статистически значимыми тенденциями являются изменения ИС только на пяти участках: р. Кубань – г. Краснодар, рук. Протока – г. Славянск-на-Кубани, рук. Протока – х. Слободка, р. Пшиш – г. Хадыженск и р. Псекупс – г. Горячий Ключ.

Для исследуемых участков водотоков, для которых прослеживались статистически значимые убывающие тенденции ИС, на основе метода разностно-интегральных кривых выделены контрастные (характерные) периоды изменений значений ионного стока (таблица 4.2). Для всех пяти участков исследуемый общий период разделился на два характерных периода повышенных или пониженных значений ИС относительно среднеголетних значений. При проверке гипотезы о принадлежности двух сравниваемых выборок значений ИС к одной и той же генеральной совокупности с помощью U-критерия Манна-Уитни установлены статистически значимые отличия сравниваемых периодов ($p < 0,05$).

Впервые рассчитанный О. А. Алекиным вынос р. Кубанью главных ионов за период 1936–1941 гг. оценивался в 1948,3 тыс. т/год [2]. Позже значения были уточнены В. Я. Еременко и др. Оценка проводилась на основе данных 1940–1950 гг. Подсчитано, что р. Кубань выносила в Азовское море в среднем 3,8 млн т/год растворенных минеральных веществ [41]. С 1981 по 2000 г. отмечалось последовательное увеличение ионного стока по пятилетним периодам в нижнем течении р. Кубани от 3200 до 5150 тыс. т/год [63]. За период с 1990 по 2020 гг. наблюдается статистически значимое сокращение ИС р. Кубани в районе г. Краснодара (от 4307 ± 944 до 3327 ± 633 тыс. т/год) и по течению рук. Протока в пунктах наблюдений г. Славянск-на-Кубани и х. Слободка от 2483 ± 637 до 1836 ± 388 тыс. т/год и от 3036 ± 674 до 2053 ± 365 тыс. т/год соответственно (таблица 4.2).

При этом для этих трех участков получены одинаковые временные интервалы, относящиеся к базовому (I) и современному (II) периодам: 1990–2006 гг. и 2007–2020 гг. Здесь произошло синхронное снижение ИС на 23–32 %, вместе с тем водный сток уменьшился на 14–24 %. Особенности многолетних колебаний указывают на наличие общих причин происходящих изменений,

которые, по всей видимости, связаны с уменьшением водного стока на фоне происходящих климатических колебаний и изменений в хозяйственной деятельности.

Таблица 4.2 – Изменчивость ионного ($G_{ис}$) и водного (W) стока в контрастные периоды на отдельных участках бассейна р. Кубани

Выделенные периоды	Ионный сток	Водный сток	Относительные изменения средних значений, %	
	тыс. т/год	км ³ /год	$G_{ис}$	W
р. Кубань – г. Краснодар				
1990–2006 (I)	4307±944	13,0±2,78	-23	-14
2007–2020 (II)	3327±633	11,2±1,80		
рук. Протока – г. Славянск-на-Кубани				
1990–2006 (I)	2483±637	6,78±1,78	-26	-24
2007–2020 (II)	1836±388	5,15±1,13		
рук. Протока – х. Слободка				
1990–2006 (I)	3036±674	6,29±1,60	-32	-20
2007–2020 (II)	2053±365	5,04±0,82		
р. Пшиш – г. Хадыженск				
1990–2005 (I)	51,8±16,7	0,34±0,11	-32	-38
2006–2018 (II)	35,0±10,6	0,21±0,066		
р. Псекупс – г. Горячий Ключ				
1990–1999 (I)	153±41,9	0,55±0,15	-35	-40
2000–2020 (II)	99,4±38,0	0,33±0,15		

Изменение ионного стока р. Кубани под влиянием антропогенных факторов прослежено в работе А. М. Бронфмана и Е. П. Хлебникова [14]. Для реки антропогенная трансформация ионного стока и выноса химических веществ проявляется «в резком росте концентрации ионов щелочных металлов (более чем на 140 %), SO_4^{2-} (на 70 %) и Cl^- (на 25 %), характерных для коммунальных, промышленных и агротехнических стоков» [14, с. 30]. Значительное влияние, по

мнению авторов, оказывает широкое применение в бассейне р. Кубани в качестве минеральных удобрений сульфата аммония и хлористых солей калия [14]. Авторы отмечают, что значительное изменение ионного стока наблюдается в устьевой части р. Кубани за счет поступления в эту часть реки сточных вод г. Краснодара и коллекторно-дренажных сбросов рисовых оросительных систем. В связи с ростом безвозвратного воздействия ионный сток р. Кубани на период исследования уменьшился [14].

Статистически значимые изменения ИС притоков обнаружены на двух участках: р. Пшиш – г. Хадыженск и р. Псекупс – г. Горячий Ключ. Сравнение контрастных периодов показало снижение ИС в пункте наблюдений р. Пшиш – г. Хадыженск от $51,8 \pm 16,7$ до $35,0 \pm 10,6$ (-32 %) и от $153 \pm 41,9$ до $99,4 \pm 38,0$ (-35 %) на участке р. Псекупс – г. Горячий Ключ. Отсутствие статистически значимых трендов уменьшения минерализации воды указывает на снижение ИС вследствие изменения водного стока, что подтверждается данными из таблицы 4.2.

В связи с тем, что чаще всего водный сток более изменчив в течение года, чем минерализация воды, ионный сток рек в основном повторяет ход гидрографа [3]. Так, при рассмотрении сезонного распределения стока растворенных веществ по рукавам дельты Кубани было показано, что в среднемноголетнем отношении (за период 2008–2018 гг.) даже сток загрязняющих веществ соответствовал изменению водности в основные сезоны года [130]. Поэтому для того, чтобы проследить, как сезонный сток суммы главных ионов изменяется при смене характерных фаз, был рассчитан среднемесячный ионный сток и его относительные изменения по сезонам для выделенных ранее периодов. Результаты представлены в таблице 4.3.

В бассейне р. Кубани водный сток определяет внутригодовую изменчивость стока веществ. По длине р. Кубани, ее дельтовых рукавов и рр. Лабы и Белой наибольшие значения ИС прослеживаются весной и летом. Таким же образом характеризуется распределение водного стока по сезонам на этих водотоках. На весеннее время приходится 26,6–39,9 %, на летнее – 25,0–49,5 % годового водного стока [74].

Таблица 4.3 – Сезонная изменчивость ионного стока на отдельных участках бассейна р. Кубани в контрастные периоды

Водный объект, пункт наблюдений	Выделенные периоды	Среднемесячные значения ионного стока, тыс. т/месяц			
		Зима	Весна	Лето	Осень
рук. Протока, г. Славянск-на- Кубани	1990–2006 (I)	168±86,6	281±96,1	238±102	190±119
	2007–2020 (II)	124±64,7	215±85,9	206±79,1	108±65,7
	%*	-26	-23	-13	-43
рук. Протока, х. Слободка	1990–2006 (I)	207±82,8	312±97,1	312±95,1	221±132
	2007–2020 (II)	155±32,8	210±55,5	210±62,4	127±35,8
	%	-25	-33	-33	-43
р. Пшиш, г. Хадыженск	1990–2005 (I)	5,49±2,49	4,05±2,80	2,33±5,51	2,78±2,58
	2006–2018 (II)	3,54±2,00	2,08±1,66	0,620±0,660	3,76±6,88
	%	-36	-49	-73	+35
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	1990–1999 (I)	21,1±10,3	12,3±7,27	4,60±7,87	7,26±7,93
	2000–2020 (II)	14,7±7,29	8,04±6,24	2,85±2,35	4,43±3,63
	%	-30	-35	-38	-39
Примечание: *относительные изменения средних значений.					

Для рек Пшиш, Псекупс и Адагум характерны высокие значения водного стока в зимнее время: 42, 52, 55 % годового водного стока соответственно, по данным [74]. Это обуславливает наибольшие значения ИС в зимний сезон.

Обращает на себя внимание снижение ионного стока в осенний период на 43 % в пунктах наблюдений рук. Протока – г. Славянск-на-Кубани и рук. Протока – х. Слободка. Косвенно это обстоятельство указывает на существенное влияние сельскохозяйственной деятельности (режим орошения риса) на ионный сток. Река Кубань в нижнем течении и ее дельтовые рукава (особенно рук. Протока) подвержены существенному загрязнению за счет коллекторно-дренажных вод и диффузного стока с полей рисосеяния [100]. В работах Э. А. Кобилевой и

М. Н. Тарасова по изучению гидрохимического режима коллекторных вод Петровско-Анастасиевской оросительной системы было показано, что в коллекторах со временем происходит постепенное снижение минерализации воды, что объясняется постепенным вымыванием солей, содержащихся в почвах и подстилающих породах. Кроме того, авторами установлено, что в течение года минерализация воды в коллекторах существенно изменяется: летом она имеет минимальные значения, в осенне-зимний период – максимальные [48, 49].

На участке р. Пшиш – г. Хадыженск относительно первого периода (I) произошло снижение ИС в зимний, весенний и летний сезоны на 36–73 %. Из-за крупного паводка 2018 г. среднемесячное значение ионного стока увеличилось на 35 % в осенний сезон. При исключении выброса из выборки среднемесячное значение ИС составит $1,98 \pm 2,55$ тыс. т/месяц, что меньше значения ИС в базовый период (I) на 29 %.

В пункте наблюдений р. Псекупс – г. Горячий Ключ ионный сток достаточно равномерно снизился во все сезоны на 30–39 %.

Таким образом, направленность сезонных изменений ионного стока соответствовала многолетней динамике: на участках происходило снижение стока веществ во все сезоны года.

Как показывают данные о структуре ионного стока в бассейне р. Кубани, полученные из литературных источников [2, 3] и рассчитанные за период 1990–2020 гг., доля отдельных главных ионов может колебаться в широких пределах. Обычно на исследуемых участках в структуре ИС из анионов преобладали гидрокарбонаты, из катионов – кальций. При этом содержание HCO_3^- в поверхностных водах, как правило, определяется природными процессами и карбонатно-кальциевым равновесием. Даже при интенсивном антропогенном воздействии содержание HCO_3^- может оставаться неизменным. Однако некоторые исследования показывают, что глобальное потепление, добыча полезных ископаемых, внесение удобрений, известкование почв и т. д. могут оказывать влияние на сток HCO_3^- [166]. Так или иначе, HCO_3^- из-за своей относительной стабильности используются в качестве «реперного» компонента при расчете

антропогенной составляющей стока главных ионов [78, 79] и для установления начального момента нарушения гидрохимического режима рек [51]. При этом из техногенных источников в водотоки и водоемы интенсивнее всего выносятся Cl^- , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ [79], которые в структуре ИС рек бассейна Кубани обычно занимают 2–11 % и 2–16 % соответственно (за период 1990–2020 гг.). По всей видимости, при стабильной временной динамике ионного стока могут происходить заметные изменения в его структуре. В связи с этим целесообразно рассмотреть направленность изменений не только ионного стока в целом, но и динамику стока отдельных главных ионов. Для этого определялись статистически значимые тенденции изменчивости стока отдельных главных ионов для пунктов наблюдений, которые расположены по длине р. Кубани, ее дельтовых рукавов и притоков (таблица 4.4) [54].

В динамике стока главных ионов было выявлено 27 статистически значимых тенденций, которые преимущественно (85 %) носили характер убывающей линейной зависимости.

Как среди анионов, так и в общем среди всех главных ионов динамика стока Ca^{2+} характеризовалась наибольшим количеством статистически значимых трендов. На 8 участках наблюдались тенденции уменьшения стока вещества, в пункте наблюдений р. Белая – п. Гузерибль – увеличения. В остальных случаях статистически значимые тенденции обнаружены не были.

Кроме того, наиболее изменчивым за период 1990–2020 гг. среди анионов был сток Cl^- . Всего обнаружено 6 статистически значимых тенденций уменьшения стока.

Часто обнаруживались статистически значимые тенденции для стока SO_4^{2-} (5 пунктов наблюдений). На участке р. Белая – п. Гузерибль происходил рост стока вещества. В остальных случаях наблюдалось уменьшение стока.

Таблица 4.4 – Коэффициенты корреляции Кендалла, характеризующие тенденции изменчивости стока главных ионов рек бассейна Кубани (1990–2020 гг.) [54]

Водный объект, пункт наблюдений	Коэффициент корреляции					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
По длине р. Кубани						
р. Кубань, ст-ца Ладожская	–	–	–	–	–	-0,36
р. Кубань, г. Краснодар	-0,30	-0,34	–	–	-0,40	-0,45
р. Кубань, х. Тиховский	-0,45	–	0,39	–	–	–
Дельтовые рукава р. Кубани						
рук. Петрушин, г. Темрюк	-0,60	–	–	–	–	-0,48
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	-0,32	–	–	–	–	–
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	-0,60	–	–	–	–	-0,37
рук. Протока, х. Слободка	-0,61	-0,42	-0,28	-0,28	-0,38	-0,77
Притоки р. Кубани						
р. Лаба, х. Догужиев	–	–	–	–	–	-0,31
р. Белая, п. Гузерибль	0,26	0,35	–	–	0,34	–
р. Пшиш, г. Хадыженск	-0,35	–	–	–	-0,35	–
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	-0,33	–	–	-0,28	-0,42	–
Примечания: статистически значимые ($p < 0,05$) величины коэффициента ранговой корреляции Кендалла отмечены цветом: синий – убывающая тенденция, красный – возрастающая тенденция; прочерк – корреляционная связь статистически незначима ($p > 0,05$).						

В большинстве случаев выявлено отсутствие статистически значимых тенденций стока Mg²⁺, Na⁺ + K⁺ и HCO₃⁻. Для стока ионов Mg²⁺ выявлено всего три статистически значимых тенденции (два убывающих тренда в пунктах наблюдений р. Кубани – г. Краснодар и рук. Протока – х. Слободка и один возрастающий на участке р. Белая – п. Гузерибль). Статистически значимые тенденции стока Na⁺ + K⁺ обнаружены только в двух пунктах наблюдений: р. Кубань – х. Тиховский (тенденция увеличения) и рук. Протока – х. Слободка (тенденция уменьшения). Сток HCO₃⁻ статистически значимо сокращался в двух пунктах наблюдений: рук. Протока – х. Слободка и р. Псекупс – г. Горячий Ключ.

Наибольшая изменчивость отдельных элементов ИС прослеживалась на участке рук. Протока – х. Слободка. В данном пункте наблюдений обнаружены статистически значимые тенденции уменьшения всех главных ионов. Как уже отмечалось, р. Кубань в нижнем течении и ее дельтовые рукава (особенно рук. Протока) подвержены существенному антропогенному воздействию. Так, по сравнению с условно фоновым периодом химический состав воды в дельтовых рукавах значительно трансформировался [24]. Но «в многоводные 1987–2005 гг. и на фоне снижения масштабов хозяйственной деятельности в бассейне реки и дельте отмечено небольшое уменьшение среднего содержания главных ионов» [24, с. 548].

Сравнение выделенных с помощью разностно-интегральных кривых периодов (таблица 4.5) показало, что в пункте наблюдений рук. Протока – х. Слободка сток отдельных главных ионов снизился на 27–53 %.

Таблица 4.5 – Изменчивость стока главных ионов на участке рук. Протока – х. Слободка

Составляющие ионного стока	Выделенные периоды	Среднегодовое значение стока иона (G, тыс. т/год)	Относительные изменения средних значений, %	
			G	W
Ca ²⁺	1990–2006 (I)	329±65,7	-53	-20
	2007–2020 (II)	153±50,5		
Mg ²⁺	1990–2005 (I)	117±20,4	-28	-17
	2006–2020 (II)	84±14,7		
Na ⁺ + K ⁺	1990–2011 (I)	447±139	-27	-24
	2012–2020 (II)	326±54,7		
HCO ₃ ⁻	1990–2011 (I)	835±188	-31	-24
	2012–2020 (II)	579±89,3		
SO ₄ ²⁻	1990–2006 (I)	903±282	-32	-20
	2007–2020 (II)	616±97,0		
Cl ⁻	1990–2004 (I)	396±98,7	-49	-12
	2005–2020 (II)	202±52,1		

Продолжительность выделенных временных интервалов стока Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ и Cl⁻ преимущественно совпадали. В среднем значительное снижение

данных компонентов отмечено после 2005 года. Существенное уменьшение стока $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и HCO_3^- наблюдалось после 2011 года и было обусловлено снижением водного стока.

Для того чтобы проследить, как сезонный сток главных ионов на участке рук. Протока – х. Слободка изменился при смене контрастных фаз, были рассчитаны относительные изменения среднемесячных значений выноса отдельных элементов ионного стока (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Сезонная изменчивость главных ионов на участке рук. Протока – х. Слободка в контрастные периоды

Составляющие ионного стока	Выделенные периоды	Среднемесячные значения стока главных ионов, тыс. т/месяц			
		Зима	Весна	Лето	Осень
Ca^{2+}	1990–2006 (I)	23,9±12,4	35,4±12,0	32,7±11,4	23,0±12,1
	2007–2020 (II)	11,1±4,38	14,9±5,72	16,0±6,69	10,3±3,32
	%*	-54	-58	-51	-55
Mg^{2+}	1990–2005 (I)	9,25±4,60	12,1±3,94	11,5±4,53	7,23±3,36
	2006–2020 (II)	6,31±1,71	8,59±3,02	8,57±2,85	5,21±1,70
	%	-32	-29	-25	-28
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	1990–2011 (I)	27,5±10,4	43,9±19,5	47,8±18,4	33,0±26,1
	2012–2020 (II)	26,7±6,71	34,4±7,86	32,4±12,0	20,3±9,19
	%	-3	-22	-32	-38
HCO_3^-	1990–2011 (I)	59,2±22,3	89,1±34,0	84,4±29,3	54,7±27,1
	2012–2020 (II)	45,0±10,9	59,7±19,4	59,1±17,5	37,9±12,5
	%	-24	-33	-30	-31
SO_4^{2-}	1990–2006 (I)	59,5±23,8	88,1±32,2	92,6±34,9	71,8±51,8
	2007–2020 (II)	45,3±10,5	61,8±14,0	63,9±18,1	39,5±9,82
	%	-24	-30	-31	-45
Cl^-	1990–2004 (I)	24,7±16,5	36,9±19,3	42,0±17,3	26,6±15,9
	2005–2020 (II)	13,9±4,48	21,1±8,78	20,2±6,64	12,0±3,43
	%	-44	-43	-52	-55

Примечание: *относительные изменения средних значений.

Направленность сезонных изменений стока главных ионов на рассматриваемом участке соответствовала многолетней динамике.

Среди отдельных главных ионов наиболее существенные изменения произошли в сезонном стоке Ca^{2+} и Cl^- . Сток компонентов снизился на 51–58 % и 43–55 % соответственно. Кроме того, в осенний период заметно сократился вынос $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и SO_4^{2-} .

В общей сложности во втором периоде (II) по сравнению с первым (I) наблюдалось уменьшение стока всех компонентов во все сезоны (на 3–58 %).

Таким образом, показано, что при достаточно стабильной временной динамике ионного стока в пределах бассейна р. Кубани происходят заметные изменения в стоке отдельных его компонентов (особенно Ca^{2+} и Cl^-).

В итоге анализ разностно-интегральных кривых позволил выделить характерные периоды стока веществ разной продолжительности для отдельных участков рек бассейна Кубани. Считается, что «при значительном воздействии антропогенных факторов должно иметь место нарушение однородности данных по стоку химических веществ» [51, с. 60]. Однако нарушение однородности данных может быть вызвано, в том числе, причинами, не связанными с загрязнением водотоков.

Разделить химический сток естественного и техногенного происхождения – достаточно сложная задача [61]. Для этого используются разнообразные методы расчета антропогенной составляющей речного стока. У каждого из методов имеются свои недостатки или часто отсутствует необходимая информация для расчетов. Помимо этого, невозможно установить, какой из подходов более достоверен [61].

На практике антропогенная составляющая химического стока оценивается методом «гидрохимического фона» и методом М. П. Максимовой (метод «реперных» компонентов) [50, 61, 78]. В первом случае необходимо наличие информации за условно фоновый период, которая может отсутствовать из-за начала наблюдений только в период активной хозяйственной деятельности.

Второй подход позволяет рассчитать изменение антропогенной составляющей стока главных ионов, биогенных веществ и тяжелых металлов даже при отсутствии данных за условно фоновый период, однако требует сведений о стоке «реперных» компонентов – гидрокарбонатов, кремния и свинца соответственно [78].

Достаточно достоверно оценить антропогенную составляющую стока веществ в бассейне р. Кубани представляется возможным только для ионного стока и его элементов. За условно фоновый период принят временной промежуток 1938–1960 гг. Сведения, необходимые для расчета АС, были взяты из публикаций [2, 3] и госфонда данных ФГБУ «ГХИ».

Е. В. Посохов, рассматривая химическую эволюцию гидросферы со времени ее становления до современной эпохи, отмечает, что под действием антропогенного фактора «нарушается нормальный ход эволюционного процесса и могут произойти совершенно неожиданные изменения в гидросфере» [116, с. 271]. Он приводит данные ориентировочных подсчетов, по которым «антропогенная часть речного стока с 7 % в 1957 г. возрастет к 2000 г. до 30 %» [116, с. 271], причем поступление сульфатных ионов будет удваиваться каждые 15 лет [116].

Ранее на примере р. Лабы было показано, что «общая направленность на снижение водного и ионного стока, а также снижение АС стока отдельных ионов указывает на преимущественно природный (естественный) характер формирования ионного стока и отсутствие значимого антропогенного воздействия» [129, с. 21]. В среднем за период 1990–2020 гг. в бассейне р. Кубани антропогенная компонента ионного стока была ниже природной (таблица 4.7). На участках притоков антропогенная составляющая часто была не сформирована.

Среди отдельных элементов ионного стока наибольшая антропогенная доля сформирована на участках р. Кубани для Mg^{2+} , $Na^{+} + K^{+}$ и SO_4^{2-} . Кроме того, значительная доля антропогенной составляющей отмечается в стоке $Na^{+} + K^{+}$ на участке р. Адагум – г. Крымск.

Полученные величины антропогенной составляющей стока веществ достаточно условны по многим причинам. Однако рассмотрение динамики

значений АС позволяет судить о направленности изменений, вызванных хозяйственной деятельностью.

Таблица 4.7 – Доля антропогенной составляющей в стоке веществ рек бассейна Кубани в среднем за период 1990–2020 гг., %

Водный объект, пункт наблюдений	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ионный сток
р. Кубань, г. Армавир	$\frac{=}{0,1}$	$\frac{32}{43}$	$\frac{38}{48}$	$\frac{30}{41}$	$\frac{23}{36}$	$\frac{14}{28}$
р. Кубань, г. Краснодар	$\frac{6}{7}$	$\frac{32}{33}$	$\frac{35}{38}$	$\frac{40}{41}$	$\frac{29}{30}$	$\frac{17}{19}$
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	–	$\frac{36}{41}$	$\frac{74}{76}$	$\frac{55}{58}$	$\frac{69}{71}$	$\frac{29}{35}$
р. Лаба, х. Догужиев	$\frac{13}{9}$	$\frac{7}{3}$	$\frac{15}{15}$	$\frac{23}{20}$	$\frac{36}{33}$	$\frac{13}{10}$
р. Белая, г. Майкоп	–	–	–	–	$\frac{25}{31}$	-
р. Пшиш, г. Хадыженск	$\frac{5}{7}$	–	–	–	–	-
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	$\frac{9}{8}$	–	–	–	–	-
р. Адагум, г. Крымск	$\frac{6}{-}$	–	$\frac{55}{51}$	$\frac{26}{18}$	$\frac{16}{8}$	$\frac{14}{6}$

Примечания:
 1. В числителе – доля антропогенной составляющей в стоке веществ, определенная по методу «гидрохимического фона», в знаменателе – по методу «реперных» компонентов.
 2. Прочерк означает, что антропогенная составляющая стока данного вещества не сформирована.

Ранее для участков р. Кубани, ее притоков и рукавов дельты были выделены контрастные периоды стока веществ. Для этих же участков и периодов рассчитаны величины антропогенной составляющей ионного стока и его отдельных элементов (рисунки 4.1–4.5).

Согласно полученным данным, изменчивость стока главных ионов вызвана в том числе снижением антропогенной составляющей.

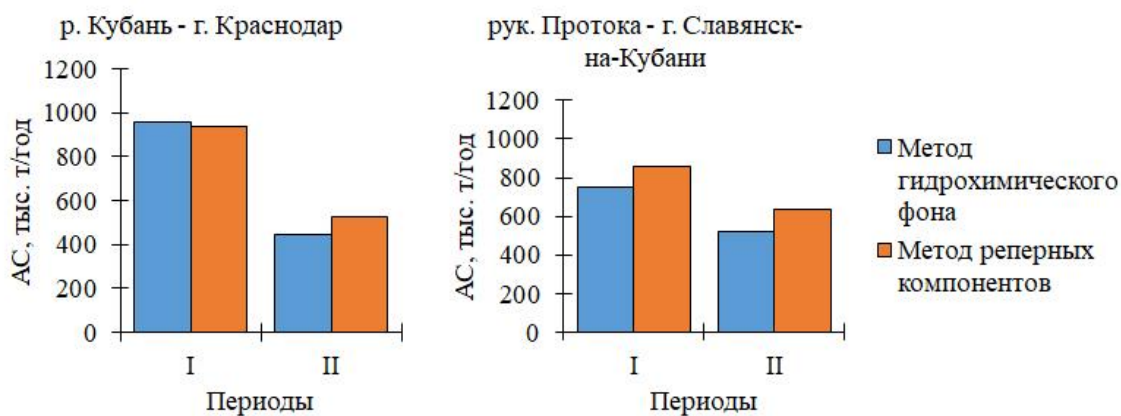


Рисунок 4.1 – Антропогенная составляющая (АС) ионного стока в контрастные периоды в нижнем течении р. Кубани и дельтовом рукаве Протока

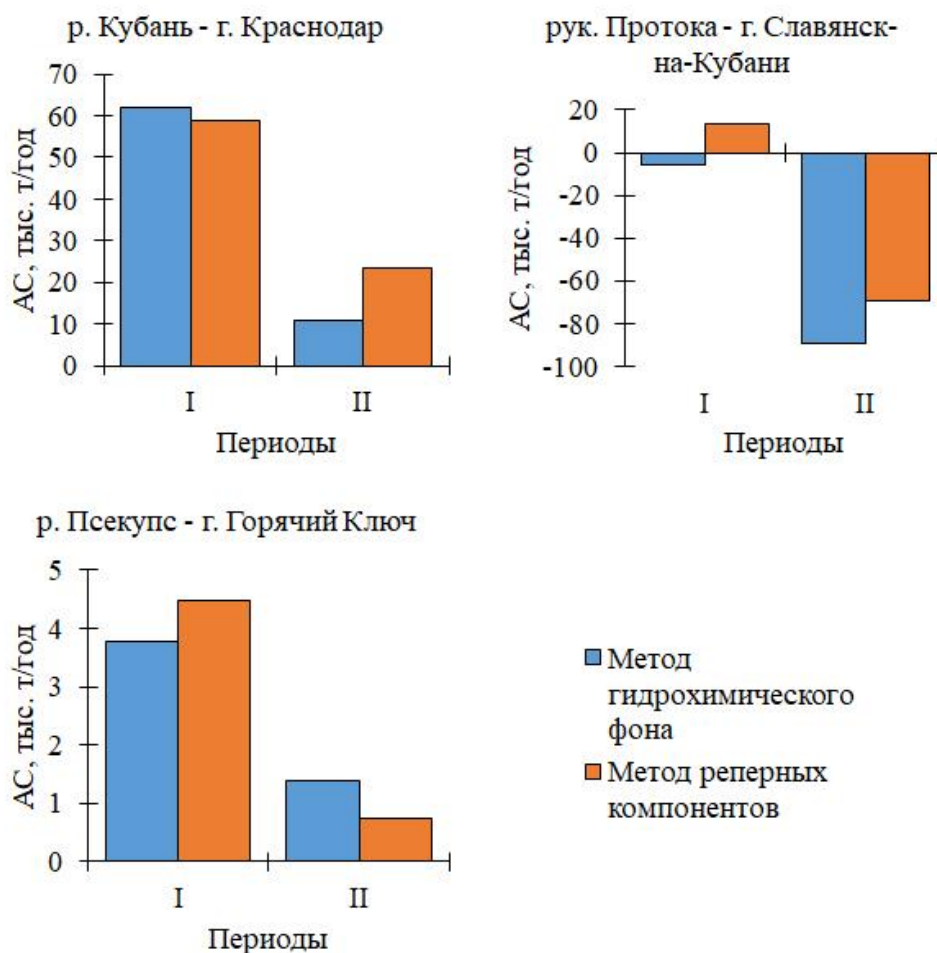


Рисунок 4.2 – Антропогенная составляющая (АС) стока Ca^{2+} в контрастные периоды в нижнем течении р. Кубани, дельтовом рукаве Протока и на участке р. Псекупс

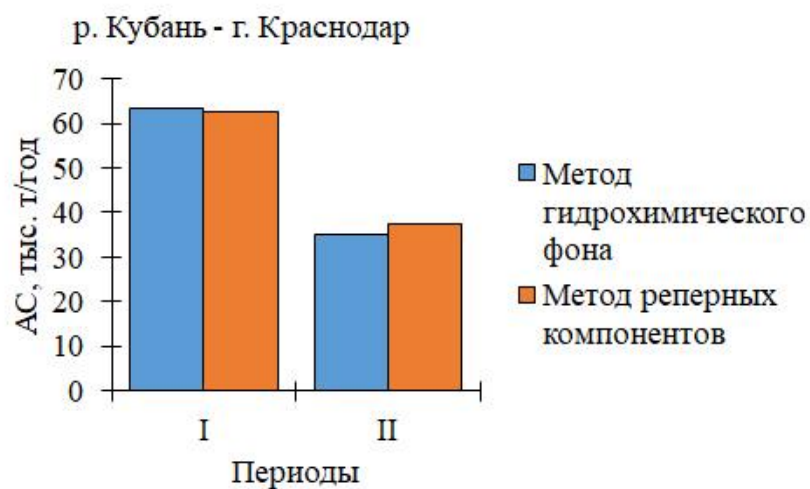


Рисунок 4.3 – Антропогенная составляющая (АС) стока Mg^{2+} в контрастные периоды на участке р. Кубань – г. Краснодар

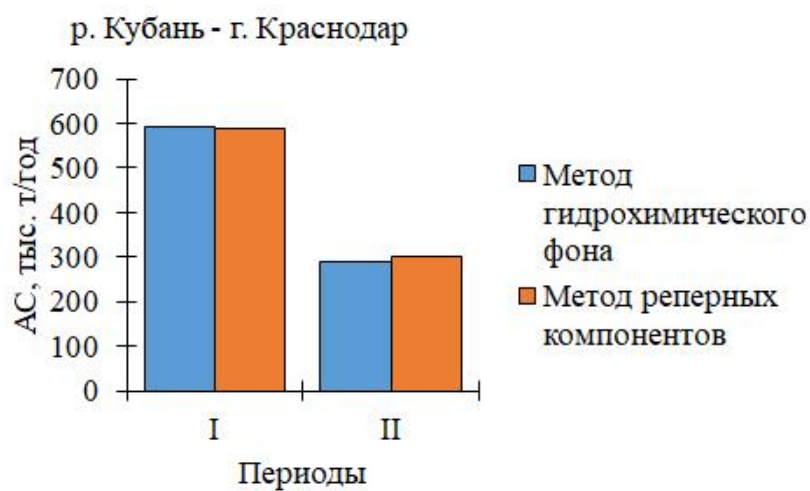


Рисунок 4.4 – Антропогенная составляющая (АС) стока SO_4^{2-} в контрастные периоды на участке р. Кубань – г. Краснодар

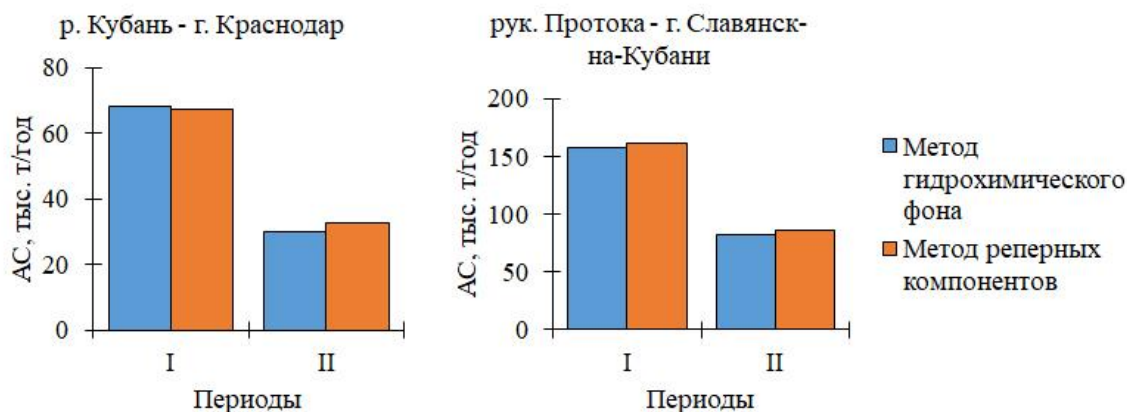


Рисунок 4.5 – Антропогенная составляющая (АС) стока Cl^- в контрастные периоды в нижнем течении р. Кубани и дельтовом рукаве Протока

Сток органических веществ

Суммарное содержание в поверхностных водах органических веществ характеризует величина бихроматной окисляемости (ХПК). При расчете стока органических веществ был выполнен пересчет количества кислорода, потребляемого при химическом окислении органических и минеральных веществ в концентрации органических веществ (мг/дм^3) с помощью умножения на коэффициент 0,75 [3, 82, 97]. Таким образом, получали сведения о стоке органических веществ в бассейне р. Кубани в тыс. т/год и т/месяц.

Сток органических веществ (ОВ) – это «количество органических веществ, стекающих с поверхностным и подземным водным стоком с территории бассейна водотока или водоема за определенный промежуток времени (сутки, месяц, сезон, год)» [42, с. 194]. Сток ОВ – важный «геохимический показатель, интегрально отражающий процессы формирования, трансформации, миграции ОВ на водосборе реки» [82, с. 4]. Изучение речного стока ОВ необходимо для «исследования процессов формирования химического состава природных вод, круговорота веществ, оценки денудации территории, биологической продуктивности водных объектов, составления балансов растворенных веществ морей, озер и рек, прогнозирования гидрохимического режима водотоков и водоемов» [139, с. 683].

На основе данных о содержании органических веществ по ХПК и расходах воды были рассчитаны значения стока ОВ за период 1990–2020 гг. для 16 пунктов наблюдений. Полученные данные представлены в таблице 4.8.

Сток органических веществ в бассейне р. Кубани характеризуется значительной пространственно-временной неоднородностью.

По длине р. Кубани среднемноголетняя величина стока ОВ возрастала и достигала наибольших значений в нижнем течении реки на участке р. Кубань – х. Тиховский (242 тыс. т/год). Затем через дельтовые рукава в Азовское море суммарно в среднем выносилось 217 тыс. т/год органических веществ.

Среди изученных притоков р. Кубани наибольшие величины стока ОВ характерны для рр. Лабы и Белой. Среднемноголетние значения стока ОВ на участках р. Лаба – х. Догужиев и р. Белая – г. Майкоп составляли 40,7 и 15,9 тыс. т/год соответственно.

Таблица 4.8 – Изменчивость стока органических веществ рек бассейна Кубани (1990–2020 гг.)

Водный объект, пункт наблюдений	Сток органических веществ, тыс. т/год*	Коэффициент корреляции Кендалла
По длине р. Кубани		
р. Кубань, г. Армавир	19,3–93,4	–
	53,3	
р. Кубань, ст-ца Ладожская	22,7–113	–
	67,1	
р. Кубань, г. Краснодар	63,9–239	-0,37
	145	
р. Кубань, х. Тиховский	138–375	–
	242	
Дельтовые рукава р. Кубани		
рук. Петрушин, г. Темрюк	52,5–170	–
	105	
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	0,48–10,1	–
	4,62	
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	38,2–202	–
	116	
рук. Протока, х. Слободка	61,0–193	–
	112	

Водный объект, пункт наблюдений	Сток органических веществ, тыс. т/год*	Коэффициент корреляции Кендалла
Притоки р. Кубани		
р. Лаба, х. Догужиев	14,4–73,3	–
	40,7	
р. Белая, п. Гузерипись	2,15–13,6	-0,28
	6,45	
р. Белая, г. Майкоп	7,28–25,9	–
	15,9	
р. Пшеха, г. Апшеронск	3,90–19,4	н.д.
	10,2	
р. Пшиш, г. Хадыженск	0,67–6,69	-0,45
	2,32	
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	1,22–11,2	-0,29
	4,21	
р. Афипс, ст-ца Смоленская	1,32–5,50	н.д.
	2,63	
р. Адагум, г. Крымск	0,05–3,16	-0,29
	1,38	
Примечания: *в числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее; синим цветом отмечены статистически значимые ($p < 0,05$) величины коэффициента ранговой корреляции Кендалла, характеризующие убывающие тенденции; прочерк – корреляционная связь статистически незначима ($p > 0,05$); н.д. – недостаточно данных для оценки тенденции.		

Доля ОВ в общем стоке минеральных и органических веществ рек бассейна Кубани в среднем за период 1990–2020 гг. изменялась в пределах 3–7 %. Для рек бассейнов Черного и Азовского морей характерно среднее и низкое содержание органических веществ в воде [82], а соотношение стока растворенного и взвешенного органического углерода изменяется в зависимости от антропогенной нагрузки. До зарегулирования р. Кубани сток взвешенного органического углерода превышал сток растворенного органического углерода [5, 140, 143]. При этом М. П. Смирновым отмечалось значительное влияние химизации сельского хозяйства на формирование стока ОВ рек бассейна Азовского моря [139]. Показано, что из-за роста загрязненности речных вод сток органических веществ существенно увеличился [98].

Проанализированная Л. Г. Коротовой и соавторами динамика стока ОВ по пятилетним периодам (1981–1985, 1986–1990, 1991–1995, 1996–2000 гг.) показала

последовательный рост стока ОВ в нижнем течении р. Кубани: от 116 тыс. т/год в 1981–1985 гг. до 236 тыс. т/год в 1996–2000 гг. [63].

За период 1990–2020 гг. сток ОВ в бассейне р. Кубани статистически значимо сокращался на участках р. Кубань – г. Краснодар, р. Белая – п. Гузерибль, р. Пшиш – г. Хадыженск, р. Псекупс – г. Горячий Ключ и р. Адагум – г. Крымск (таблица 4.8). На основе анализа разностно-интегральных кривых удалось выделить контрастные периоды стока веществ всего в четырех пунктах наблюдений: р. Кубань – г. Краснодар, р. Белая – п. Гузерибль, р. Пшиш – г. Хадыженск и р. Псекупс – г. Горячий Ключ (таблица 4.9). При проверке гипотезы о принадлежности двух сравниваемых выборок к одной и той же генеральной совокупности с помощью U-критерия Манна-Уитни установлены существенные отличия стока ОВ в сравниваемые периоды ($p < 0,05$).

Таблица 4.9 – Изменчивость стока органических веществ ($G_{ОВ}$) и водного стока (W) в контрастные периоды на отдельных участках бассейна р. Кубани

Выделенные периоды	Сток ОВ	Водный сток	Относительные изменения средних значений, %	
	тыс. т/год	км ³ /год	$G_{ОВ}$	W
р. Кубань – г. Краснодар				
1990–2002 (I)	178±35,7	12,7±2,87	-31	-7
2003–2020 (II)	123±32,6	11,8±2,26		
р. Белая – п. Гузерибль				
1990–1996 (I)	10,1±2,69	0,97±0,21	-48	+5
1997–2020 (II)	5,28±1,82	1,02±0,17		
р. Пшиш – г. Хадыженск				
1990–2002 (I)	3,28±1,48	0,35±0,12	-49	-34
2003–2018 (II)	1,66±1,09	0,23±0,068		
р. Псекупс – г. Горячий Ключ				
1990–1998 (I)	6,24±1,72	0,55±0,16	-47	-38
1999–2020 (II)	3,29±2,14	0,34±0,15		

Анализ многолетней динамики стока ОВ в пунктах наблюдений р. Кубань – г. Краснодар и р. Белая – п. Гузерибль показал, что снижение стока ОВ на 31 и 48 % (от $178 \pm 35,7$ до $123 \pm 32,6$ тыс. т/год и от $10,1 \pm 2,69$ до $5,28 \pm 1,82$ тыс. т/год соответственно) в большей степени обусловлено уменьшением содержания веществ в воде, так как водный сток на участке р. Кубань – г. Краснодар сократился всего на 7 %, а в пункте наблюдений р. Белая – п. Гузерибль возрос на 5 %.

На участках р. Пшиш – г. Хадыженск и р. Псекупс – г. Горячий Ключ значительное снижение стока ОВ (на 49 и 47 %) обусловлено в большей степени уменьшением водного стока.

Сезонные значения стока ОВ в контрастные периоды были рассчитаны для участков р. Белая – п. Гузерибль, р. Пшиш – г. Хадыженск и р. Псекупс – г. Горячий Ключ. Результаты представлены в таблице 4.10.

Согласно полученным данным, на участке р. Белая – п. Гузерибль происходили разнонаправленные изменения сезонного стока. В зимний сезон из-за увеличения водного стока и концентраций веществ в воде наблюдался прирост стока ОВ на 40 %. В остальные сезоны (весна, лето, осень) произошло снижение стока ОВ на 40–64 %.

Расчеты сезонных значений стока ОВ на участках р. Пшиш – г. Хадыженск и р. Псекупс – г. Горячий Ключ свидетельствуют об уменьшении переноса веществ во все сезоны на 11–72 % и 26–65 %.

Снижение стока ОВ на рассматриваемых участках, вероятнее всего, является результатом совокупного влияния природных и антропогенных факторов. Со снижением водного стока на отдельных участках и сокращением объемов применения удобрений на водосборе р. Кубани (как было показано в разделе 2.2) произошло уменьшение поступления в речную сеть органических веществ.

Таблица 4.10 – Сезонная изменчивость стока органических веществ на отдельных участках бассейна р. Кубани в контрастные периоды

Водный объект, пункт наблюдений	Выделенные периоды	Среднемесячные значения стока органических веществ, т/месяц			
		Зима	Весна	Лето	Осень
р. Белая, п. Гузерибль	1990–1996 (I)	143±103	1747±865	795±714	909±719
	1997–2020 (II)	200±209	1054±1236	471±322	327±277
	%*	+40	-40	-41	-64
р. Пшиц, г. Хадыженск	1990–2002 (I)	347±189	319±220	130±242	155±196
	2003–2018 (II)	187±138	102±98,2	35,9±68,4	138±205
	%	-46	-68	-72	-11
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	1990–1998 (I)	957±726	671±412	153±191	318±494
	1999–2020 (II)	599±459	233±212	86,7±86,8	234±389
	%	-37	-65	-43	-26
Примечание: *относительные изменения средних значений.					

Сток биогенных веществ

Под речным стоком биогенных веществ понимается «количество биогенных веществ (азот, фосфор, кремний, железо и др.), стекающих с поверхностным и подземным водным стоком с территории бассейна водоема или водотока за определенный промежуток времени (сутки, месяц, сезон, год и др.)» [42, с. 193]. Сток биогенных веществ – «один из основных факторов, определяющих биопродукционный потенциал водоемов» [140, с. 670].

Одним из главных источников формирования стока биогенных веществ в бассейне р. Кубани являются используемые в пределах водосбора азотные и фосфорные удобрения. Показано, что антропогенная доля в стоке азота нитратного в нижнем течении р. Кубани в 1980-е гг. достигала 80 %, в 1990-е гг. – 85–90 % [63]. Кроме того, «по сравнению с р. Дон р. Кубань при восьмикратно меньшем водосборе и вдвое меньшей водности выносит одинаковое абсолютное и относительное количество нитратного N антропогенного происхождения, что

является следствием гораздо большего применения удобрений в ее бассейне» [98, с. 214].

В поверхностных водах р. Кубани основная форма неорганического азота – $N-NO_3^-$. В стоке биогенных веществ азот нитратный занимает второе место после кремния [24], а его доля в общем стоке суммарного минерального азота (по сумме $N-NH_4^+$, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$) может достигать 98 % [100]. За период 1990–2020 гг. в структуре стока неорганического азота р. Кубани, дельты и притоков $N-NO_3^-$ занимал 78–97 % (таблица 4.11).

За период 1990–2020 гг. в бассейне р. Кубани среднемноголетние значения стока суммарного минерального азота изменялись в пределах 0,065–33,8 тыс. т/год. Наибольших значений сток суммарного минерального азота достигал в нижнем течении р. Кубани в районе х. Тиховского.

Таблица 4.11 – Изменчивость стока биогенных веществ рек бассейна Кубани (1990–2020 гг.), тыс. т/год

Водный объект, пункт наблюдений	Сток суммарного минерального азота	Сток $N-NH_4^+$	Сток $N-NO_2^-$	Сток $N-NO_3^-$
По длине р. Кубани				
р. Кубань, г. Армавир	1,06–18,7*	н.о.**–1,11	0,016–0,87	1,02–18,5
	7,06	0,24	0,10	6,72
р. Кубань, ст-ца Ладожская	3,26–18,3	0,010–0,96	0,038–0,17	2,95–18,0
	9,99	0,26	0,069	9,66
р. Кубань, г. Краснодар	4,55–30,4	0,15–3,16	0,078–0,27	4,09–29,6
	14,6	1,10	0,18	13,3
р. Кубань, х. Тиховский	15,4–54,0	0,91–9,31	0,11–0,56	9,66–51,9
	33,8	2,94	0,26	30,6
Дельтовые рукава р. Кубани				
рук. Петрушин, г. Темрюк	6,79–24,2	0,46–3,95	0,048–0,20	4,99–23,4
	14,4	1,12	0,10	13,2
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	0,057–1,39	0,004–0,28	н.о.– 0,028	0,052–1,34
	0,62	0,046	0,005	0,57
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	4,25–27,8	0,27–5,15	0,032–0,26	3,95–26,7
	16,2	1,35	0,12	14,7
рук. Протока, х. Слободка	7,95–30,5	0,47–4,43	0,053–0,35	5,57–29,0
	16,2	1,15	0,12	14,9

Водный объект, пункт наблюдений	Сток суммарного минерального азота	Сток N-NH ₄ ⁺	Сток N-NO ₂ ⁻	Сток N-NO ₃ ⁻
Притоки р. Кубани				
р. Лаба, х. Догужиев	1,79–12,5	0,017–0,66	0,018–0,095	1,71–12,4
	6,04	0,22	0,039	5,78
р. Белая, п. Гузерибль	0,055–0,53	0,003–0,18	0,001–0,006	0,036–0,34
	0,24	0,048	0,003	0,19
р. Белая, г. Майкоп	0,18–2,17	0,014–0,35	0,004–0,021	0,13–2,02
	0,73	0,097	0,011	0,62
р. Пшеха, г. Апшеронск	0,082–0,39	0,003–0,11	0,001–0,020	0,048–0,37
	0,23	0,028	0,007	0,19
р. Пшиш, г. Хадыженск	0,006–0,13	0,001–0,070	н.о.–0,004	0,001–0,12
	0,065	0,013	0,001	0,051
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	0,035–0,31	н.о.–0,15	н.о.–0,005	0,028–0,23
	0,16	0,022	0,001	0,14
р. Афипс, ст-ца Смоленская	0,051–0,28	н.о.–0,019	0,001–0,008	0,034–0,27
	0,10	0,008	0,002	0,094
р. Адагум, г. Крымск	0,007–0,66	н.о.–0,019	н.о.–0,005	0,007–0,66
	0,20	0,006	0,001	0,19
Примечания: *в числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее; **н.о. – ниже предела обнаружения.				

Среди притоков р. Кубани наибольшие среднемноголетние величины стока суммарного минерального азота характерны для р. Лабы в пункте наблюдений х. Догужиев (6,04 тыс. т/год) и р. Белой в районе г. Майкопа (0,73 тыс. т/год).

Оценка тенденций временной изменчивости значений стока суммарного минерального азота показала наличие статистически значимых тенденций на пяти участках: р. Кубань – г. Армавир ($r = -0,58$, $p < 0,05$), р. Кубань – ст-ца Ладожская ($r = -0,54$, $p < 0,05$), р. Кубань – г. Краснодар ($r = -0,57$, $p < 0,05$), р. Лаба – х. Догужиев ($r = -0,63$, $p < 0,05$) и р. Белая – п. Гузерибль ($r = 0,39$, $p < 0,05$). Для этих участков удалось выделить по два контрастных периода разной продолжительности (таблица 4.12).

Значительное уменьшение стока суммарного минерального азота по длине р. Кубани и на участке р. Лаба – х. Догужиев (на 41–59 %) произошло после 2006–2009 гг. (в среднем после 2008 года).

Таблица 4.12 – Изменчивость стока неорганического азота ($G_{\text{НА}}$) и водного стока (W) в контрастные периоды на отдельных участках бассейна р. Кубани

Выделенные периоды	Сток суммарного минерального азота	Водный сток	Относительные изменения средних значений, %	
	тыс. т/год	км ³ /год	$G_{\text{НА}}$	W
р. Кубань – г. Армавир				
1990–2008 (I)	8,90±3,54	4,35±1,11	-52	-10
2009–2020 (II)	4,30±1,58	3,91±0,82		
р. Кубань – ст-ца Ладожская				
1990–2009 (I)	12,6±3,37	4,43±1,30	-59	-12
2010–2020 (II)	5,17±1,87	3,88±0,89		
р. Кубань – г. Краснодар				
1990–2007 (I)	17,7±4,87	12,9±2,72	-42	-13
2008–2020 (II)	10,2±2,62	11,2±1,87		
р. Лаба – х. Догужиев				
1990–2006 (I)	7,41±2,11	4,19±0,84	-41	-12
2007–2020 (II)	4,37±1,38	3,68±0,83		
р. Белая – п. Гузерибль				
1990–1998 (I)	0,10±0,029	0,95±0,20	+200	+8
1999–2020 (II)	0,30±0,074	1,03±0,17		

Прирост стока веществ в пункте наблюдений р. Белая – п. Гузерибль происходил вследствие роста концентраций компонентов в воде на фоне незначительного увеличения водного стока.

Расчеты сезонных значений стока суммарного минерального азота на рассматриваемых участках свидетельствуют о разнонаправленных изменениях в переносе веществ во все сезоны (таблица 4.13).

Направленность сезонной динамики стока суммарного минерального азота преимущественно соответствовала многолетней изменчивости. Только в пункте наблюдений р. Лаба – х. Догужиев вследствие прироста водного стока в летний сезон сток веществ возрос на 10 %.

Таблица 4.13 – Сезонная изменчивость стока неорганического азота на отдельных участках бассейна р. Кубани в контрастные периоды

Водный объект, пункт наблюдений	Выделенные периоды	Среднемесячные значения стока суммарного минерального азота, т/месяц			
		Зима	Весна	Лето	Осень
р. Кубань, г. Армавир	1990–2008 (I)	461±261	757±423	907±577	744±1093
	2009–2020 (II)	194±109	324±179	606±309	147±71,2
	%*	-58	-57	-33	-80
р. Кубань, ст-ца Ладожская	1990–2009 (I)	782±349	1254±798	1072±730	523±401
	2010–2020 (II)	331±140	412±208	689±318	194±107
	%	-58	-67	-36	-63
р. Лаба, х. Догужиев	1990–2006 (I)	606±313	895±389	374±348	323±237
	2007–2020 (II)	283±153	427±188	410±253	168±105
	%	-53	-52	+10	-48
р. Белая, п. Гузерибль	1990–1998 (I)	5,21±1,52	17,6±15,4	4,68±7,22	8,46±8,48
	1999–2020 (II)	13,9±8,25	47,5±37,7	20,7±13,7	19,0±11,7
	%	+167	+170	+342	+125
Примечание: *относительные изменения средних значений.					

При смене характерных фаз изменилась и структура стока суммарного минерального азота на участках р. Кубань – г. Армавир, р. Кубань – ст-ца Ладожская, р. Кубань – г. Краснодар и р. Лаба – х. Догужиев. На фоне снижения стока $N-NO_3^-$ увеличилась доля $N-NH_4^+$ (таблица 4.14). В пункте наблюдений р. Белая – п. Гузерибль существенных изменений в структуре стока суммарного минерального азота не произошло.

Для $N-NH_4^+$, $N-NO_2^-$ и $N-NO_3^-$ также определялась направленность изменений стока. Так, в 13 пунктах наблюдений из 14 разнонаправленные тенденции стока $N-NH_4^+$ определены как статистически значимые. Тенденции уменьшения характерны для участка вершины дельты р. Кубани (х. Тиховский) и дельтовых рукавов. На участках р. Кубани и ее притоков сток $N-NH_4^+$ имел тенденцию к увеличению. Прирост стока $N-NH_4^+$ в пунктах наблюдений, расположенных по длине р. Кубани (от г. Армавира до г. Краснодара), вероятно,

может быть обусловлен увеличением использования минеральных удобрений после 1990-х гг. в Ставропольском и Краснодарском краях (как было показано в разделе 2.2). В нижнем течении р. Кубани и дельтовых рукавах уменьшение стока компонента, вероятно, связано со спадом антропогенной нагрузки в дельте. По всей видимости, увеличение притока $N-NH_4^+$ с вышележащих участков не может компенсировать уменьшение переноса в нижнем течении. При этом существенный прирост стока $N-NH_4^+$ на участках притоков может быть вызван поступлением компонента из таких источников, как атмосферные осадки, промышленность, сельское хозяйство и бытовые стоки [93].

Таблица 4.14 – Структура стока суммарного минерального азота в контрастные периоды, %

Водный объект, пункт наблюдений	Выделенные периоды	$N-NH_4^+$	$N-NO_2^-$	$N-NO_3^-$
р. Кубань, г. Армавир	1990–2008 (I)	2	2	96
	2009–2020 (II)	7	1	92
р. Кубань, ст-ца Ладожская	1990–2009 (I)	1	1	98
	2010–2020 (II)	8	1	91
р. Кубань, г. Краснодар	1990–2007 (I)	5	1	94
	2008–2020 (II)	13	2	85
р. Лаба, х. Догужиев	1990–2006 (I)	1	1	98
	2007–2020 (II)	7	1	92
р. Белая, п. Гузерипись	1990–1998 (I)	19	2	79
	1999–2020 (II)	20	1	79

Сток одного из характерных для р. Кубани загрязняющих веществ – $N-NO_2^-$ – статистически значимо сокращался в 7 пунктах наблюдений (участки р. Кубань от г. Армавира до х. Тиховского и створы дельтовых рукавов) и возрастал в пункте наблюдений р. Псекупс – г. Горячий Ключ. Статистически значимые тенденции стока $N-NO_3^-$ ожидаемо обнаружены в тех же пунктах наблюдений, что и для стока суммарного минерального азота: р. Кубань – г. Армавир, р. Кубань – ст-ца Ладожская, р. Кубань – г. Краснодар, р. Лаба – х. Догужиев и р. Белая –

п. Гузерипль. В целом именно сток $N-NO_3^-$ в значительной степени определяет особенности динамики стока суммарного минерального азота.

Сток соединений металлов

Для рек бассейна Кубани наиболее полные сведения о стоке металлов могут быть получены по соединениям Fe, Cu и Zn, наблюдения за содержанием в воде которых наиболее регулярны.

Металлоносность горных пород определяет повышенные концентрации, а следовательно, и сток соединений металлов в пределах бассейнов рек Кавказа [57]. Кроме того, повышенные концентрации соединений металлов обусловлены антропогенным фактором: наличием зон горнорудного техногенеза, горно-обогатительных комбинатов, предприятий химической и металлургической промышленности [100], использованием удобрений и мелиорантов, содержащих тяжелые металлы [8], дальним переносом антропогенных аэрозолей [68]. Г. С. Коноваловым и соавторами за период 1971–1972 гг. сток Cu и Zn для р. Кубани был оценен в 30,0 и 10,0 т/год соответственно [58]. Позже исследования 1971–1976 гг. позволили Г. С. Коновалову и В. И. Кореневой дополнить и уточнить работу прошлых лет. Вынос элементов с речным стоком р. Кубани был рассчитан для 1971, 1972, 1976 гг. Установлено, что сток Cu изменялся в пределах 20,0–150 т/год, Zn – 120–150 т/год, Fe – 0,51–1,80 тыс. т/год. По отдельным компонентам (Cu и Fe в случае р. Кубани) авторы отмечали рост значений стока, который связывали с антропогенным воздействием [56]. Позже Л. Г. Коротовой и соавторами отмечалось, что динамика стока Cu и Zn является сложной и неоднозначной. Наибольшие значения выноса р. Кубанью данных металлов за период 1981–2000 гг. отмечались в 1986–1990 гг.: 38,0 т/год Cu и 298 т/год Zn соответственно [63].

Расчетные данные среднемноголетних значений стока соединений Fe за период 1990–2020 гг. показали, что по длине р. Кубани максимальная величина переноса вещества наблюдалась в районе г. Армавира. Здесь значение стока составляло 4,17 тыс. т/год (в среднем за период 1990–2020 гг.). На замыкающем

створе р. Кубани (х. Тиховский) среднемноголетнее значение стока соединений Fe составляло 2,65 тыс. т/год. Дельтовыми рукавами Петрушин и Протока в Азовское море суммарно выносилось 2,08 тыс. т/год соединений Fe.

Сток соединений Cu в бассейне р. Кубани отличается существенной пространственно-временной изменчивостью. Наибольшее значение переноса веществ отмечено в нижнем течении р. Кубани в районе г. Краснодара (66,0 т/год). Существенное количество компонента в среднем течении р. Кубани приносилось р. Лабой – 29,6 т/год. При этом среднемноголетние значения стока Cu остальных притоков изменялись в пределах 0,74–9,25 т/год. В Азовское море дельтовыми рукавами в среднем за период 1990–2020 гг. выносилось 23,1 т/год Cu.

Сток соединений Zn в пределах бассейна р. Кубани, как правило, достигал максимальных значений на участке р. Кубань – г. Краснодар. За период 1990–2020 гг. величина стока в данном пункте наблюдений изменялась в широких пределах от 14,2 до 347 т/год соединений Zn (при среднемноголетнем значении 129 т/год). Среди притоков наибольшее значение стока соединений Zn была характерна для р. Лабы в районе х. Догужиева – 44,4 т/год. Для остальных притоков среднемноголетнее значение переноса соединений Zn изменялось в пределах 1,23–14,2 т/год. Через дельтовые рукава р. Кубани в Азовское море в среднем выносилось 120 т/год Zn.

С 1990 по 2020 г. изменчивость стока соединений металлов в бассейне р. Кубани характеризовалась убывающими тенденциями. Статистически значимые тренды уменьшения стока веществ были выявлены в 74 % случаев (таблица 4.15).

Динамика стока соединений Fe характеризовалась статистически значимыми тенденциями уменьшения во всех пунктах наблюдений. Сток соединений Cu статистически значимо сокращался в 79 % случаев, Zn – в 36 % случаев.

Таблица 4.15 – Коэффициенты корреляции Кендалла, характеризующие тенденции изменчивости стока соединений железа, меди и цинка рек бассейна Кубани (1990–2020 гг.)

Водный объект, пункт наблюдений	Коэффициент корреляции		
	Fe	Cu	Zn
По длине р. Кубани			
р. Кубань, г. Армавир	-0,47	-0,48	–
р. Кубань, ст-ца Ладожская	-0,39	-0,52	–
р. Кубань, г. Краснодар	-0,33	-0,52	-0,26
р. Кубань, х. Тиховский	-0,52	-0,60	-0,58
Дельтовые рукава р. Кубани			
рук. Петрушин, г. Темрюк	-0,56	-0,55	-0,48
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	-0,46	–	–
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	-0,62	-0,60	-0,62
рук. Протока, х. Слободка	-0,65	-0,55	-0,63
Притоки р. Кубани			
р. Лаба, х. Догужиев	-0,32	-0,57	–
р. Белая, п. Гузерибль	-0,33	–	–
р. Белая, г. Майкоп	-0,26	–	–
р. Пшиш, г. Хадыженск	-0,39	-0,28	–
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	-0,37	-0,40	–
р. Адагум, г. Крымск	-0,49	-0,46	–
Примечания: статистически значимые ($p < 0,05$) величины коэффициента ранговой корреляции Кендалла отмечены цветом: синий – убывающая тенденция; прочерк – корреляционная связь статистически незначима ($p > 0,05$).			

В многолетней динамике стока соединений Fe на основе анализа разностно-интегральных кривых удалось выделить контрастные периоды стока веществ для четырнадцати пунктов наблюдений (т. е. для всех, где были обнаружены статистически значимые тенденции). U-критерий Манна-Уитни показал наличие статистически значимых ($p < 0,05$) отличий сравниваемых периодов (таблица 4.16).

Таблица 4.16 – Изменчивость стока соединений железа (G_{Fe}) и водного стока (W) в контрастные периоды на отдельных участках бассейна р. Кубани

Выделенные периоды	Сток соединений Fe	Водный сток	Относительные изменения средних значений, %	
	тыс. т/год	км ³ /год	G_{Fe}	W
р. Кубань – г. Армавир				
1990–2006 (I)	6,24±3,59	4,34±1,18	-71	-8
2007–2020 (II)	1,81±1,54	3,99±0,78		
р. Кубань – ст-ца Ладожская				
1990–2009 (I)	4,49±2,36	4,43±1,30	-79	-12
2010–2020 (II)	0,93±0,75	3,88±0,89		
р. Кубань – г. Краснодар				
1990–2010 (I)	4,87±1,50	12,9±2,55	-55	-16
2011–2020 (II)	2,17±1,18	10,8±1,91		
р. Кубань – х. Тиховский				
1990–2005 (I)	3,38±1,42	13,1±3,39	-60	-11
2006–2014 (II)	1,34±0,80	11,6±2,15		
рук. Петрушин – г. Темрюк				
1990–2006 (I)	1,24±0,47	5,68±1,33	-68	-10
2007–2020 (II)	0,40±0,19	5,11±0,96		
рук. Казачий Ерик – х. Дубовый Рынок				
1990–2010 (I)	0,046±0,025	0,23±0,12	-63	-9
2011–2020 (II)	0,017±0,007	0,21±0,083		
рук. Протока – г. Славянск-на-Кубани				
1990–2006 (I)	1,75±0,71	6,78±1,78	-74	-24
2007–2020 (II)	0,45±0,25	5,15±1,13		
рук. Протока – х. Слободка				
1990–2006 (I)	1,85±0,71	6,29±1,60	-75	-20
2007–2020 (II)	0,46±0,23	5,04±0,82		
р. Лаба – х. Догужиев				
1990–2009 (I)	3,22±1,61	4,08±0,82	-73	-8
2010–2020 (II)	0,86±0,59	3,74±0,93		
р. Белая – п. Гузерипль				
1990–1999 (I)	0,56±0,33	0,94±0,19	-43	+11
2000–2020 (II)	0,32±0,33	1,04±0,17		
р. Белая – г. Майкоп				
1990–2009 (I)	2,14±0,55	1,96±0,41	-62	+1
2010–2020 (II)	0,81±0,81	1,97±0,37		
р. Пшиш – г. Хадыженск				
1990–2006 (I)	0,33±0,26	0,33±0,11	-76	-36
2007–2018 (II)	0,078±0,065	0,21±0,069		

Выделенные периоды	Сток соединений Fe	Водный сток	Относительные изменения средних значений, %	
	тыс. т/год		км ³ /год	G _{Fe}
р. Псекупс – г. Горячий Ключ				
1990–2002 (I)	0,21±0,16	0,51±0,15	-69	-37
2003–2020 (II)	0,065±0,053	0,32±0,16		
р. Адагум – г. Крымск				
1990–2002 (I)	0,048±0,024	0,13±0,057	-65	-38
2003–2020 (II)	0,017±0,009	0,081±0,035		

Анализ многолетней динамики показал, что снижение стока соединений Fe часто происходило на фоне разнонаправленных изменений водного стока. В целом сток Fe в бассейне р. Кубани сократился на 43–79 %.

Сезонные значения стока соединений Fe в контрастные периоды были рассчитаны для участков с достаточным объемом гидрохимической и гидрологической информации. Результаты представлены в таблице 4.17. Для большинства рассматриваемых участков характерно снижение стока соединений Fe во все сезоны (на 36–95 %). В единичных случаях фиксировался прирост стока веществ.

Таблица 4.17 – Сезонная изменчивость стока соединений железа на отдельных участках бассейна р. Кубани в контрастные периоды

Водный объект, пункт наблюдений	Выделенные периоды	Среднемесячные значения стока соединений Fe, т/месяц			
		Зима	Весна	Лето	Осень
р. Кубань, г. Армавир	1990–2006 (I)	63,3±103	507±508	1839±2283	187±231
	2007–2020 (II)	28,6±17,2	47,6±27,6	324±425	59,9±66,3
	%*	-55	-91	-82	-68
р. Кубань, ст-ца Ладожская	1990–2009 (I)	96,6±130	347±387	1552±1415	158±153
	2010–2020 (II)	22,4±13,1	64,0±66,0	317±507	34,8±33,5
	%	-77	-82	-80	-78
рук. Петрушин, г. Темрюк	1990–2006 (I)	110±80,8	132±110	126±82,5	59,3±33,5
	2007–2020 (II)	30,4±19,6	38,3±21,4	41,0±23,8	24,5±12,5
	%	-72	-71	-67	-59
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	1990–2010 (I)	4,68±6,73	6,47±7,91	4,70±4,63	2,10±2,68
	2011–2020 (II)	1,51±1,51	1,98±1,22	2,03±1,49	0,63±1,20
	%	-68	-69	-57	-70

Водный объект, пункт наблюдений	Выделенные периоды	Среднемесячные значения стока соединений Fe, т/месяц			
		Зима	Весна	Лето	Осень
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	1990–2006 (I)	168±195	186±133	169±104	86,3±72,6
	2007–2020 (II)	25,6±16,9	50,8±30,2	51,8±34,2	25,9±17,7
	%	-85	-73	-69	-70
рук. Протока, х. Слободка	1990–2006 (I)	124±85,5	228±216	190±118	111±104
	2007–2020 (II)	33,6±23,7	44,5±25,0	50,5±31,6	26,7±10,0
	%	-73	-80	-73	-76
р. Лаба, х. Догужиев	1990–2009 (I)	116±131	335±305	717±626	138±162
	2010–2020 (II)	28,3±19,5	70,6±65,0	207±306	39,0±42,1
	%	-76	-79	-71	-72
р. Белая, п. Гузерибль	1990–1999 (I)	12,8±13,2	99,9±83,8	38,1±37,6	38,7±41,7
	2000–2020 (II)	7,93±12,7	51,0±55,3	62,2±134	17,9±18,5
	%	-38	-49	+63	-54
р. Белая, г. Майкоп	1990–2009 (I)	36,2±34,8	367±246	254±288	83,5±72,3
	2010–2020 (II)	110±270	131±207	104±131	35,8±36,6
	%	+204	-64	-59	-57
р. Пшиш, г. Хадыженск	1990–2006 (I)	37,7±35,6	39,2±59,5	17,9±46,5	15,2±23,4
	2007–2018 (II)	7,83±8,49	5,60±9,66	0,87±0,94	7,14±14,5
	%	-79	-86	-95	-53
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	1990–2002 (I)	40,1±69,1	26,3±35,4	3,52±4,98	25,8±53,2
	2003–2020 (II)	13,6±13,0	4,40±4,33	2,26±4,03	3,86±10,6
	%	-66	-83	-36	-85
р. Адагум, г. Крымск	1990–2002 (I)	7,87±8,70	4,49±5,20	1,21±1,48	0,67±0,73
	2003–2020 (II)	2,26±2,20	1,47±1,48	2,88±6,34	0,098±0,10
	%	-71	-67	+138	-85

Примечание: *относительные изменения средних значений.

В многолетней динамике стока соединений Си на основе анализа разностно-интегральных кривых удалось выделить по два дифференцированных периода разной продолжительности для одиннадцати пунктов наблюдений (таблица 4.18).

Расчеты относительных изменений средних значений стока соединений Си показали, что на участках р. Кубани, ее дельты и притоков произошло снижение переноса веществ на 40–71 %.

Таблица 4.18 – Изменчивость стока соединений меди (G_{Cu}) и водного стока (W) в контрастные периоды на отдельных участках бассейна р. Кубани

Выделенные периоды	Сток соединений Cu	Водный сток	Относительные изменения средних значений, %	
	т/год		км ³ /год	G_{Cu}
р. Кубань – г. Армавир				
1990–2006 (I)	30,9±12,4	4,34±1,18	-58	-8
2007–2020 (II)	13,1±4,87	3,99±0,78		
р. Кубань – ст-ца Ладожская				
1990–2006 (I)	51,8±29,2	4,41±1,41	-64	-9
2007–2020 (II)	18,7±13,0	4,01±0,82		
р. Кубань – г. Краснодар				
1990–2002 (I)	86,2±20,2	12,7±2,87	-40	-7
2003–2020 (II)	51,4±16,6	11,8±2,26		
р. Кубань – х. Тиховский				
1990–2002 (I)	33,5±13,1	13,1±3,53	-48	-8
2003–2014 (II)	17,3±6,22	12,0±2,47		
рук. Петрушин – г. Темрюк				
1990–2005 (I)	13,9±5,52	5,66±1,37	-44	-9
2006–2020 (II)	7,74±1,63	5,17±0,95		
рук. Протока – г. Славянск-на-Кубани				
1990–2006 (I)	15,4±4,85	6,78±1,78	-56	-24
2007–2020 (II)	6,73±1,66	5,15±1,13		
рук. Протока – х. Слободка				
1990–2006 (I)	15,0±4,18	6,29±1,60	-41	-20
2007–2020 (II)	8,82±2,66	5,04±0,82		
р. Лаба – х. Догужиев				
1990–2002 (I)	44,0±21,1	4,12±0,87	-57	-7
2003–2020 (II)	19,1±9,41	3,84±0,86		
р. Пшиш – г. Хадыженск				
1990–2004 (I)	1,81±1,02	0,34±0,11	-56	-35
2005–2018 (II)	0,79±0,34	0,22±0,066		
р. Псекупс – г. Горячий Ключ				
1990–2002 (I)	4,11±2,92	0,51±0,15	-71	-37
2003–2020 (II)	1,21±0,73	0,32±0,16		
р. Адагум – г. Крымск				
1990–2002 (I)	1,10±0,53	0,13±0,057	-66	-38
2003–2020 (II)	0,37±0,19	0,081±0,035		

По сравнению с контрастным периодом повышенных значений (I) во время второго периода (II) сток соединений Cu снизился во все сезоны почти на всех участках (таблица 4.19). В пункте наблюдений р. Кубань – г. Армавир вследствие незначительного увеличения концентраций в зимний период перенос вещества

увеличился на 11 %. В остальные сезоны сток соединений Cu уменьшился на 49–76 %.

Таблица 4.19 – Сезонная изменчивость стока соединений меди на отдельных участках бассейна р. Кубани в контрастные периоды

Водный объект, пункт наблюдений	Выделенные периоды	Среднемесячные значения стока соединений Cu, кг/месяц			
		Зима	Весна	Лето	Осень
р. Кубань, г. Армавир	1990–2006 (I)	370±105	2659±2703	7358±5696	1375±1057
	2007–2020 (II)	409±353	718±404	1740±1892	701±747
	%*	+11	-73	-76	-49
р. Кубань, ст-ца Ладожская	1990–2006 (I)	1491±1287	4285±3487	15452±21453	1747±1244
	2007–2020 (II)	514±387	1380±974	3906±4211	773±724
	%	-66	-68	-75	-56
рук. Петрушин, г. Темрюк	1990–2005 (I)	990±516	1269±683	1485±1749	919±551
	2006–2020 (II)	462±292	814±384	877±376	455±237
	%	-53	-36	-41	-50
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	1990–2006 (I)	1069±731	1430±721	1623±1442	1055±695
	2007–2020 (II)	265±240	697±479	913±510	414±261
	%	-75	-51	-44	-61
рук. Протока, х. Слободка	1990–2006 (I)	931±497	1342±680	1761±1333	1097±877
	2007–2020 (II)	560±310	885±492	1033±450	495±288
	%	-40	-34	-41	-55
р. Лаба, х. Догужиев	1990–2002 (I)	2352±2325	3533±2069	9409±8530	1530±1086
	2003–2020 (II)	666±755	1804±1362	2563±4949	1449±2197
	%	-72	-49	-73	-5
р. Пшиш, г. Хадыженск	1990–2004 (I)	225±207	177±176	64,6±135	73,6±102
	2005–2018 (II)	93,7±88,6	33,7±31,7	15,3±19,0	96,2±196
	%	-58	-81	-76	+31
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	1990–2002 (I)	350±273	474±625	99,4±214	348±426
	2003–2020 (II)	269±226	95,9±107	24,1±19,4	89,0±193
	%	-23	-80	-76	-74
р. Адагум, г. Крымск	1990–2002 (I)	168±196	106±104	21,3±14,4	18,4±22,5
	2003–2020 (II)	68,8±81,5	39,8±58,0	85,1±218	3,36±2,51
	%	-59	-62	+300	-82

Примечание: *относительные изменения средних значений.

На участках р. Пшиш – г. Хадыженск и р. Адагум – г. Крымск отмечено увеличение стока соединений Cu в осенний и летний периоды на 31 и 300 %

соответственно. В обоих случаях прирост стока был связан со значительными паводками [85, 118] на этих реках. При этом в остальные сезоны года перенос вещества снизился на 58–82 %.

Из соединений металлов, рассматриваемых в работе, наименее изменчивым был сток соединений Zn. В многолетней динамике переноса веществ на основе анализа разностно-интегральных кривых удалось выделить контрастные периоды стока только для пяти пунктов наблюдений (таблица 4.20).

Статистическое значимое снижение стока соединений Zn происходило в нижнем течении р. Кубани и дельтовых рукавах. В общей сложности перенос компонента снизился на 43–65 % при уменьшении водного стока на 9–24 %.

Сезонные значения стока соединений Zn в контрастные периоды были рассчитаны для участков с достаточным для этого объемом гидрохимической и гидрологической информации: рук. Петрушин – г. Темрюк, рук. Протока – г. Славянск-на-Кубани, рук. Протока – х. Слободка (таблице 4.21).

Таблица 4.20 – Изменчивость стока соединений цинка (G_{Zn}) и водного стока (W) в контрастные периоды на отдельных участках бассейна р. Кубани

Выделенные периоды	Сток соединений Zn	Водный сток	Относительные изменения средних значений, %	
	т/год		км ³ /год	G_{Zn}
р. Кубань – г. Краснодар				
1990–2005 (I)	167±106	12,9±2,84	-47	-12
2006–2020 (II)	88,8±47,8	11,4±1,93		
р. Кубань – х. Тиховский				
1990–2005 (I)	156±47,7	13,1±3,39	-55	-11
2006–2014 (II)	69,6±17,1	11,6±2,15		
рук. Петрушин – г. Темрюк				
1990–2005 (I)	57,8±21,0	5,66±1,37	-43	-9
2006–2020 (II)	32,8±5,62	5,17±0,95		
рук. Протока – г. Славянск-на-Кубани				
1990–2006 (I)	77,1±21,1	6,78±1,78	-59	-24
2007–2020 (II)	31,9±6,74	5,15±1,13		
рук. Протока – х. Слободка				
1990–2004 (I)	113±35,7	6,12±1,63	-65	-12
2005–2020 (II)	39,0±12,2	5,36±1,15		

На рассматриваемых участках дельтовых рукавов во все сезоны года сток соединений Zn характеризовался однонаправленной динамикой: сток компонента сократился на 37–72 %.

Таблица 4.21 – Сезонная изменчивость стока соединений цинка на отдельных участках бассейна р. Кубани в контрастные периоды

Водный объект, пункт наблюдений	Выделенные периоды	Среднемесячные значения стока соединений Zn, кг/месяц			
		Зима	Весна	Лето	Осень
рук. Петрушин, г. Темрюк	1990–2005 (I)	4926±3565	5146±2245	5571±3455	4034±2127
	2006–2020 (II)	2209±733	3255±1148	3411±980	1993±501
	%*	-55	-37	-39	-51
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	1990–2006 (I)	5012±3162	7324±3743	8070±4193	4949±2880
	2007–2020 (II)	1856±965	3272±1438	3590±1553	1897±901
	%	-63	-55	-56	-62
рук. Протока, х. Слободка	1990–2004 (I)	6463±3911	9320±5471	10813±6296	8387±4807
	2005–2020 (II)	2654±804	4026±1959	4068±1694	2336±768
	%	-59	-57	-62	-72

Примечание: *относительные изменения средних значений.

Сток нефтепродуктов

Нефтепродукты в общем стоке веществ занимают малую часть, однако являются важным показателем качества поверхностных вод.

Динамика стока нефтепродуктов в бассейне р. Кубани преимущественно изучалась в период значительного антропогенного воздействия на окружающую среду. Так, Л. Г. Коротовой и соавторами при анализе стока нефтепродуктов по пятилетним периодам (1981–1985, 1986–1990, 1991–1995, 1996–2000 гг.) показано, что в пункте наблюдений р. Кубань – х. Тиховский сток нефтепродуктов был сопоставим, а иногда превышал сток этих веществ р. Дон в два раза (2,71–4,44 тыс. т/год) [63]. В динамике стока нефтепродуктов отмечалось

увеличение в 1991–1995 гг. и 1996–2000 гг. по сравнению с 1981–1985 гг. [63]. Кроме того, в период 1988–1997 гг. наблюдалось «значительное содержание нефтепродуктов в воде притоков Кубани: Большой Зеленчук, Фарс, Лаба, Белая, Пшиш, Псекупс, Абин, Адагум, где среднегодовые концентрации в отдельные годы превышали 0,30–0,40 мг/л» [4, с. 287].

Позже значительный вклад в изучение переноса нефтепродуктов внесли сотрудники Гидрохимического института при исследовании антропогенной нагрузки на устьевые экосистемы крупных рек России. Показано, что от истока к устью происходило увеличение стока данного компонента [91]. При этом на устьевом участке р. Кубани сток нефтепродуктов характеризовался значительной изменчивостью, которая была обусловлена динамикой концентраций веществ в воде [95]. В работе В. А. Брызгалю и соавторов [16] обнаружена тенденция снижения стока нефтепродуктов на участке р. Кубань – х. Тиховский (с 1990 по 2009 г.). Однако модули стока нефтепродуктов характеризовались наибольшими значениями по сравнению с Волгой и Доном.

За период 1990–2020 гг. сток нефтепродуктов был подвержен значительной временной изменчивости. Во всех пунктах наблюдений бассейна р. Кубани происходило статистически значимое сокращение стока нефтепродуктов. (таблица 4.22)

Таблица 4.22 – Коэффициенты корреляции Кендалла, характеризующие тенденции изменчивости стока нефтепродуктов рек бассейна Кубани (1990–2020 гг.)

Водный объект, пункт наблюдений	Коэффициент корреляции
По длине р. Кубани	
р. Кубань, г. Армавир	-0,54
р. Кубань, ст-ца Ладожская	-0,49
р. Кубань, г. Краснодар	-0,55
р. Кубань, х. Тиховский	-0,65
Дельтовые рукава р. Кубани	
рук. Петрушин, г. Темрюк	-0,62
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	-0,45

Водный объект, пункт наблюдений	Коэффициент корреляции
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	-0,67
рук. Протока, х. Слободка	-0,68
Притоки р. Кубани	
р. Лаба, х. Догужиев	-0,47
р. Белая, п. Гузерипль	-0,50
р. Белая, г. Майкоп	-0,47
р. Пшиш, г. Хадыженск	-0,68
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	-0,51
р. Адагум, г. Крымск	-0,65
Примечание: статистически значимые ($p < 0,05$) величины коэффициента ранговой корреляции Кендалла отмечены цветом: синий – убывающая тенденция.	

Для сравнительной оценки изменчивости средних значений стока нефтепродуктов из общего периода (1990–2020 гг.) были выбраны два временных интервала, отличающихся по уровню антропогенной нагрузки. Сток нефтепродуктов значительно сократился во всех рассматриваемых в работе пунктах наблюдений бассейна р. Кубани (таблица 4.23).

Таблица 4.23 – Изменчивость стока нефтепродуктов ($G_{\text{НФПР}}$) и водного стока (W) в контрастные периоды на отдельных участках бассейна р. Кубани

Выделенные периоды	Сток нефтепродуктов	Водный сток	Относительные изменения средних значений, %	
	тыс. т/год	км ³ /год	$G_{\text{НФПР}}$	W
р. Кубань – г. Армавир				
1990–1999 (I)	1,23±0,63	4,10±0,81	-96	+3
2000–2020 (II)	0,050±0,021	4,21±1,12		
р. Кубань – ст-ца Ладожская				
1990–1998 (I)	1,38±0,63	4,17±1,03	-95	+2
1999–2020 (II)	0,070±0,057	4,26±1,26		
р. Кубань – г. Краснодар				
1990–1999 (I)	3,66±1,53	12,4±2,87	-95	-2
2000–2020 (II)	0,19±0,10	12,1±2,41		
р. Кубань – х. Тиховский				
1990–1998 (I)	4,85±2,60	13,4±3,65	-74	-10
1999–2014 (II)	1,25±0,58	12,1±2,67		

Выделенные периоды	Сток нефтепродуктов	Водный сток	Относительные изменения средних значений, %	
	тыс. т/год	км ³ /год	G _{нфп}	W
рук. Петрушин – г. Темрюк				
1990–1998 (I)	1,95±0,91	5,50±1,43	-75	-2
1999–2020 (II)	0,49±0,23	5,39±1,12		
рук. Казачий Ерик – х. Дубовый Рынок				
1990–1998 (I)	0,10±0,061	0,27±0,12	-77	-22
1999–2020 (II)	0,023±0,013	0,21±0,10		
рук. Протока – г. Славянск-на-Кубани				
1990–1998 (I)	2,39±1,56	6,67±1,97	-76	-13
1999–2020 (II)	0,57±0,31	5,78±1,57		
рук. Протока – х. Слободка				
1990–1998 (I)	2,44±1,96	5,97±1,72	-77	-6
1999–2020 (II)	0,55±0,26	5,63±1,33		
р. Лаба – х. Догужиев				
1990–1998 (I)	1,36±0,44	4,26±0,91	-95	-10
1999–2020 (II)	0,068±0,063	3,84±0,83		
р. Белая – п. Гузерипись				
1990–1999 (I)	0,24±0,12	0,94±0,19	-95	+11
2000–2020 (II)	0,013±0,012	1,04±0,17		
р. Белая – г. Майкоп				
1990–2000 (I)	0,56±0,30	1,75±0,45	-96	+17
2001–2020 (II)	0,021±0,007	2,05±0,33		
р. Пшиш – г. Хадыженск				
1990–2000 (I)	0,10±0,060	0,33±0,13	-97	-24
2001–2018 (II)	0,003±0,002	0,25±0,092		
р. Псекупс – г. Горячий Ключ				
1990–1998 (I)	0,19±0,061	0,55±0,16	-96	-38
1999–2020 (II)	0,007±0,004	0,34±0,15		
р. Адагум – г. Крымск				
1990–1998 (I)	0,037±0,014	0,12±0,061	-92	-17
1999–2020 (II)	0,003±0,004	0,10±0,046		

Анализ многолетней динамики показал, что снижение стока нефтепродуктов происходило на фоне разнонаправленных изменений водного стока рек. Наибольшие относительные изменения стока нефтепродуктов наблюдались по течению р. Кубани до х. Тиховского (95–96 %) и на участках притоков (92–97 %).

В нижнем течении р. Кубани и ее дельтовых рукавах сток нефтепродуктов сократился на 74–77 %.

Сток нефтепродуктов снизился в масштабах всего бассейна р. Кубани. За период 1990–2020 гг. к временным промежуткам повышенного стока нефтепродуктов можно отнести 29–38 % лет, пониженного – 62–71 %. В среднем значительное снижение стока компонента произошло после 1999 года. Продолжительность контрастных периодов говорит об общих причинах происходящих изменений.

Сезонные значения стока нефтепродуктов в контрастные периоды были рассчитаны для участков с достаточным объемом гидрохимической и гидрологической информации. Результаты представлены в таблице 4.24.

Таблица 4.24 – Сезонная изменчивость стока нефтепродуктов на отдельных участках бассейна р. Кубани в контрастные периоды

Водный объект, пункт наблюдений	Выделенные периоды	Среднемесячные значения стока нефтепродуктов, т/месяц			
		Зима	Весна	Лето	Осень
р. Кубань, г. Армавир	1990–1999 (I)	80,7±51,3	135±151	212±150	87,8±64,0
	2000–2020 (II)	1,62±1,25	3,43±2,66	11,2±7,94	1,94±1,56
	%*	-98	-97	-95	-98
р. Кубань, ст-ца Ладожская	1990–1998 (I)	71,4±59,1	102±48,6	268±232	81,1±65,6
	1999–2020 (II)	3,46±4,21	3,80±4,16	14,2±13,3	2,78±1,93
	%	-95	-96	-95	-97
рук. Петрушин, г. Темрюк	1990–1998 (I)	162±146	166±150	137±109	173±178
	1999–2020 (II)	33,6±25,9	51,9±40,6	53,0±40,1	28,3±15,7
	%	-79	-69	-61	-84
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	1990–1998 (I)	7,19±9,93	9,35±10,0	7,98±8,44	9,02±15,4
	1999–2020 (II)	1,74±2,64	2,73±2,03	2,63±2,11	0,93±1,17
	%	-76	-71	-67	-90
рук. Протока, г. Славянск-на- Кубани	1990–1998 (I)	160±204	236±232	184±154	227±259
	1999–2020 (II)	34,6±34,7	66,3±63,5	66,9±51,4	30,8±25,7
	%	-78	-72	-64	-86

Водный объект, пункт наблюдений	Выделенные периоды	Среднемесячные значения стока нефтепродуктов, т/месяц			
		Зима	Весна	Лето	Осень
рук. Протока, х. Слободка	1990–1998 (I)	177±280	178±160	190±129	239±368
	1999–2020 (II)	34,9±26,3	53,6±41,5	63,0±44,2	34,0±20,4
	%	-80	-70	-67	-86
р. Лаба, х. Догужиев	1990–1998 (I)	84,8±70,8	133±46,7	167±107	74,7±46,7
	1999–2020 (II)	3,79±4,66	6,08±4,86	8,45±8,82	2,47±2,67
	%	-96	-95	-95	-97
р. Белая, п. Гузеришль	1990–1999 (I)	4,10±2,78	54,0±59,5	17,8±14,7	11,1±11,6
	2000–2020 (II)	0,67±1,29	1,35±1,43	1,24±1,10	0,69±0,76
	%	-84	-98	-93	-94
р. Белая, г. Майкоп	1990–2000 (I)	24,6±17,2	87,7±52,8	41,7±39,4	26,8±47,0
	2001–2020 (II)	0,98±0,54	2,74±1,90	2,07±1,31	1,00±1,03
	%	-96	-97	-95	-96
р. Пшиш, г. Хадыженск	1990–2000 (I)	13,5±7,84	9,74±10,9	4,23±9,65	4,19±5,99
	2001–2018 (II)	0,30±0,20	0,22±0,20	0,058±0,086	0,31±0,68
	%	-98	-98	-99	-93
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	1990–1998 (I)	33,5±23,2	16,4±12,5	4,48±6,65	9,72±14,9
	1999–2020 (II)	1,02±0,98	0,55±0,68	0,18±0,20	0,43±0,79
	%	-97	-97	-96	-96
р. Адагум, г. Крымск	1990–1998 (I)	5,49±3,29	4,46±4,13	0,80±0,89	1,16±2,20
	1999–2020 (II)	0,47±0,91	0,25±0,42	0,27±0,82	0,012±0,012
	%	-91	-94	-66	-99

Примечание: *относительные изменения средних значений.

На всех рассматриваемых участках и во все сезоны года сток нефтепродуктов характеризовался однонаправленной динамикой. В общей сложности на участках, расположенных по длине р. Кубани, сток веществ сократился на 95–98 %. Вынос нефтепродуктов рукавами р. Кубани снизился на 61–90 %, притоками – на 66–99 %. Минимальные относительные изменения, характерные для нижнего течения р. Кубани, могут быть связаны с тем, что

устьевой участок подвержен наибольшей антропогенной нагрузке и принимает загрязняющие вещества с вышележащих участков.

4.2 Распределение модулей стока в пределах бассейна р. Кубани

На основе данных о концентрациях веществ и объемах водного стока рассчитаны модули стока химических веществ для 11 пунктов наблюдений, расположенных по длине р. Кубани и ее основных притоков (рр. Лаба, Белая, Пшеха, Пшиш, Псекупс, Афипс и Адагум). Водосборы рассматриваемых участков рек занимают около 80 % площади бассейна р. Кубани. Исходя из этого, данные о модулях стока изучаемых участков характеризуют интенсивность выноса химических веществ на большей части бассейна реки.

Для анализа пространственной изменчивости модулей стока использован подход, предложенный исследователями из ИВП РАН при разработке атласа «Гидрохимический сток рек Европейской части России» [26]. Путем вычитания среднесноголетних значений (за период 1990–2020 гг.) на расчетном и вышележащем пункте наблюдений получали показатели химического стока частных водосборов. «Такой методический подход увеличивает детальность проводимых оценок и их надежность» [26, с. 9]. Для визуального представления полученных результатов выполнено ранжирование модулей стока от меньшего к большему с присвоением соответствующего цвета.

Кроме того, на основе ранее выделенных контрастных периодов разной продолжительности (раздел 4.1), путем усреднения определены общие характерные периоды стока отдельных химических веществ для всего водосбора р. Кубани. Для этих периодов были рассчитаны среднесноголетние модули стока веществ по каждому пункту наблюдений без вычитания значений на расчетном и вышележащем участках (т. е. для всей площади, относящейся к пункту наблюдений). На рисунках 4.6–4.14 в круговых значках в числителе представлены средние значения модулей стока базового периода, в знаменателе – современного.

Таким образом, среднемноголетние значения модулей стока частных водосборов позволяют выделить области формирования стока веществ, а расчет модулей стока для пунктов наблюдений за выделенные временные интервалы дает возможность проследить временную изменчивость в пределах водосбора.

При детальном рассмотрении пространственного распределения модулей стока прослеживается неоднородность интенсивности выноса химических веществ в пределах водосборной площади.

Модули стока веществ на участке р. Кубань – г. Краснодар ($F = 45000 \text{ км}^2$) характеризует интенсивность выноса веществ для водосбора р. Кубани в целом. Так, для ионного стока во втором периоде (2004–2020 гг.) значение модуля ионного стока на участке снизилось от 90,9 до 81,7 т/км² в год (на 10 %). Наибольшие относительные изменения характерны для участка р. Пшеха – г. Апшеронск (модуль ионного стока снизился на 47 %). В целом для всех пунктов наблюдений (кроме р. Белая – п. Гузерипль и г. Майкоп) наблюдалось снижение ИС (рисунок 4.6).

На условной линии Крымск – Смоленская – Горячий Ключ – Апшеронск – Хадыженск – Майкоп расположены пункты наблюдений, относящиеся к «закубанским» рекам и притокам среднего течения р. Кубани. Для этих водотоков характерны высокие значения модулей стока.

Максимальные значения модуля ИС наблюдаются в среднем течении р. Кубани. На участке от г. Армавира до ст-цы Ладожской с территории площадью ~2900 км² поступает около 273 т/км² в год главных ионов. По всей видимости, высокое значение модуля ионного стока обусловлено как совокупностью природных условий, так и техногенным влиянием. Река Кубань на данном участке протекает преимущественно в равнинной зоне. Течение становится более спокойным, возрастает температура воды. В районе ст-цы Темижбекской р. Кубань поворачивает на юго-запад и становится более извилистой [74]. Увеличивается вклад подземной составляющей в водном стоке, почвы существенно засолены [24]. Немногочисленные водотоки, протекающие в аналогичных природных условиях и впадающие в р. Кубань между г. Усть-

Лабинском и ст-цей Ладожской имели минерализацию от $1,0 \text{ г/дм}^3$ (период половодья) до $2\text{--}4 \text{ г/дм}^3$ и более (период межени) [122].

За период 1990–2020 гг. среднегодовое значение минерализации воды на рассматриваемом участке последовательно увеличивалось и составляло 459 мг/дм^3 в пункте наблюдений г. Армавир, 561 мг/дм^3 – г. Кропоткин, 609 мг/дм^3 – ст-ца Ладожская. Объемы водного стока (W) на г/п Армавир и г/п Ладожская в целом были близки по среднегодовым значениям ($\sim 4,2 \text{ км}^3$ за период 1990–2020 гг.). Загрязнение поверхностных вод здесь происходило за счет сброса недостаточно очищенных сточных вод, а основная доля забора воды приходилась на сельское хозяйство [148]. Равнинный характер данной территории способствует развитию орошаемого земледелия.

Основное формирование стока ОВ происходит в лесистой горной части бассейна. Об этом свидетельствуют высокие значения модулей стока ОВ по условной линии ст-ца Смоленская, г. Горячий Ключ, г. Апшеронск, г. Хадыженск, г. Майкоп (рисунок 4.7). В остальных частях водосбора модули стока распределялись более равномерно.

Среднемноголетние значения модуля стока ОВ за два периода на участке р. Кубань – г. Краснодар изменялись от $3,98$ до $2,84 \text{ т/км}^2$ в год. При этом в той или иной степени уменьшение значений модулей стока ОВ происходило во всех 11 рассматриваемых пунктах наблюдений (на $10\text{--}57 \%$).

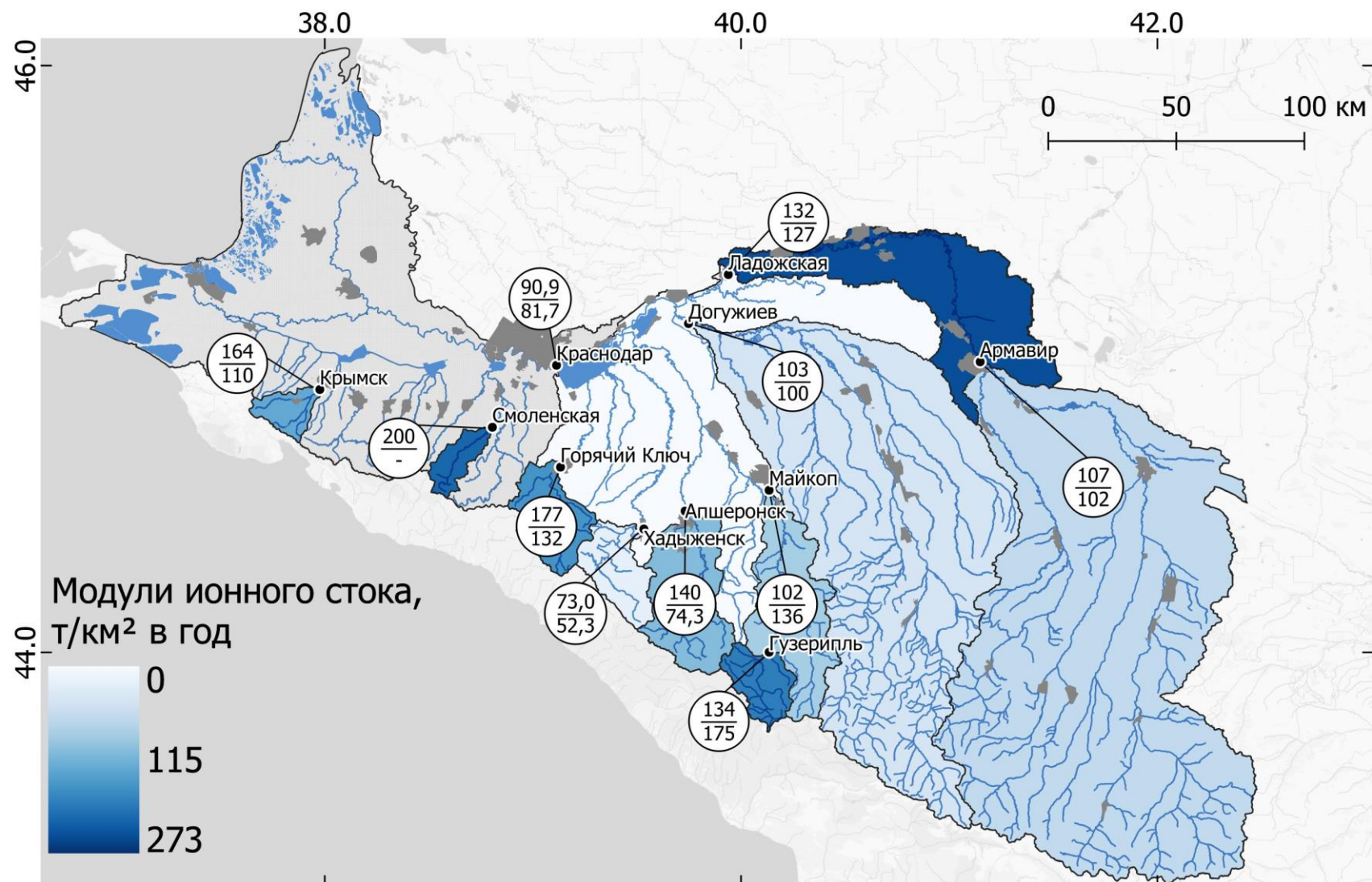


Рисунок 4.6 – Изменчивость модулей ионного стока в пределах бассейна р. Кубани [53]

(цветом отмечены среднемноголетние значения модулей стока для частных водосборов, в числителе – среднее значение модуля стока (т/км² в год) для пункта наблюдений за период 1990–2003 гг., в знаменателе – 2004–2020 гг.)

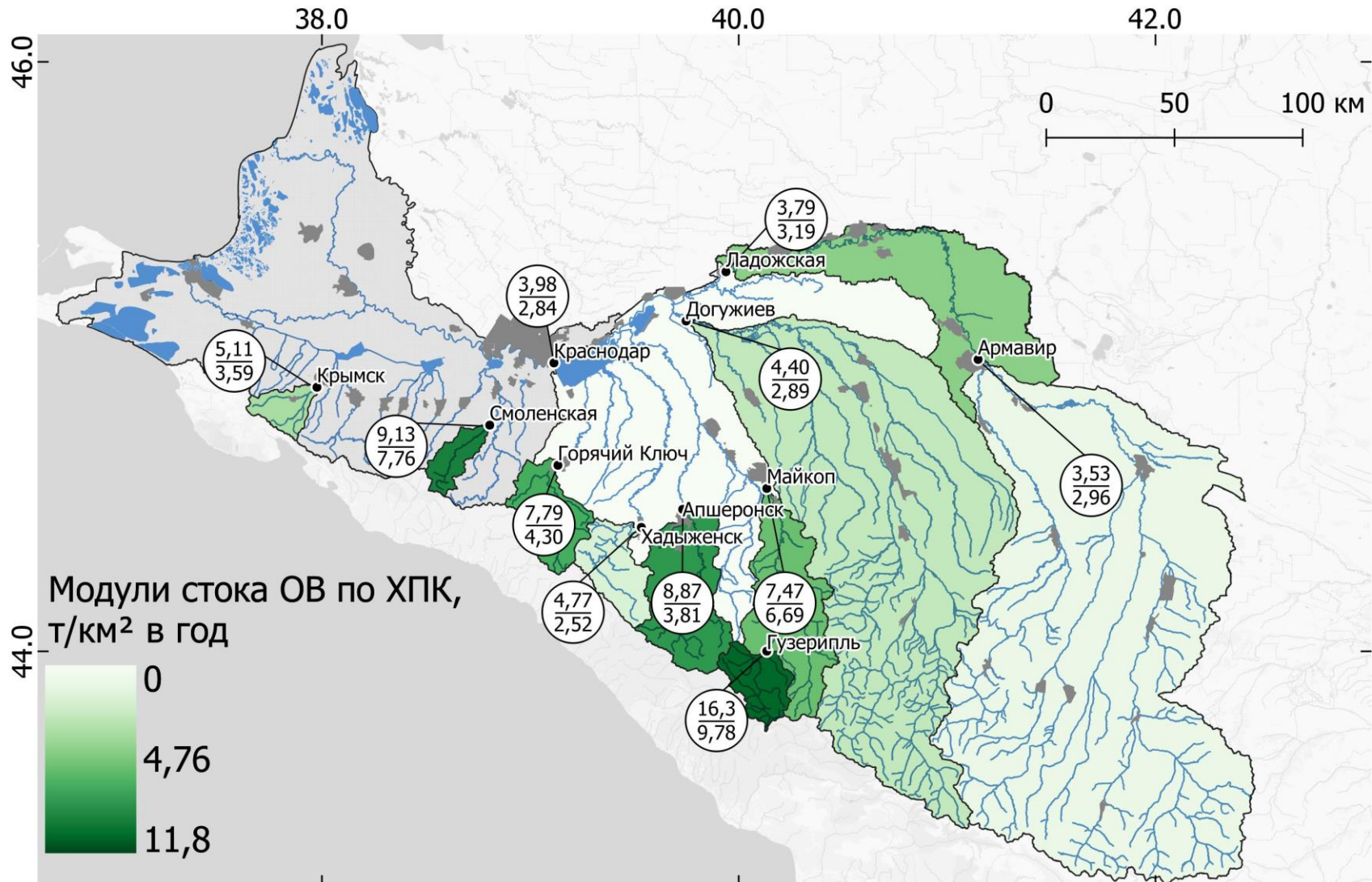


Рисунок 4.7 – Изменчивость модулей стока ОВ в пределах бассейна р. Кубани

(цветом отмечены среднемноголетние значения модулей стока для частных водосборов, в числителе – среднее значение модуля стока (т/км² в год) для пункта наблюдений за период 1990–2000 гг., в знаменателе – 2001–2020 гг.)

Интенсивный вынос $N-NH_4^+$ и $N-NO_2^-$ характерен для равнинной и предгорной частей бассейна р. Кубани (рисунки 4.8–4.9). Основные области формирования стока $N-NO_3^-$ относятся к восточной и юго-восточной частям водосбора (рисунок 4.10).

Повышенные значения стока $N-NH_4^+$ и $N-NO_2^-$ в равнинной и предгорной частях бассейна могут быть следствием как применения удобрений на данной территории, так и влияния Краснодарского водохранилища на сток биогенных веществ. В ряде работ было показано, что водохранилища могут оказывать значительное влияние на биогеохимические циклы [156, 159–161, 169]. Водоохранилища обычно удаляют биогенные вещества из речного стока ниже по течению [169]. Однако в отдельных работах отмечалась неоднозначность роли водохранилищ в формировании содержания аммонийного азота [159]. Может происходить значительное увеличение концентраций азота нитратного на участках рек ниже водохранилищ в отдельные месяцы [159].

В 2005–2020 гг. по сравнению с 1990–2004 гг. модули стока $N-NH_4^+$ увеличились на всех участках (на 25–194 %). Изменчивость модулей стока $N-NO_2^-$ и $N-NO_3^-$ имела разную направленность.

Пространственное распределение модулей стока соединений Fe, Cu и Zn также неоднородно в пределах водосбора р. Кубани (рисунки 4.11–4.13).

Наиболее высокие значения модуля стока соединений Fe (в среднем за период 1990–2020 гг.) характерны для участков р. Белая – п. Гузерибль, р. Белая – г. Майкоп, р. Пшеха – г. Апшеронск и р. Пшиш – г. Хадыженск. В среднем после 2006 г. значения модулей стока соединений Fe заметно снизились в пределах всей водосборной площади (на 32–86 %).

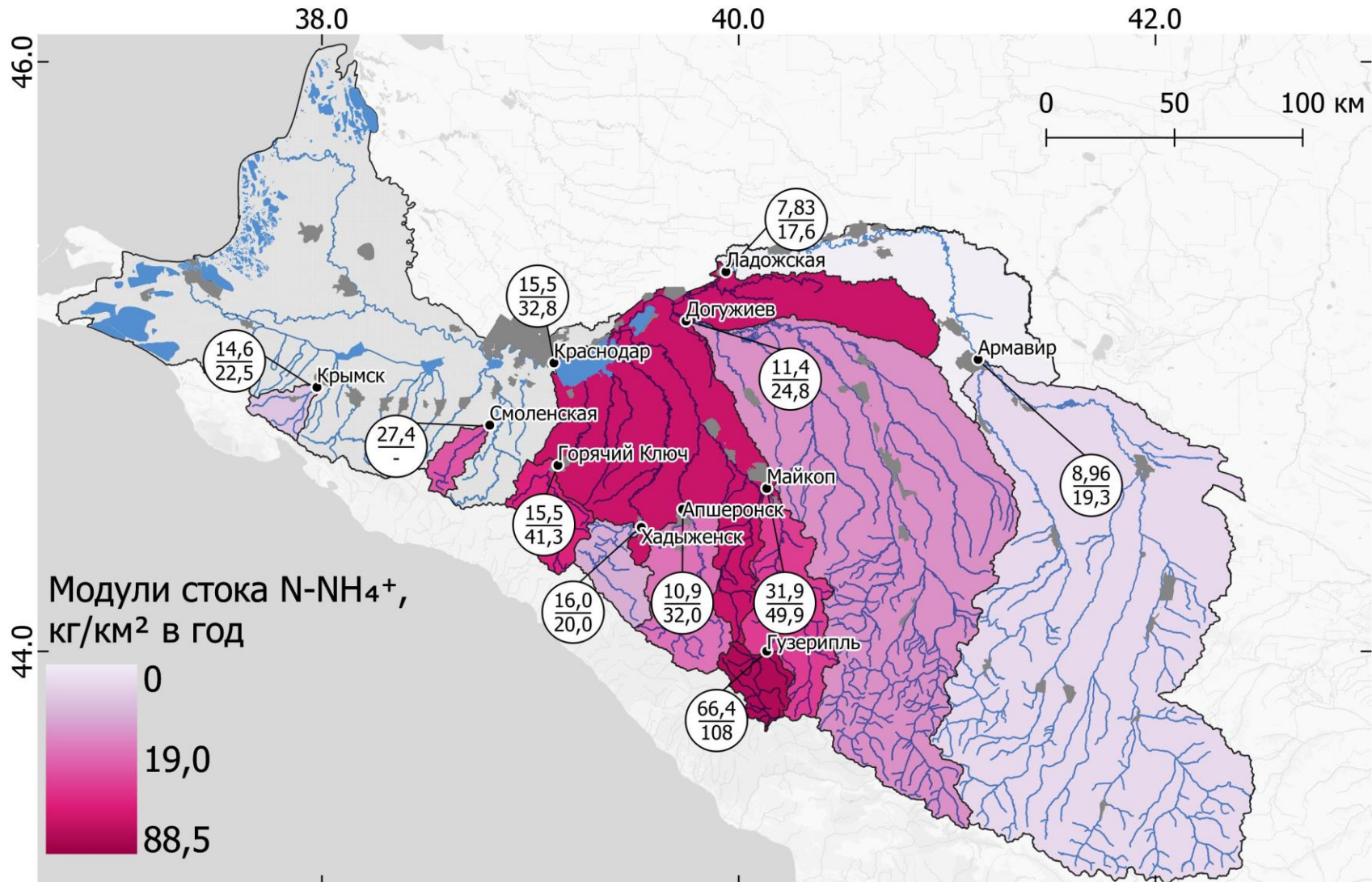


Рисунок 4.8 – Изменчивость модулей стока азота аммонийного в пределах бассейна р. Кубани (цветом отмечены среднеголетние значения модулей стока для частных водосборов, в числителе – среднее значение модуля стока (кг/км² в год) для пункта наблюдений за период 1990–2004 гг., в знаменателе – 2005–2020 гг.)

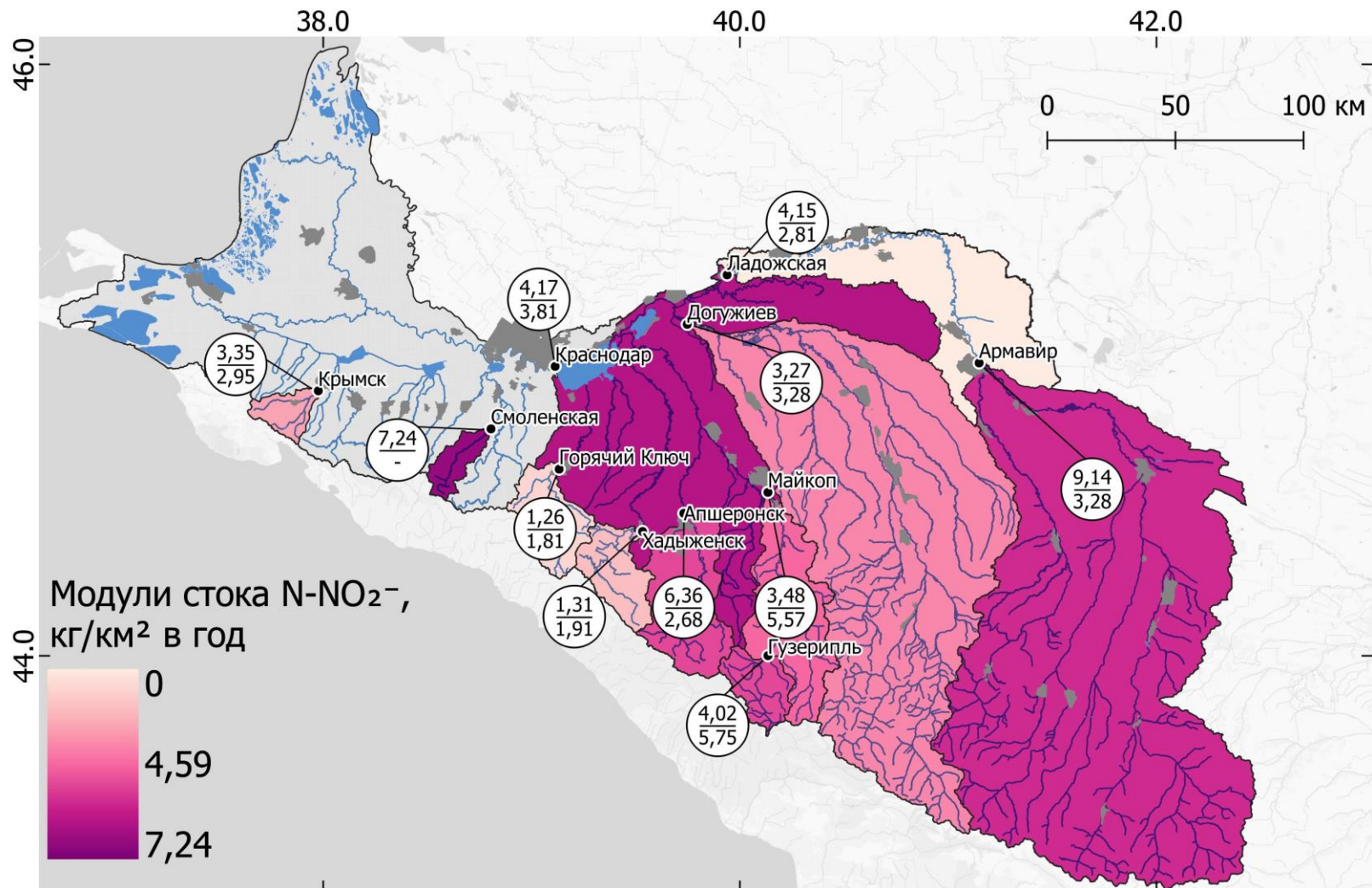


Рисунок 4.9 – Изменчивость модулей стока азота нитритного в пределах бассейна р. Кубани

(цветом отмечены среднемноголетние значения модулей стока для частных водосборов, в числителе – среднее значение модуля стока (кг/км² в год) для пункта наблюдений за период 1990–2004 гг., в знаменателе – 2005–2020 гг.)

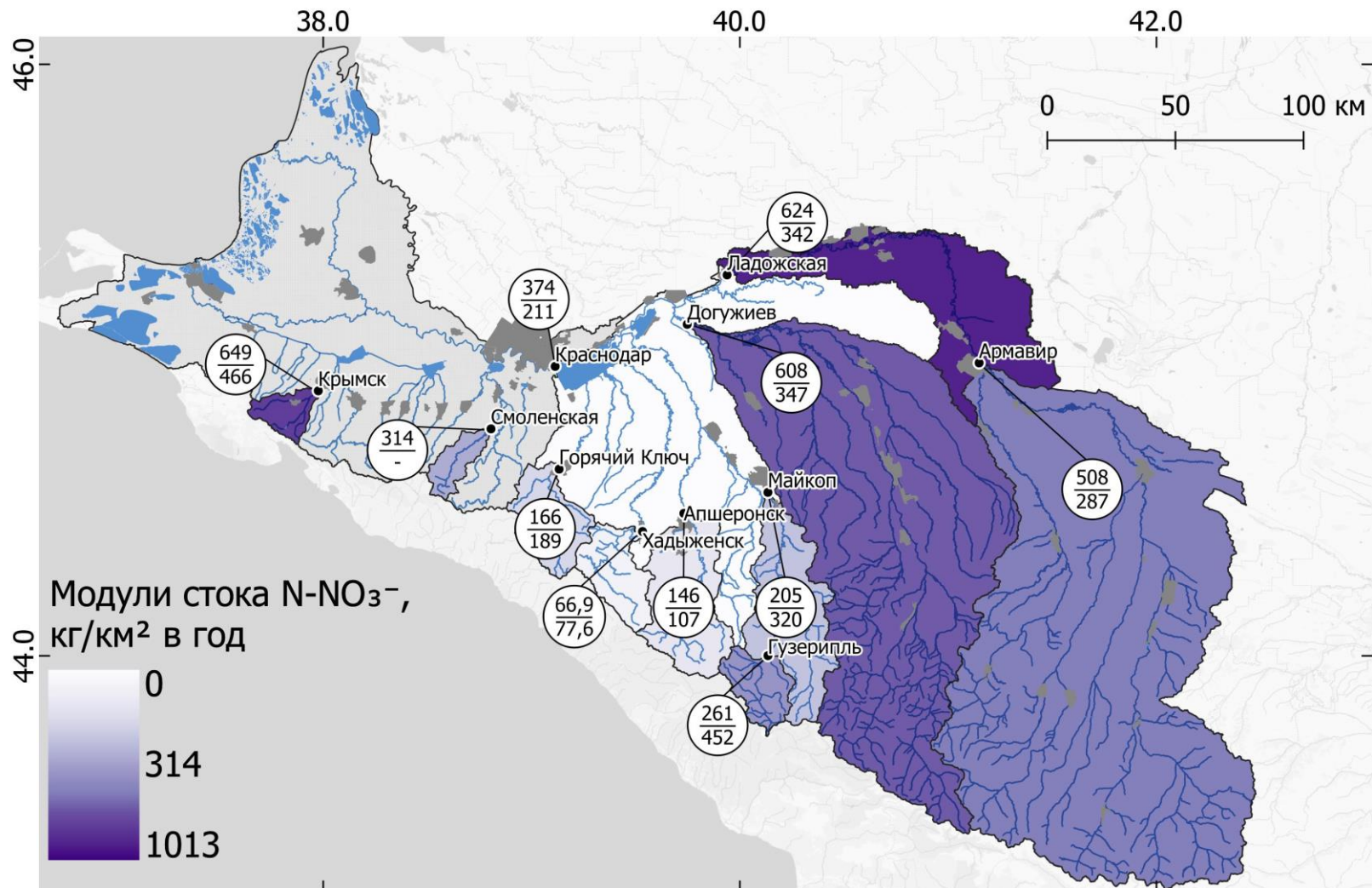


Рисунок 4.10 – Изменчивость модулей стока азота нитратного в пределах бассейна р. Кубани

(цветом отмечены среднемноголетние значения модулей стока для частных водосборов, в числителе – среднее значение модуля стока (кг/км² в год) для пункта наблюдений за период 1990–2005 гг., в знаменателе – 2006–2020 гг.)

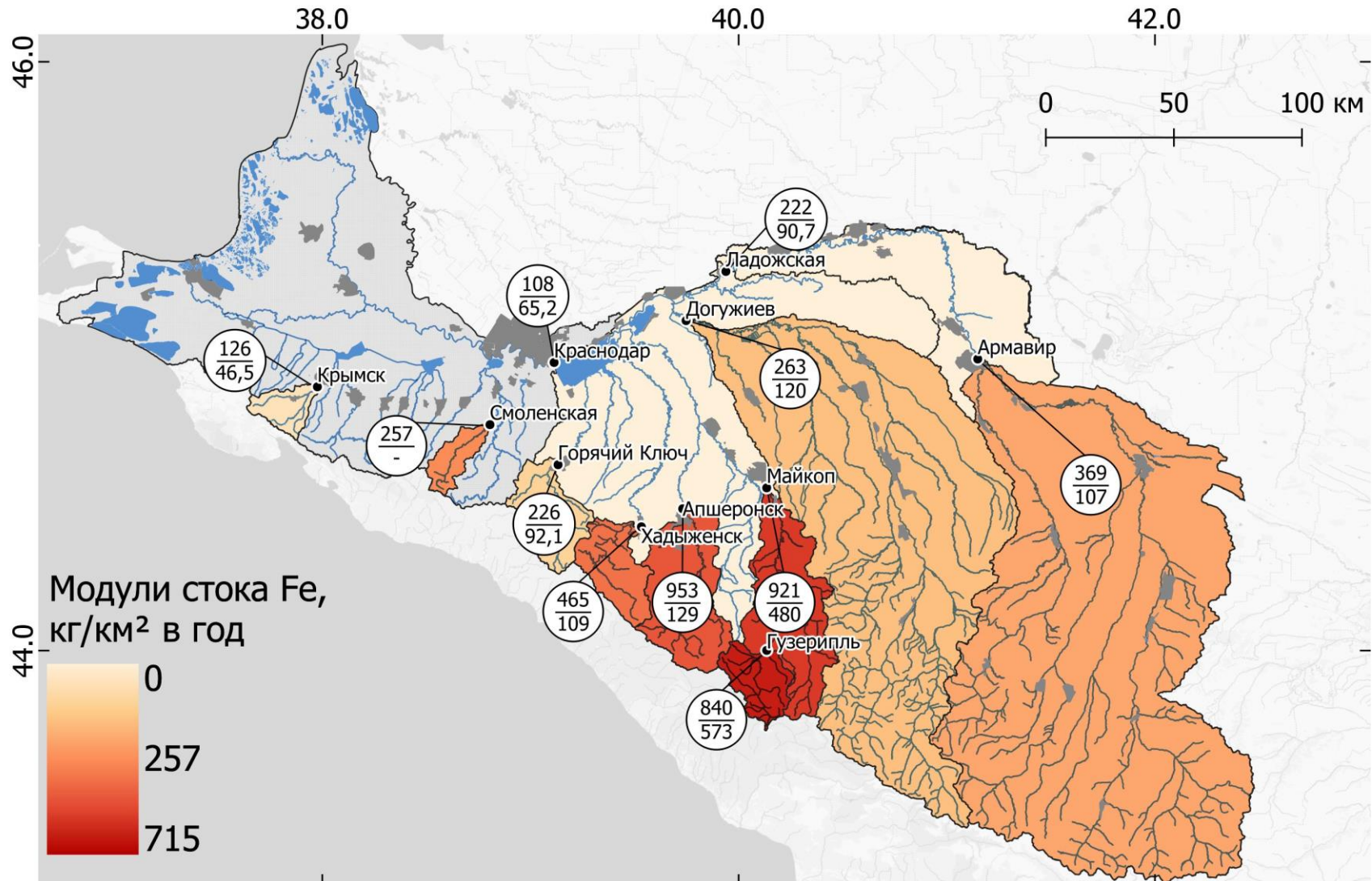


Рисунок 4.11 – Изменчивость модулей стока соединений железа в пределах бассейна р. Кубани (цветом отмечены среднеголетние значения модулей стока для частных водосборов, в числителе – среднее значение модуля стока (кг/км² в год) для пункта наблюдений за период 1990–2006 гг., в знаменателе – 2007–2020 гг.)

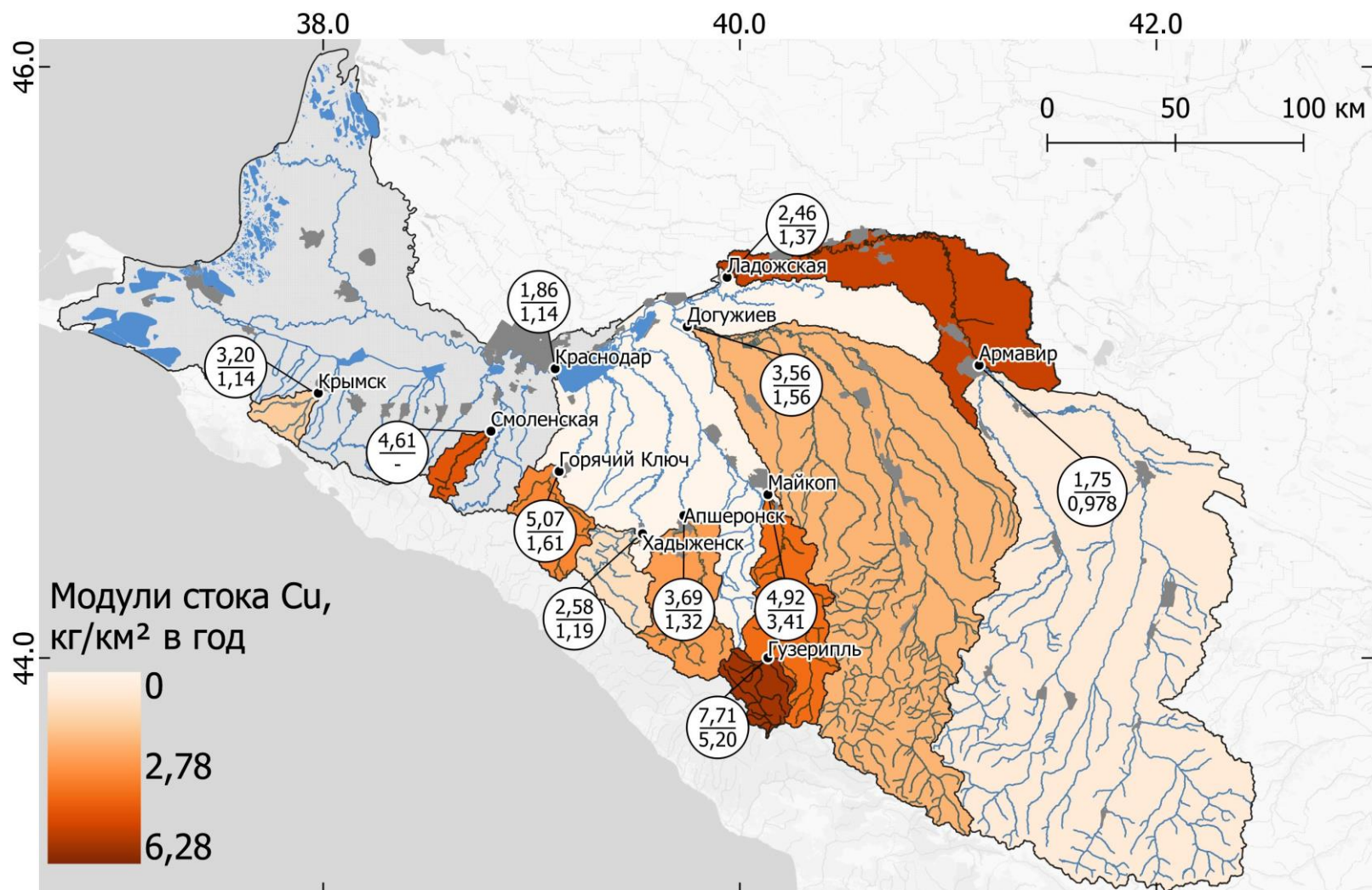


Рисунок 4.12 – Изменчивость модулей стока соединений меди в пределах бассейна р. Кубани (цветом отмечены среднемноголетние значения модулей стока для частных водосборов, в числителе – среднее значение модуля стока (кг/км² в год) для пункта наблюдений за период 1990–2003 гг., в знаменателе – 2004–2020 гг.)

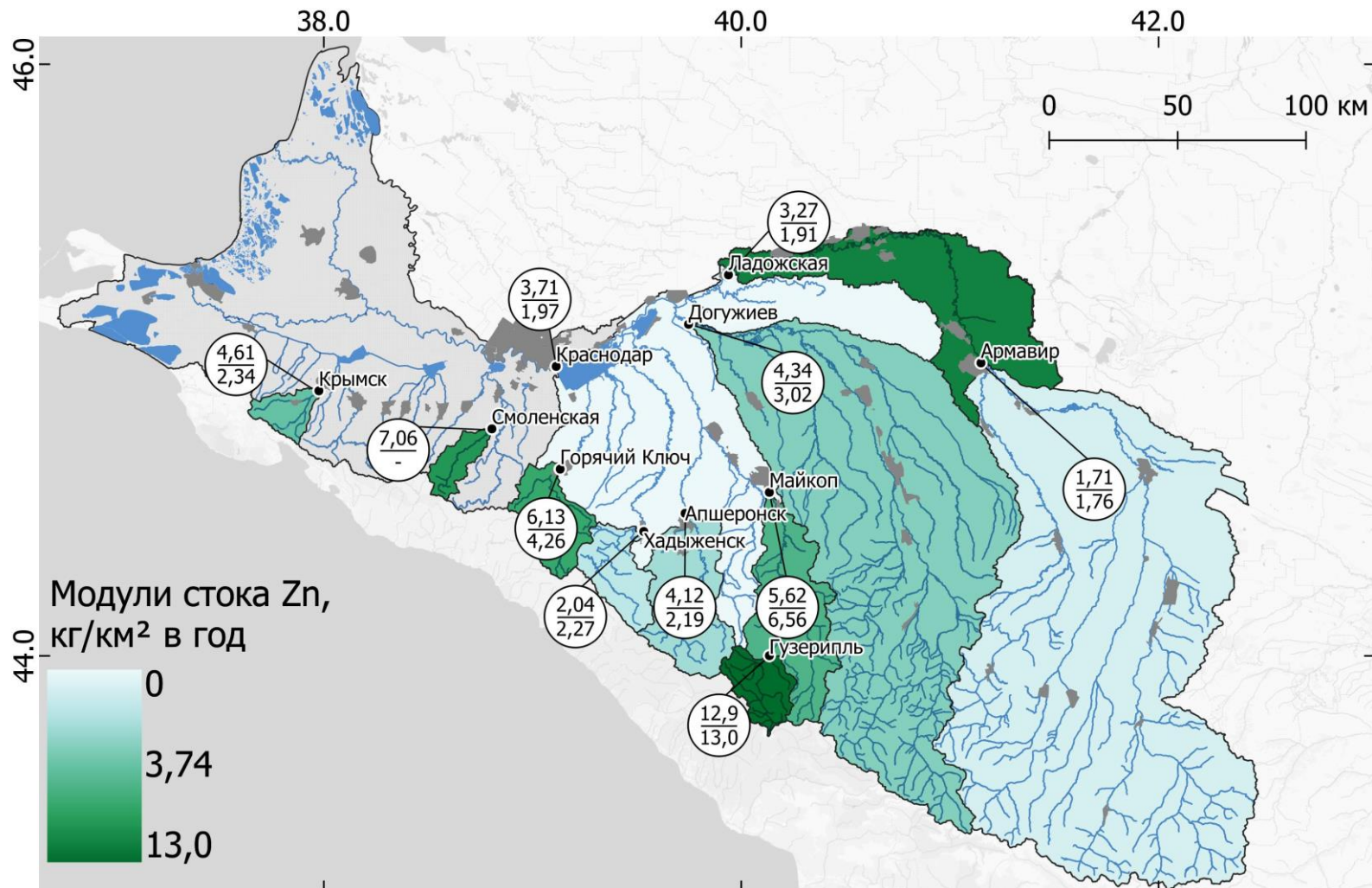


Рисунок 4.13 – Изменчивость модулей стока соединений цинка в пределах бассейна р. Кубани (цветом отмечены среднеголетние значения модулей стока для частных водосборов, в числителе – среднее значение модуля стока (кг/км² в год) для пункта наблюдений за период 1990–2005 гг., в знаменателе – 2006–2020 гг.)

В среднем за 1990–2020 гг. благодаря повышенным содержаниям соединений Си в верхнем течении рек бассейна среднемноголетний показатель выноса на некоторых участках мог достигать 6,28 кг/км² в год (на участке р. Белая – п. Гузерибль). Помимо этого, повышенные значения модуля стока соединений Си отмечались на участке от г. Армавира до ст-цы Ладожской. С территории площадью ~2900 км² поступает около 4,92 кг/км² в год соединений Си. Заметное снижение модулей стока компонента произошло в пределах всего водосбора после 2003 г. (на 31–68 %).

Существенные значения модулей стока соединений Zn (в среднем за период 1990–2020 гг.) установлены для следующих участков: от р. Кубань – г. Армавир до р. Кубань – ст-ца Ладожская, р. Белая – п. Гузерибль, р. Псекупс – г. Горячий Ключ; р. Афипс – ст-ца Смоленская. После 2005 г. в пределах водосбора произошли разнонаправленные изменения модулей стока соединений Zn.

Наиболее высокие значения модулей стока нефтепродуктов (в среднем за период 1990–2020 гг.) характерны для участков р. Белая – п. Гузерибль, р. Белая – г. Майкоп, р. Пшеха – г. Апшеронск, р. Пшиш – г. Хадыженск, р. Афипс – ст-ца Смоленская (рисунок 4.14). По всей видимости, это связано с тем, что здесь на водосборах происходит формирование водного стока.

В среднем после 1999 г. модули стока нефтепродуктов заметно снизились в пределах всей водосборной площади (на 88–98 %).

Таким образом, разработанные картосхемы пространственной изменчивости модулей стока веществ показали, что в пределах водосборной площади р. Кубани прослеживается неоднородность интенсивности выноса компонентов. Как известно, притоки р. Кубани переносят меньшее количество загрязняющих веществ, чем главная река, что положительно сказывается на качестве речных вод, особенно в местах впадения крупных притоков в р. Кубань [60]. К этому можно добавить, что положительное влияние на водотоки оказывает еще и то, что химический сток формируется преимущественно в районах, которые в меньшей степени подвержены антропогенному воздействию.

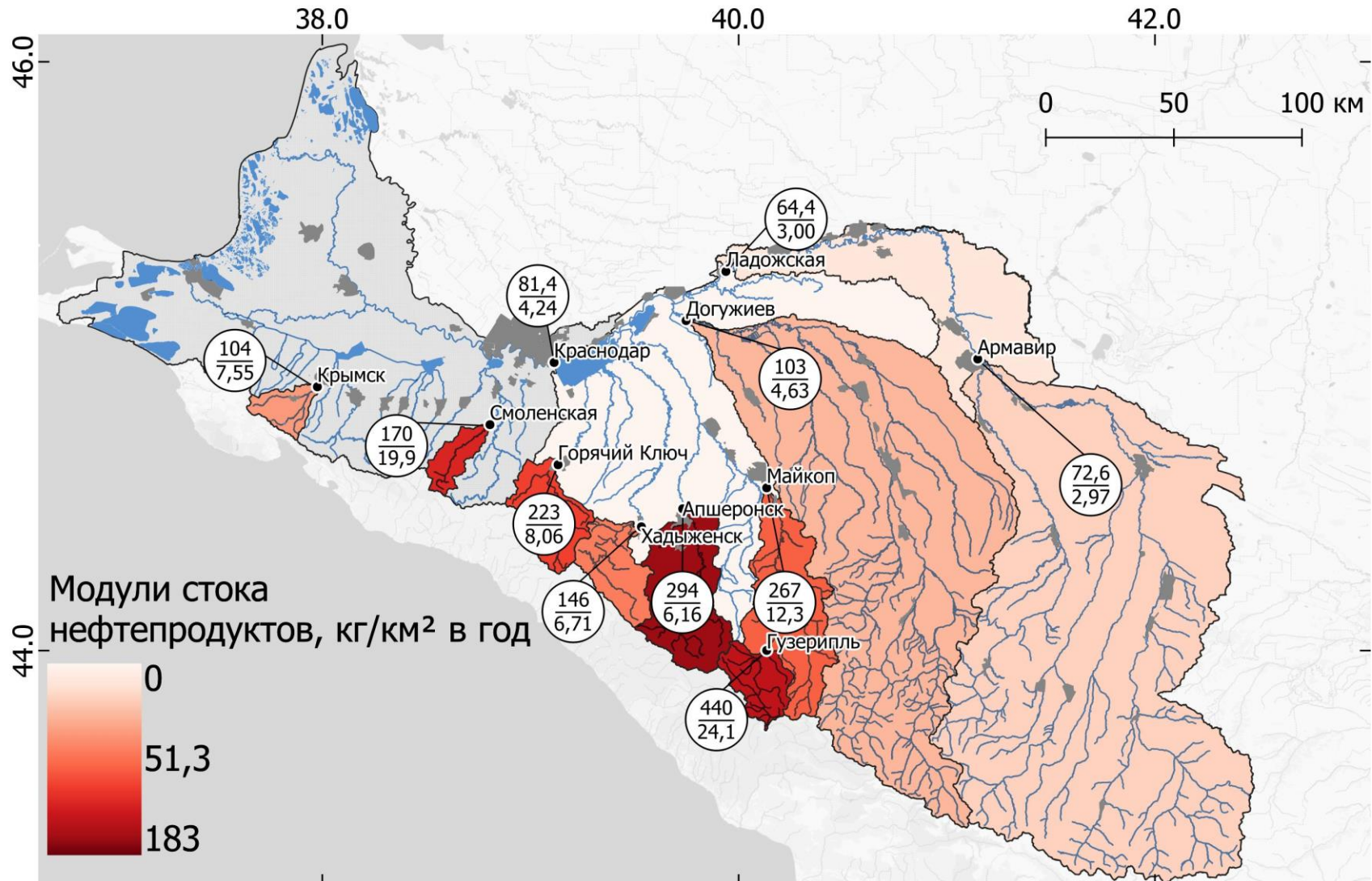


Рисунок 4.14 – Изменчивость модулей стока нефтепродуктов в пределах бассейна р. Кубани

(цветом отмечены среднемноголетние значения модулей стока для частных водосборов, в числителе – среднее значение модуля стока (кг/км² в год) для пункта наблюдений за период 1990–1999 гг., в знаменателе – 2000–2020 гг.)

4.3 Оценка изменений выноса химических веществ дельтовыми рукавами р. Кубани в Азовское море

Ранее исследования по оценке стока химических веществ реками бассейна Азовского моря проводились неоднократно. Вынос веществ р. Кубанью преимущественно оценивался по данным пункта наблюдений р. Кубань – х. Тиховский (111 км от устья [1]). Но в то же время недалеко от х. Тиховского река делится на рукава Кубань и Протока. Главным рукавом является Кубань. В 16 км от устья он разделяется на рук. Петрушин, рук. Казачий Ерик и протоку Переволока [74]. Здесь организованы пункты наблюдений рук. Петрушин – г. Темрюк (2,70 км от устья [1]) и рук. Протока – х. Слободка (9,40 км от устья [1]). На основе информации о стоке химических веществ в этих дельтовых рукавах р. Кубани могут быть получены сведения о временной динамике совместного выноса компонентов в Азовское море.

Вынос р. Кубанью химических веществ представляет особый интерес в связи с осолонением Азовского моря в современный период, значительной биогенной нагрузкой и поступлением загрязняющих веществ в море с речным стоком [9, 29, 65–67, 140, 145, 154]. В Азовское море пресные речные воды поступают в основном за счет стока Дона и Кубани [9]. По разным оценкам, доля водного стока последней составляет около 30–35 % [66, 145, 154]. В связи с этим оценка многолетней и сезонной изменчивости выноса химических веществ дельтовыми рукавами р. Кубани в Азовское море представляется актуальной, особенно в условиях антропогенного воздействия и климатических изменений.

Статистически значимые тенденции совместного выноса по двум дельтовым рукавам р. Кубани в Азовское море выявлены для ионного стока ($r = -0,35$, $p < 0,05$), Ca^{2+} ($r = -0,63$, $p < 0,05$), Mg^{2+} ($r = -0,31$, $p < 0,05$), SO_4^{2-} ($r = -0,29$, $p < 0,05$), Cl^- ($r = -0,70$, $p < 0,05$), N-NH_4^+ ($r = -0,62$, $p < 0,05$), N-NO_2^- ($r = -0,56$, $p < 0,05$), Fe ($r = -0,65$, $p < 0,05$), Cu ($r = -0,58$, $p < 0,05$), Zn ($r = -0,57$, $p < 0,05$) и нефтепродуктов ($r = -0,69$, $p < 0,05$). Представленные в таблице 4.25 выделенные с

помощью разностно-интегральных кривых временные периоды разной продолжительности позволили оценить изменчивость стока этих показателей.

Таблица 4.25 – Изменчивость выноса химических веществ дельтовыми рукавами р. Кубани в Азовское море

Компонент	Периоды	Вынос химических веществ в Азовское море, тыс. т/год		
		Совместный сток в Азовское море	рук. Петрушин, г. Темрюк	рук. Протока, х. Слободка
Ионный сток	1990–2006 (I)	5307±1175	2271±532	3036±674
	2007–2020 (II)	3976±717	1923±376	2053±365
Ca ²⁺	1990–2005 (I)	600±127	267±66,0	333±65,0
	2006–2020 (II)	311±96,6	151±43,7	160±55,4
Mg ²⁺	1990–2005 (I)	204±40,8	87,3±22,5	117±20,4
	2006–2020 (II)	161±28,2	76,9±15,2	84,5±14,7
SO ₄ ²⁻	1990–2006 (I)	1588±453	685±182	903±282
	2007–2020 (II)	1204±193	588±100	616±97,0
Cl ⁻	1990–2005 (I)	606±131	217±52,3	389±98,7
	2006–2020 (II)	338±58,3	142±20,4	196±47,7
N-NH ₄ ⁺	1990–2004 (I)	3,42±1,75	1,69±0,82	1,73±0,98
	2005–2020 (II)	1,21±0,23	0,60±0,14	0,61±0,16
N-NO ₂ ⁻	1990–2005 (I)	0,29±0,083	0,13±0,031	0,16±0,065
	2006–2020 (II)	0,15±0,038	0,070±0,017	0,079±0,023
Fe	1990–2006 (I)	3,09±1,12	1,24±0,47	1,85±0,71
	2007–2020 (II)	0,86±0,41	0,40±0,19	0,46±0,23
Cu*	1990–2006 (I)	28,7±9,05	13,7±5,43	15,0±4,18
	2007–2020 (II)	16,4±3,80	7,59±1,57	8,82±2,66
Zn*	1990–2005 (I)	168±47,7	57,8±21,0	110±36,0
	2006–2020 (II)	69,7±14,0	32,8±5,62	36,9±9,14
Нефтепродукты	1990–1998 (I)	4,39±2,70	1,95±0,91	2,44±1,96
	1999–2020 (II)	1,04±0,48	0,49±0,23	0,55±0,26

Примечание: *выражено в т/год.

Наибольшие значения выноса Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻ и в целом суммы главных ионов характерны для 1990–2005/2006 гг., N-NH₄⁺ и N-NO₂⁻ – 1990–2004/2005 гг., соединений Fe, Cu, Zn – 1990–2005/2006 гг., нефтепродуктов – 1990–1998 гг. При этом в течение данных временных промежутков через рук. Протока в Азовское море выносилось больше химических веществ, чем через

рук. Петрушин. Разница в выносе веществ по дельтовым рукавам изменялась в широких пределах от 2 до 90 %.

В режиме стока химических веществ произошли изменения, которые проявились в снижении средних значений. Совместный вынос компонентов дельтовыми рукавами р. Кубани в Азовское море в современный период (II) сократился на 21–76 % (рисунок 4.15). При этом наиболее значительное снижение стока большей части компонентов характерно для рук. Протока.

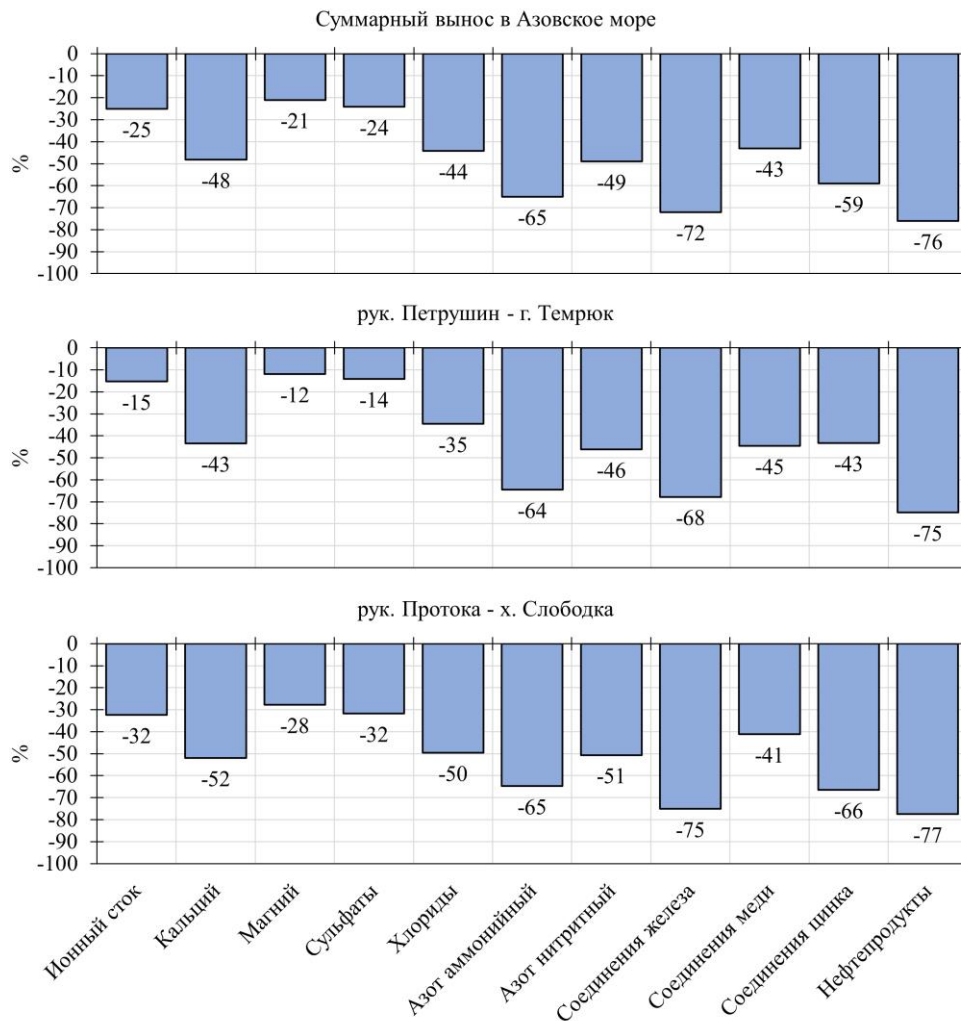


Рисунок 4.15 – Относительные изменения средних значений выноса химических веществ дельтовыми рукавами р. Кубани в Азовское море

После произошедшего уменьшения стока компонентов разница в выносе химических веществ через рук. Петрушин и рук. Протока сократилась по

большинству компонентов. Для Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- и ионного стока она снижалась от 25–79 % до 5–38 %, для N-NO_2^- – от 23 % до 13 %, для Fe – от 49 % до 15 %, для Zn – от 90 % до 13 %, для нефтепродуктов – от 25 % до 12 %. Более равномерное распределение стока данных веществ по рукавам дельты р. Кубани может быть связано как с вводом в эксплуатацию Тиховского гидроузла, который искусственно распределяет сток воды по рукавам Кубань, Протока и каналу Петровско-Анастасиевской оросительной системы [24, 77], так и с изменениями в хозяйственной деятельности на этом участке.

Расчеты сезонных значений стока отдельных химических веществ в целом свидетельствуют об уменьшении выноса компонентов в Азовское море и более равномерном распределении стока веществ по рукавам дельты р. Кубани при смене характерных фаз, что указывает на общие черты в направленности сезонных и многолетних изменений (таблица 4.26). При этом сезонное распределение объемов стока растворенных веществ по исследуемым рукавам дельты р. Кубани также соответствует изменению водного стока.

Из-за антропогенного воздействия в совокупности с природными факторами на протяжении XX в. водный сток р. Кубани претерпевал существенные изменения. Вместе с этим после зарегулирования внутригодовая изменчивость водного стока р. Кубани стала характеризоваться более равномерным распределением в течение года [141]. В нижнем течении водный сток р. Кубани почти поровну делится по основным дельтовым рукавам и поступает в Азовское море. За период 1990–2005 гг. через рук. Петрушин в море поступало $5,66 \text{ км}^3/\text{год}$ воды (г/п Темрюк), через рук. Протока – $6,23 \text{ км}^3/\text{год}$ (г/п Слободка). В 2005–2020 гг. распределение стока по рукавам р. Кубани стало более равномерным. Среднее значение годового водного стока составило $5,17 \text{ км}^3/\text{год}$ в г/п Темрюк и $5,19 \text{ км}^3/\text{год}$ в г/п Слободка соответственно.

Таблица 4.26 – Сезонная изменчивость вынос отдельных химических веществ дельтовыми рукавами р. Кубани в контрастные периоды, тыс. т/месяц

Компонент	Периоды	рук. Петрушин – г. Темрюк				рук. Протока – х. Слободка			
		Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Ионный сток	1990–2006 (I)	203±77,9	225±61,3	201±82,4	167±84,8	207±82,8	312±97,1	312±95,1	221±132
	2007–2020 (II)	155±54,9	196±64,7	189±67,9	119±34,8	155±32,8	210±55,5	210±62,4	127±35,8
	%*	-24	-13	-6	-29	-25	-33	-33	-43
Ca ²⁺	1990–2005 (I)	27,4±10,2	27,5±8,81	21,6±10,1	19,0±8,88	24,8±12,2	35,9±12,3	33,0±11,6	23,5±12,2
	2006–2020 (II)	11,2±4,68	15,1±5,87	15,0±6,12	9,58±3,35	11,0±4,23	15,8±6,49	16,9±7,51	10,5±3,27
	%	-59	-45	-31	-50	-56	-56	-49	-55
Mg ²⁺	1990–2005 (I)	9,19±3,88	8,74±2,25	6,76±3,39	6,31±3,71	9,25±4,60	12,1±3,94	11,5±4,53	7,23±3,36
	2006–2020 (II)	5,85±2,75	7,78±3,01	7,47±3,07	4,97±1,80	6,31±1,71	8,59±3,02	8,57±2,85	5,21±1,70
	%	-36	-11	+11	-21	-32	-29	-25	-28
SO ₄ ²⁻	1990–2006 (I)	60,4±25,5	64,0±17,3	62,9±25,3	52,8±32,9	59,5±23,8	88,1±32,2	92,6±34,9	71,8±51,8
	2007–2020 (II)	47,3±17,5	59,6±17,1	57,8±20,2	35,9±8,01	45,3±10,5	61,8±14,0	63,9±18,1	39,5±9,82
	%	-22	-7	-8	-32	-24	-30	-31	-45
Cl ⁻	1990–2005 (I)	17,1±7,24	20,6±7,56	19,6±8,95	14,9±7,46	24,2±16,0	36,8±18,6	41,0±17,1	25,8±15,7
	2006–2020 (II)	10,5±3,43	14,2±4,09	14,0±4,56	8,51±1,88	13,6±4,43	20,1±7,99	19,7±6,50	11,8±3,45
	%	-39	-31	-29	-43	-44	-45	-52	-54
N-NH ₄ ⁺ **	1990–2004 (I)	161±113	135±95,3	120±102	122±121	163±124	157±147	132±91,2	142±153
	2005–2020 (II)	33,7±18,2	53,3±20,5	70,6±23,9	40,6±12,7	30,9±13,2	51,2±23,9	74,7±27,1	40,5±11,1
	%	-79	-61	-41	-67	-81	-67	-43	-71

Компонент	Периоды	рук. Петрушин – г. Темрюк				рук. Протока – х. Слободка			
		Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
N-NO ₂ ^{-**}	1990–2005 (I)	12,1±5,96	13,5±6,03	11,0±6,05	7,80±4,12	11,7±5,84	17,2±8,09	17,7±18,7	8,96±5,47
	2006–2020 (II)	4,21±2,20	6,80±3,05	7,44±2,84	4,81±1,70	4,47±3,13	7,37±3,55	9,06±3,80	4,84±1,61
	%	-65	-50	-32	-38	-62	-57	-49	-46
Fe**	1990–2006 (I)	110±80,8	132±110	126±82,5	59,3±33,5	124±85,5	228±216	190±118	111±104
	2007–2020 (II)	30,4±19,6	38,3±21,4	41,0±23,8	24,5±12,5	33,6±23,7	44,5±25,0	50,5±31,6	26,7±10,0
	%	-72	-71	-67	-59	-73	-80	-73	-76
Cu**	1990–2006 (I)	0,96±0,52	1,26±0,67	1,45±1,70	0,91±0,54	0,93±0,50	1,34±0,68	1,76±1,33	1,10±0,88
	2007–2020 (II)	0,46±0,30	0,79±0,38	0,88±0,38	0,43±0,23	0,56±0,31	0,89±0,49	1,03±0,45	0,50±0,29
	%	-52	-37	-39	-53	-40	-34	-41	-55
Zn**	1990–2005 (I)	4,93±3,57	5,15±2,25	5,57±3,45	4,03±2,13	6,28±3,82	9,30±5,27	10,6±6,15	8,06±4,80
	2006–2020 (II)	2,21±0,73	3,25±1,15	3,41±0,98	1,99±0,50	2,56±0,73	3,69±1,49	3,86±1,51	2,25±0,70
	%	-55	-37	-39	-51	-59	-60	-64	-72
Нефтепродукты**	1990–1998 (I)	162±146	166±	137±109	173±178	177±280	178±160	190±129	239±368
	1999–2020 (II)	33,6±25,9	51,9±	53,0±40,1	28,3±15,7	34,9±26,3	53,6±41,5	63,0±44,2	34,0±20,4
	%	-79	-69	-61	-84	-80	-70	-67	-86

Примечания: *относительные изменения средних значений; **выражено в т/месяц.

Ретроспективный анализ свидетельствует о трансформации химического стока в нижнем течении р. Кубани вследствие хозяйственной деятельности. К концу XX в. сток растворенных веществ постепенно нарастал [44, 59, 63]. При этом происходило увеличение антропогенной доли в стоке химических веществ [13, 59, 61, 63, 98].

Таким образом, изменения в выносе рассмотренных химических веществ в Азовское море и их распределении по дельтовым рукавам р. Кубани за период 1990–2020 гг. связаны с хозяйственной деятельностью на этом участке.

4.4 Сверхнормативный сток химических веществ

В ряде работ оценка антропогенной нагрузки проводилась на основе сравнения стока загрязняющих веществ с допустимым стоком по ПДК [91, 95, 102]. Кроме того, в соответствии с [121] при оценке антропогенного влияния, помимо определения антропогенной составляющей стока веществ, алгоритм расчета включает в себя оценку сверхнормативного стока загрязняющих веществ. Как отмечалось в работе О. А. Клименко с соавторами, «характеристики выноса (массопереноса) загрязняющих веществ с речным водным стоком являются существенным дополнением оценок качества воды в створах систематических гидрохимических наблюдений. Для перехода к качеству воды в данном случае используют значения сверхнормативного выноса (массопереноса) загрязняющих веществ. Весьма важной данная характеристика является для оценки влияния на качество речной воды притоков первого порядка и рассредоточенного поступления в реку загрязняющих веществ со склоновыми водами с водосбора и подземным водным стоком» [47, с. 191].

С использованием данных гидрохимического и гидрологического мониторинга проведен расчет средних значений сверхнормативного стока химических веществ в пунктах наблюдений бассейна р. Кубани за период 1990–2020 гг. Анализ полученных результатов показал, что нормативный вынос

превышали SO_4^{2-} , OB , N-NO_2^- , соединения Fe, Cu, Zn и нефтепродукты (таблица 4.27).

Таблица 4.27 – Среднемноголетние значения сверхнормативного стока отдельных химических веществ в бассейне р. Кубани за период 1990–2020 гг., %

Водный объект, пункт наблюдений	SO_4^{2-}	OB	N-NO_2^-	Fe	Cu	Zn	Нефтепродукты
р. Кубань, г. Армавир	75	12	22	847	430	–	113
р. Кубань, ст-ца Ладожская	155	42	–	624	726	12	115
р. Кубань, г. Краснодар	–	6	–	225	442	4	112
р. Кубань, х. Тиховский	10	71	5	107	102	–	281
рук. Петрушин, г. Темрюк	18	72	–	59	99	–	224
рук. Казачий Ерик, х. Дубовый Рынок	20	84	–	67	113	–	250
рук. Протока, г. Славянск-на-Кубани	8	70	–	85	86	–	229
рук. Протока, х. Слободка	34	73	4	113	112	27	253
р. Лаба, х. Догужиев	–	–	–	488	623	9	94
р. Белая, п. Гузерицль	–	–	–	287	240	–	65
р. Белая, г. Майкоп	–	–	–	752	374	–	95
р. Пшиш, г. Хадыженск	–	–	–	606	341	–	132
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	–	–	–	206	464	10	139
р. Адагум, г. Крымск	–	18	–	216	582	9	181
Примечание: прочерк означает, что в среднем за период 1990–2020 гг. нормативный сток превышен не был.							

Анализ полученных результатов показал, что в среднемноголетнем отношении превышения нормативного стока SO_4^{2-} и OB часто отмечались по

длине р. Кубани и рукавов дельты, $N-NO_2^-$ и соединений Zn – в отдельных немногочисленных пунктах наблюдений, соединений Fe, Cu и нефтепродуктов – на всех рассматриваемых в работе участках.

Для анализа временной изменчивости на основе выделенных ранее контрастных периодов разной продолжительности (раздел 4.1), рассчитывался сверхнормативный сток отдельных химических веществ. Базовый период отмечался как «I», современный – «II».

Сопоставление величин сверхнормативного выноса SO_4^{2-} в ранее выделенные контрастные периоды показал, что снижение стока SO_4^{2-} на участке рук. Протока – х. Слободка привело к уменьшению их сверхнормативного переноса от 44 % в течение базового периода до 22 % в современный.

На участке р. Кубань – г. Краснодар произошло снижение сверхнормативного стока ОВ от 26 % в 1990–2002 гг. (I) до отрицательных значений в 2003–2020 гг. (II). Изменчивость стока веществ на рассматриваемом участке главных образом вызвано снижением количества поступающих в водоток веществ. В остальных пунктах наблюдений колебания сверхнормативного стока ОВ характеризовались сложной динамикой без выраженных тенденций.

Сопоставление полученных результатов для отдельных контрастных периодов показывает, что произошел спад сверхнормативного переноса $N-NO_2^-$ до отрицательных значений в отдельных пунктах наблюдений, расположенных по длине р. Кубани и ее дельтовых рукавов (рисунок 4.16).

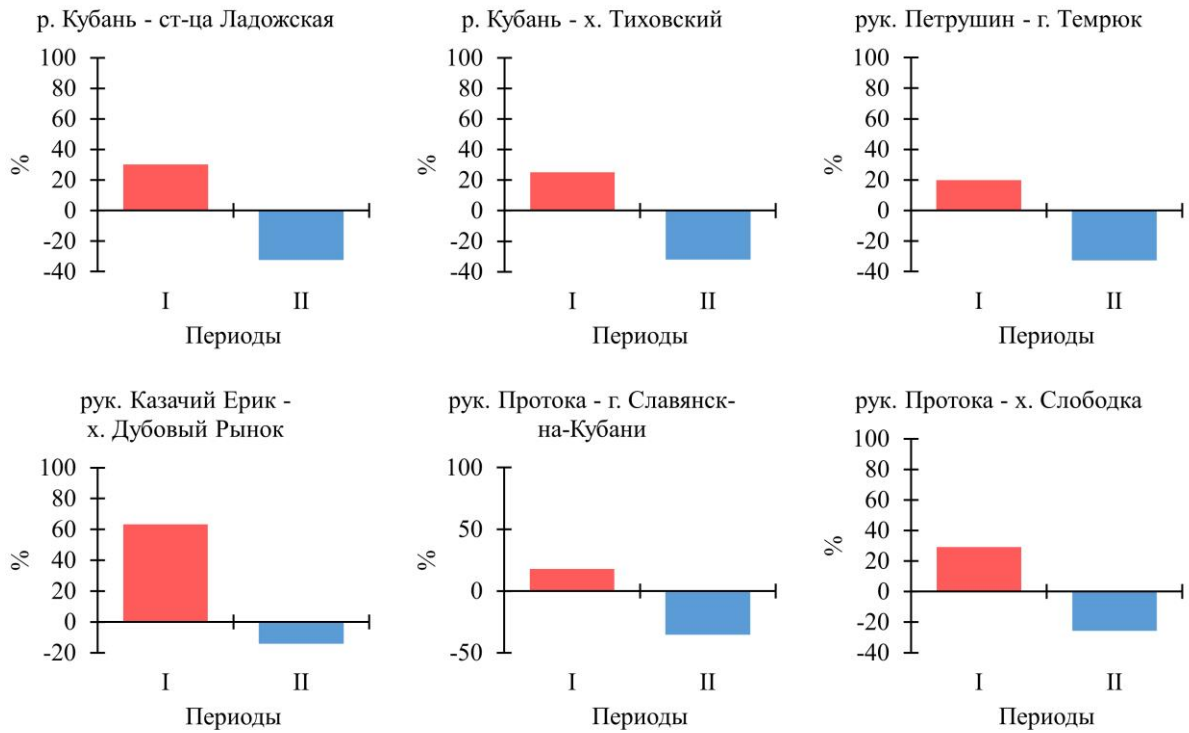


Рисунок 4.16 – Изменчивость сверхнормативного стока азота нитритного на участках р. Кубани и дельтовых рукавов

Сопоставление величин сверхнормативного выноса соединений Fe, Cu и Zn в контрастные периоды также свидетельствует о сокращении показателя (рисунки 4.17–4.19).

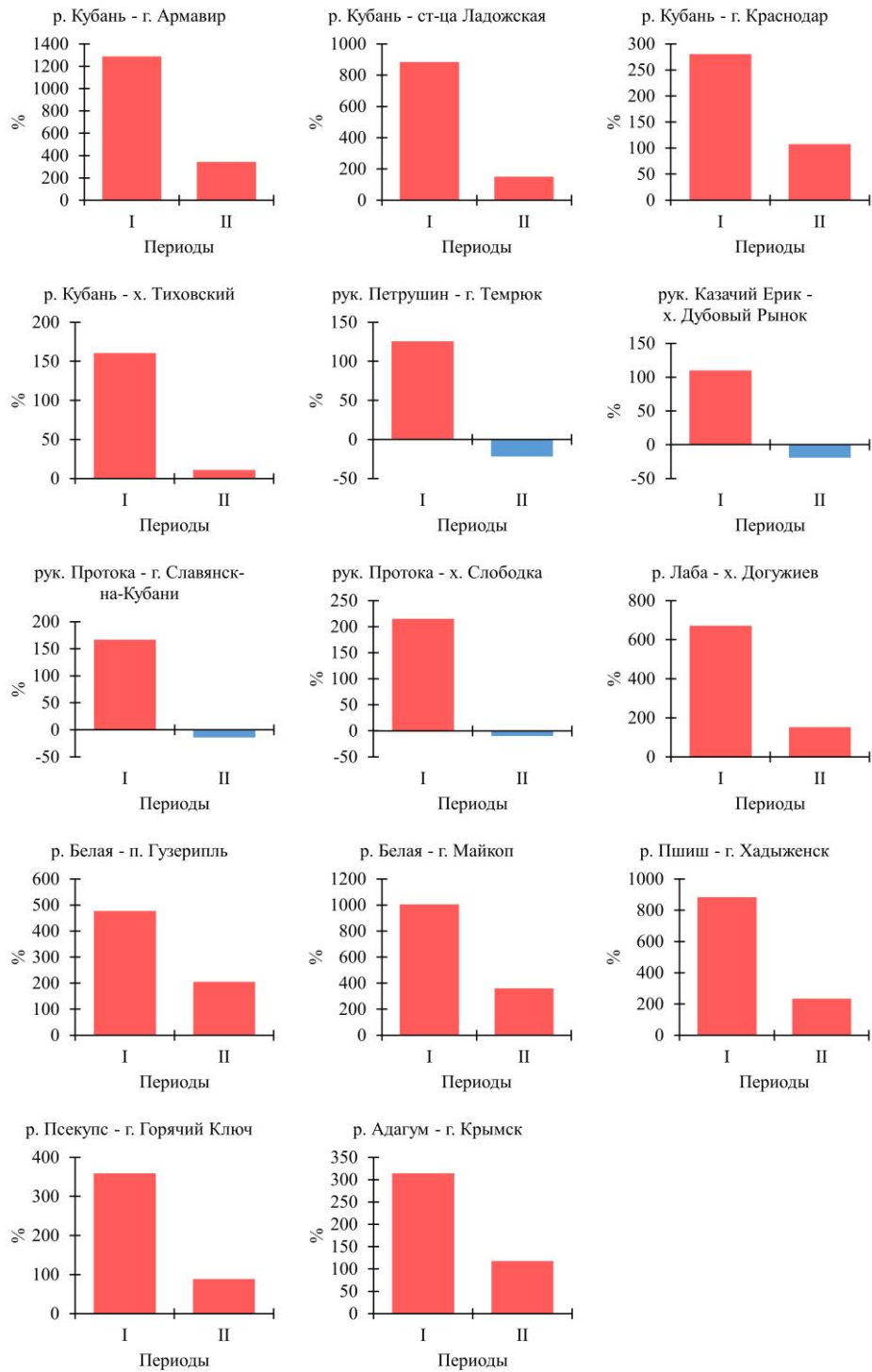


Рисунок 4.17 – Изменчивость сверхнормативного стока соединений железа в контрастные периоды на участках р. Кубани, ее притоков и рукавов дельты

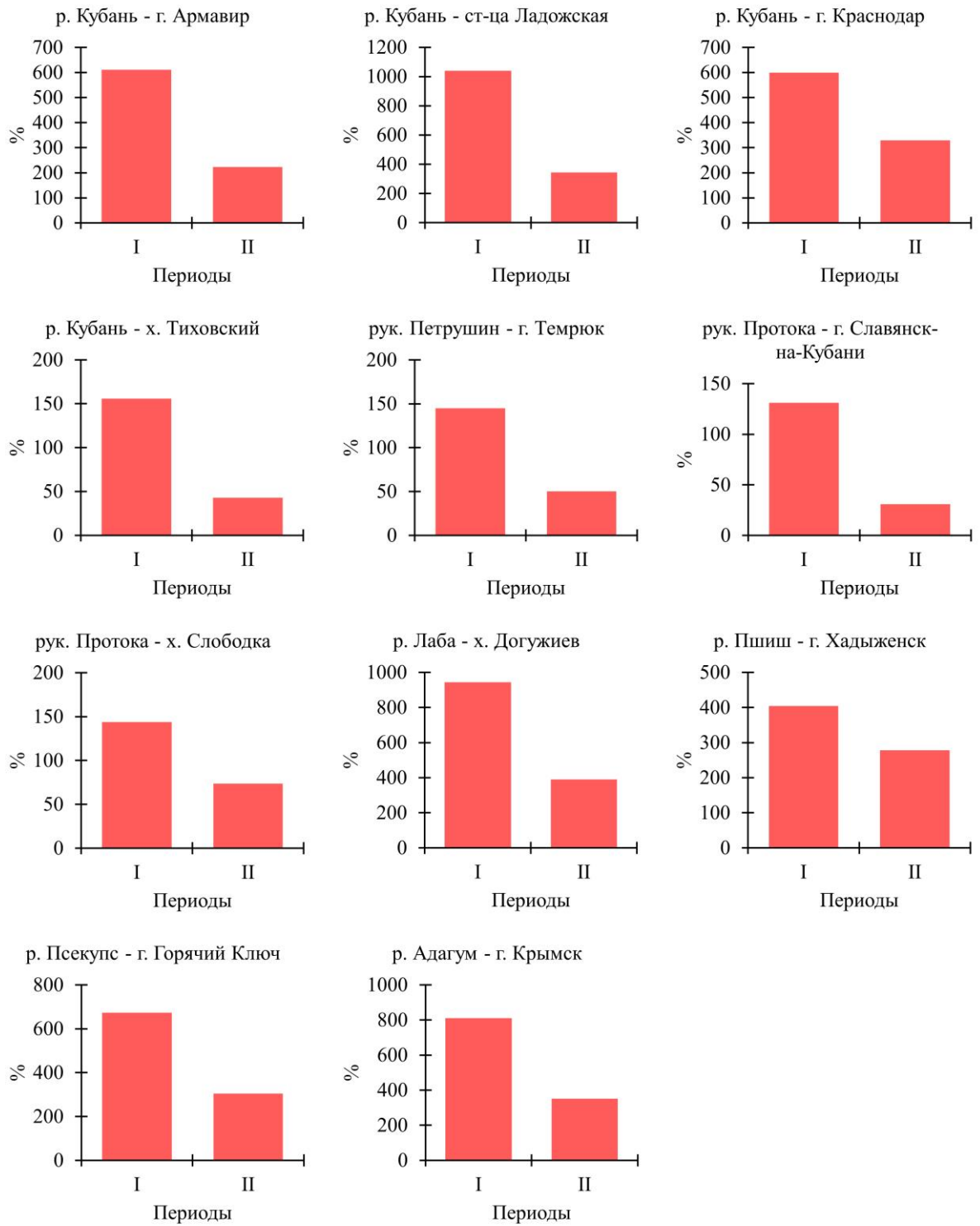


Рисунок 4.18 – Превышение фактического стока меди над нормативным в контрастные периоды на участках р. Кубани, ее притоков и рукавов дельты

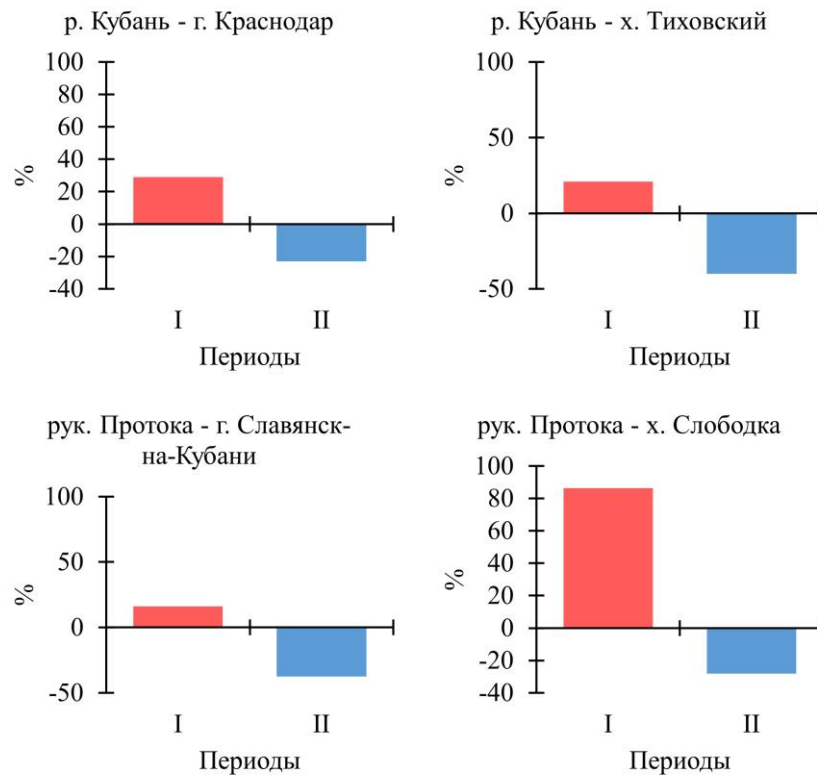


Рисунок 4.19 – Изменчивость стока соединений цинка на участках р. Кубани и рукавов дельты в контрастные периоды

Для сверхнормативного стока соединений Fe характерно масштабное в границах бассейна р. Кубани снижение, однако на отдельных участках нормативный сток веществ остается превышенным. Сверхнормативный вынос соединений Cu значительно снизился на многих участках, но, несмотря на это, во всех пунктах наблюдений, представленных на рисунке 4.18, нормативный сток остается превышенным. При этом выделенные временные интервалы, обозначенные как I, можно отнести к этапам значительного антропогенного воздействия. Сверхнормативный сток в данные временные интервалы мог превышать 1000 % (сверхнормативный сток соединений Cu в пункте наблюдений р. Кубань – ст-ца Ладожская). В периоды, отмеченные как II, сверхнормативный сток веществ значительно снизился.

По соединениям Zn отмечается снижение сверхнормативного стока до отрицательных значений на всех участках, представленных на рисунке 4.19.

Для нефтепродуктов характерно масштабное в границах бассейна р. Кубани снижение сверхнормативного стока, однако в нижнем ее течении (х. Тиховский) и по длине дельтовых рукавов нормативный сток остается превышенным в современный период (рисунок 4.20).

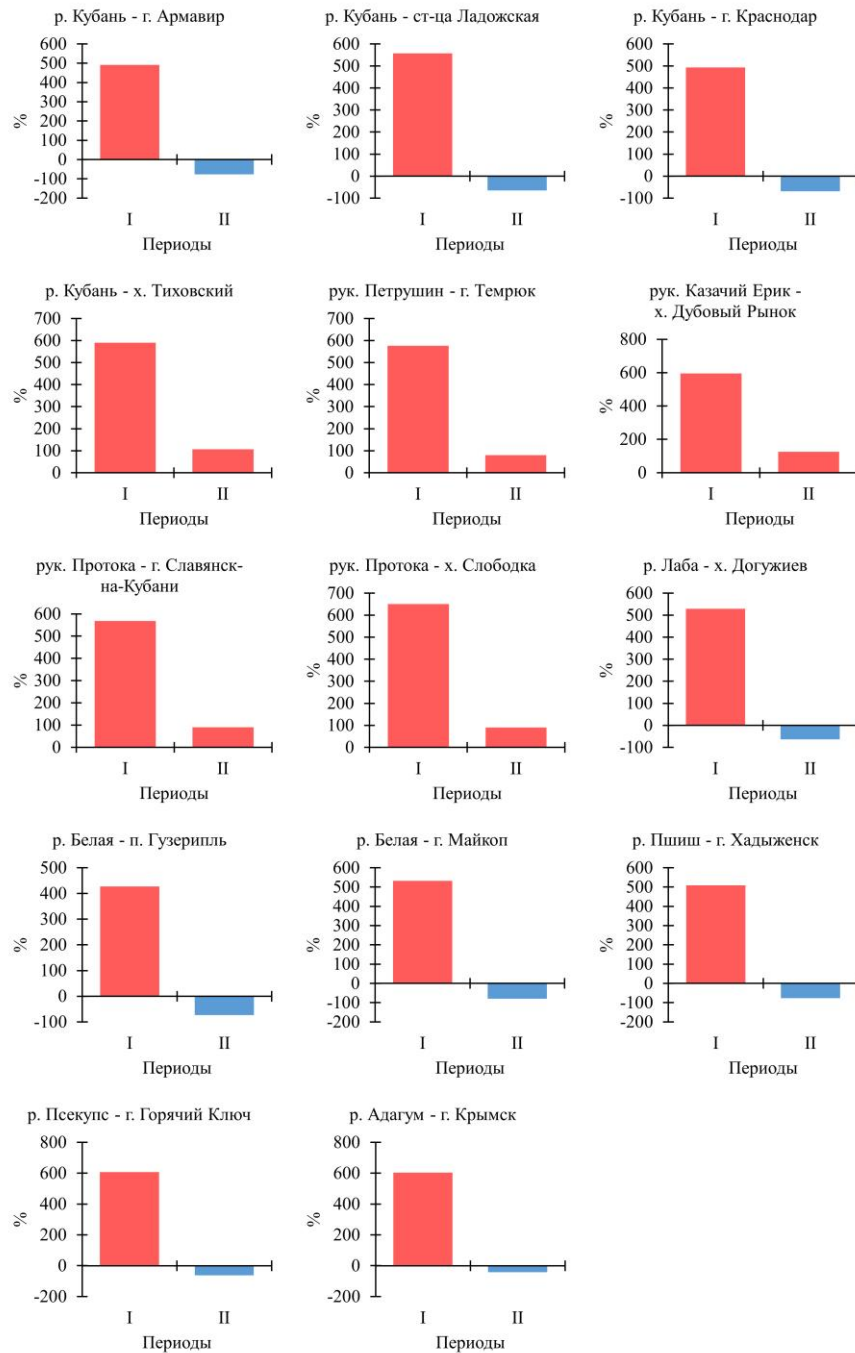


Рисунок 4.20 – Изменчивость стока нефтепродуктов на участках р. Кубани, ее притоков и рукавов дельты в контрастные периоды

Таким образом, проведенный анализ полученных данных указывает на то, что изменения химического стока на рассматриваемых участках сопровождались сокращением сверхнормативного стока химических веществ в бассейне р. Кубани, что может быть главным образом вызвано снижением количества поступающих из антропогенных источников веществ. Выделенные временные интервалы, принятые за базовый период (I), можно отнести к этапам значительного антропогенного воздействия.

4.5 Рекомендации по совершенствованию системы наблюдений за химическим стоком в пределах бассейна р. Кубани

Как было показано выше в разделе 3.1, в динамике степени загрязненности поверхностных вод р. Кубани произошла стабилизация качества воды в среднем на уровне 3 «а» и 3 «б» («загрязненная» и «очень загрязненная»). При этом в пределах бассейна отмечались критические показатели загрязненности. По длине р. Кубани, ее притоков и рукавов дельты часто прослеживалось превышение нормативного переноса соединений Fe, Cu и нефтепродуктов. Кроме того, для некоторых пунктов наблюдений отмечался сверхнормативный сток SO_4^{2-} , O_2 , N-NO_2^- и соединений Zn. Хотя были отмечены статистически значимые тенденции снижения стока веществ, на отдельных участках нормативный сток остается превышенным.

В соответствии с проектом ежегодной общественной резолюции по охране окружающей среды и экологическому развитию Российской Федерации XV международного форума «Экология» [86], необходимо обеспечить улучшение качества водных ресурсов для сохранения р. Кубани и группы лиманов между рукавами Кубань и Протока. Для достижения этой задачи необходимо в пределах бассейна р. Кубани организовать систему наблюдений, которая будет отвечать современным запросам и задачам экологического мониторинга.

Проведенное исследование позволило выявить необходимость совершенствования системы наблюдений за химическим стоком в пределах

бассейна р. Кубани. Исходя из основных принципов экологического мониторинга [99] и требований к организации и проведению режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши [119], следует:

1. Обеспечить непрерывность и систематичность мониторинга в действующих пунктах наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши.

2. Расширить перечень определяемых химических веществ в воде за счет включения в состав программы наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши соединений Cu и Zn на участках р. Кубань – г. Карачаевск (выше и ниже города), р. Кубань – г. Черкесск (выше и ниже города), р. Малый Зеленчук – а. Али-Бердуковский (в черте аула) и р. Уруп – ст-ца Преградная (выше и ниже станции).

3. Организовать замыкающий створ в нижнем течении р. Уруп.

4. Организовать пункты наблюдений в верховьях рр. Теберда, Малая Лаба и Большая Лаба для получения информации о фоновых содержаниях веществ в речных водах.

5. В пункте наблюдений р. Кубань – г. Краснодар организовать наблюдения на трех вертикалях во всех створах.

6. Обеспечить непрерывность и систематичность наблюдений за расходами воды на водотоках в бассейне р. Кубани.

Совершенствование системы наблюдений позволит получать более полную информацию о тенденциях изменения химического состава и переносе веществ в пределах бассейна р. Кубани. Вместе с тем, при непрерывном и систематичном отборе проб, полученные данные позволят определять временную и пространственную изменчивость концентраций и стока веществ с наименьшей погрешностью. При этом качественная гидрохимическая и гидрологическая информация даст возможность моделировать изменение переноса химических веществ с водным стоком по длине водотоков, а также прогнозировать временные изменения химического стока.

Выводы

Проведен анализ динамики ионного стока, стока органических и биогенных веществ, соединений металлов, нефтепродуктов в пределах бассейна р. Кубани за период 1990–2020 гг.

Определены статистически значимые тенденции изменчивости стока веществ. Выявленные тенденции ионного стока, стока органических веществ, суммарного минерального азота, соединений Fe, Cu, Zn и нефтепродуктов преимущественно носили характер убывающей линейной зависимости.

Выделены контрастные периоды повышенных и пониженных значений стока веществ относительно годовых среднемноголетних величин в пунктах наблюдений, где были обнаружены статистически значимые тренды стока компонентов. Анализ полученных данных показал, что изменения стока веществ происходили на фоне разнонаправленных изменений водного стока в бассейне Кубани. Кроме того, выявленные тенденции изменчивости и выделенные характерные периоды позволили определить масштаб и интенсивность происходящих многолетних и сезонных изменений. Статистически значимые изменения ионного стока, стока органических веществ, суммарного минерального азота и соединений Zn носили в большей степени локальный характер. Статистически значимые изменения стока соединений Fe, Cu и нефтепродуктов отмечались в подавляющем большинстве пунктов наблюдений. Наиболее интенсивные многолетние и сезонные изменения характерны для стока нефтепродуктов: уменьшение многолетних значений стока во всех пунктах наблюдений на 74–97 % и на 61–99 % в отдельные сезоны. Для всех компонентов химического состава воды направленность сезонной динамики химического стока преимущественно соответствовала многолетней изменчивости.

Пространственное распределение модулей стока веществ неоднозначно, интенсивность выноса компонентов в пределах водосбора р. Кубани часто характеризуется неоднородностью, которая определяется особенностями формирования водного стока и поступлением веществ из природных и антропогенных источников.

Оценка изменений выноса химических веществ дельтовыми рукавами р. Кубани в Азовское море показала, что произошло сокращение совместного стока кальция, магния, сульфатов, хлоридов, суммы главных ионов, азота аммонийного, азота нитритного, соединений железа, меди, цинка и нефтепродуктов. Совместный вынос компонентов дельтовыми рукавами в современный период сократился на 21–76 %. Произошедшие изменения в стоке растворенных в воде веществ привели к более равномерному распределению многолетнего и сезонного химического стока по дельтовым рукавам р. Кубани.

Анализ литературных источников и статистических данных (раздел 2.2) указывает на значительные изменения в хозяйственной деятельности в пределах бассейна р. Кубани за период 1990–2020 гг. Сокращение сброса массы загрязняющих веществ из точечных источников в конце XX в., изменчивость внесения минеральных и органических удобрений и выполнение природоохранных мероприятий в целом привели к снижению стока химических веществ в бассейне реки. Определяющая роль антропогенного фактора в изменчивости химического стока подтверждается разнонаправленными изменениями водного стока на участках и интенсивным снижением стока веществ различного генезиса как в многолетнем, так и сезонном отношении. Сами по себе водотоки являются чуткими индикаторами антропогенной нагрузки. Благодаря процессам самоочищения и быстрому обновлению воды в реках могут быть определены периоды с различным уровнем антропогенного воздействия для отдельных загрязняющих веществ. Так, изменения стока химических веществ на рассматриваемых участках рек бассейна Кубани сопровождалось сокращением их сверхнормативного стока. Для большинства компонентов наибольшие превышения нормативного стока отмечались в 1990 – начале 2000-х гг.

Результаты проведенного исследования позволили дать рекомендации по усовершенствованию системы наблюдений за химическим стоком в пределах бассейна р. Кубани.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования были собраны и проанализированы многолетние данные мониторинга, проводимого государственной наблюдательной сетью Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в части качества поверхностных вод суши за период 1990–2020 гг. в пределах бассейна р. Кубани. На основе этих данных выполнен анализ тенденций изменчивости химического состава поверхностных вод и степени загрязненности воды, проведен расчет химического стока и модулей стока в бассейне р. Кубани. Проанализирована динамика ионного стока, стока органических веществ, биогенных веществ, соединений металлов, нефтепродуктов и их распределение в пределах бассейна. Проведенная работа позволяет сделать следующие выводы:

1. Природно-климатические условия определяют характерные черты стока веществ в бассейне р. Кубани. В то же время водотоки подвержены значительному антропогенному воздействию, которое обусловлено поступлением загрязняющих веществ из точечных и рассредоточенных источников. Природные факторы определяют неоднородность пространственного распределения антропогенной нагрузки в бассейне Кубани. Вниз по течению рек антропогенное воздействие увеличивается: возрастает плотность населения в предгорной и равнинной зонах, происходит потеря, использование и загрязнение водных ресурсов. Вместе с тем изменения в хозяйственной деятельности сказываются на временной изменчивости поступающих в водные объекты веществ.

2. В пределах бассейна р. Кубани за период 1990–2020 гг. происходили разнонаправленные статистически значимые изменения концентраций компонентов поверхностных вод. В целом по бассейну в динамике компонентов химического состава воды преобладали убывающие тенденции. Результаты комплексной оценки качества воды в бассейне реки свидетельствуют о снижении уровня загрязненности и улучшении качества воды с 4-го («грязная» и «очень грязная») до 3-го класса («загрязненная» и «очень загрязненная») с последующей

стабилизацией. Изменчивость водного стока на отдельных участках водотоков бассейна р. Кубани преимущественно характеризовалась отсутствием статистически значимых тенденций.

3. Выявленные тенденции ионного стока, стока органических веществ, суммарного минерального азота, соединений железа, меди, цинка и нефтепродуктов преимущественно носили характер убывающей линейной зависимости. Изменения ионного стока, стока органических веществ, суммарного минерального азота и соединений цинка носили в большей степени локальный характер. Статистически значимые изменения стока соединений железа, меди и нефтепродуктов, напротив, отмечались в подавляющем большинстве пунктов наблюдений. Направленность сезонной изменчивости химического стока преимущественно соответствовала многолетней динамике: как правило, на участках происходило снижение стока веществ во все сезоны года. Сравнение контрастных периодов позволило установить, что наиболее интенсивные многолетние и сезонные изменения характерны для стока нефтепродуктов: происходило уменьшение многолетних значений стока во всех пунктах наблюдений на 74–97 % и на 61–99 % в отдельные сезоны.

4. На основе рассчитанных модулей стока химических веществ с водосборной площади р. Кубани разработаны картосхемы пространственной изменчивости ионного стока, стока органических веществ, азота аммонийного, нитритного, нитратного, соединений железа, меди, цинка и нефтепродуктов. Особенности формирования водного стока и поступление веществ из природных и антропогенных источников определяют неоднородность интенсивности выноса веществ в пределах водосбора реки.

5. Оценка изменений совместного выноса химических веществ дельтовыми рукавами Петрушин и Протока в Азовское море показала, что для кальция, магния, сульфатов, хлоридов, суммы главных ионов, азота аммонийного, нитритного, соединений железа, меди, цинка и нефтепродуктов произошло сокращение стока. Вынос компонентов дельтовыми рукавами в современный период сократился на 21–76 %. Произошедшие изменения в стоке растворенных в

воде веществ привели к более равномерному распределению многолетнего и сезонного химического стока по дельтовым рукавам р. Кубани.

6. По длине р. Кубани, ее притоков и рукавов дельты часто отмечалось превышение нормативного переноса соединений железа, меди и нефтепродуктов. В некоторых пунктах наблюдений выявлено загрязнение воды сульфатами, органическими веществами, азотом нитритным и соединениями цинка. Временные изменения сопровождались сокращением сверхнормативного стока химических веществ в бассейне Кубани, что в основном вызвано снижением количества поступающих из антропогенных источников веществ. Выделенные временные интервалы, принятые за базовый период (1990 – начало 2000-х гг.), можно отнести к этапам значительного антропогенного воздействия.

Выявленные закономерности изменчивости химического стока рек бассейна Кубани дополняют отдельные разделы региональной гидрохимии и могут быть использованы при разработке системы управления водными ресурсами в масштабе отдельных участков рек или всего бассейна, для прогнозных оценок выноса химических веществ в прибрежные зоны Азовского моря, а также при разработке рекомендаций по снижению негативного воздействия на водотоки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 27.11.2023).
2. Алекин, О. А. Гидрохимия рек СССР. Реки Кавказа и Азиатской территории СССР / О. А. Алекин // Труды ГГИ. – 1949. – Вып. 15(69). – 144 с.
3. Алекин, О. А. Сток растворенных веществ с территории СССР / О. А. Алекин, Л. В. Бражникова. – Москва : Наука, 1964. – 144 с.
4. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия: Монография / Н. И. Коронкевич, И. С. Зайцева, Г. М. Черногаева [и др.]; ответственные редакторы: Н. И. Коронкевич, И. С. Зайцева. – Москва : Наука, 2003. – 367 с.
5. Артемьев, В. Е. Геохимия органического вещества в системе река-море / В. Е. Артемьев. – Москва : Наука, 1993. – 204 с.
6. Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878–2013) / Г. Г. Матишов, С. В. Бердников, А. П. Жичкин [и др.]. – Ростов-на-Дону : Южный научный центр РАН, 2014. – 256 с.
7. База данных показателей муниципальных образований [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/> (дата обращения: 24.02.2025).
8. Белюченко, И. С. Экология Кубани / И. С. Белюченко. Том Часть I. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2005. – 513 с.
9. Бердников, С. В. Причины стремительного роста солености воды Азовского моря в XXI веке / С. В. Бердников, В. В. Кулыгин, Л. В. Дашкевич // Морской гидрофизический журнал. – 2023. – Т. 39, № 6(234). – С. 760–778.
10. Богуш, И. А. Влияние горно-технических производств на геологическую среду западной части Северного Кавказа / И. А. Богуш, А. А. Бурцев, М. Р. Ураскулов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2014. – № 4. – С. 53–56.

11. Богуш, И. А. Горнорудные производства и экологические проблемы гидросферы горских республик Северного Кавказа / И. А. Богуш, И. М. Газалиев, Г. В. Рябов [и др.] // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2018. – Т. 3, № 3(11). – С. 5–14. – DOI 10.25744/genb.2018.11.3.001.
12. Борисов, В. И. Реки Кубани / В. И. Борисов. – Краснодар: Кубанское книжное издательство (издатель И. А. Богров), 2005. – 120 с.
13. Бортник, В. Н. Оценка антропогенной составляющей солевого стока Дона и Кубани / В. Н. Бортник, М. А. Друмева // Водные ресурсы. – 1995. – Т. 22, № 2. – С. 155–158.
14. Бронфман, А. М. Азовское море: основы реконструкции / А. М. Бронфман, Е. П. Хлебников ; под ред. А. И. Симонова. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 271 с.
15. Брызгало, В. А. Изменчивость экологического состояния речных зон устьевых экосистем крупных рек России / В. А. Брызгало, А. М. Никаноров, О. С. Решетняк // Вода: химия и экология. – 2013. – № 12(65). – С. 15–21.
16. Брызгало, В. А. Устьевые экосистемы крупных рек России: антропогенная нагрузка и экологическое состояние / В. А. Брызгало, А. М. Никаноров, Л. С. Косменко, О. С. Решетняк. – Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2015. – 164 с.
17. Букатов, А. Е. Влияние гидрометеорологических условий на изменчивость концентраций загрязняющих веществ в устьевых зонах Азовского моря / А. Е. Букатов, Е. А. Павленко // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2014. – № 28. – С. 368–374.
18. В Карачаево-Черкесии рекультивировано хвостохранилище эльбрусского свинцово-цинкового рудника / Министерство природных ресурсов и экологии РФ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mnr.gov.ru/press/hot-topic/v_karachaevo_cherkesii_rekultivirovano_khvostokhranilishche_elbrusskogo_svin_tsovo_tsinkovogo_rudnika/?ysclid=lymzpwrzhv923882017 (дата обращения: 02.07.2024).

19. Веселовский, Н. В. Об изотопном составе серы сульфатов в воде р. Кубани и некоторых ее притоков / Н. В. Веселовский, Г. С. Коновалов, А. Л. Рабинович // Гидрохимические материалы. – 1973. – Т. 59. – С. 25–32.
20. Внесено сельскохозяйственными организациями минеральных удобрений в пересчете на 100 % питательных веществ / Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/30963> (дата обращения: 30.06.2024).
21. Внесено сельскохозяйственными организациями органических удобрений / Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/30965> (дата обращения: 30.06.2024).
22. Вода России. Речные бассейны / А. М. Черняев, М. П. Дальков, Н. Б. Прохорова [и др.]. – Екатеринбург : Издательство «АКВА-ПРЕСС», 2000. – 536 с.
23. Георгиади, А. Г. Природно-климатические и антропогенные изменения стока Волги и Дона / А. Г. Георгиади, Н. И. Коронкевич, Е. А. Кашутина, Е. А. Барабанова // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2016. – Т. 2. – С. 55–78. – DOI 10.21513/2410-8758-2016-2-55-78.
24. Гидрология дельты и устьевого взморья Кубани / Д. В. Магрицкий [и др.] ; под ред. В. Н. Михайлова, Д. В. Магрицкого, А. А. Иванова ; Геогр. фак. Московского гос. ун-та им. М. В. Ломоносова ; Кубанская устьевая гидрометеостанция Северо-Кавказского межрегионального территориального упр. по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Российский фонд фундаментальных исслед. – Москва : ГЕОС, 2010. – 728 с.
25. Гидрохимический атлас СССР / Под ред. А. М. Никанорова. – Москва: ГУГК СССР, 1990. – 110 с.
26. Гидрохимический сток рек Европейской части России : Атлас / Р. Г. Джамалов, О. С. Решетняк, Т. И. Сафронова [и др.] ; Институт водных проблем РАН и ФГБУ «Гидрохимический институт». – Москва : Издательский Дом ООО «Ролике», 2020. – 155 с.

27. ГИС ресурсы / Гидрохимический институт [Электронный ресурс]. – URL: <https://gidrohim.com/node/71> (дата обращения: 02.08.2023).
28. Давыдов, Л. К. Общая гидрология / Л. К. Давыдов, А. А. Дмитриева, Н. Г. Конкина ; под ред. А. Д. Добровольского, М. И. Львовича. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1973. – 462 с.
29. Дашкевич, Л. В. Многолетнее изменение средней солености Азовского моря / Л. В. Дашкевич, С. В. Бердников, В. В. Кулыгин // Водные ресурсы. – 2017. – Т. 44, № 5. – С. 563–572. – DOI 10.7868/S0321059617040046.
30. Дега, Н. С. Динамика гидрохимической структуры реки Кубани в антропогенной зоне ледникового питания Карачаево-Черкесской республики / Н. С. Дега, В. В. Онищенко, Х. И. Узденова, А. К. Шидаков // Проблемы региональной экологии. – 2015. – № 3. – С. 92–99.
31. Дега, Н. С. Методологические основы гидрохимического мониторинга водного бассейна р. Кубани на территории Карачаево-Черкесской Республики / Н. С. Дега, Ф. С. Байрамукова, М. С. Борлаков // География и геоэкология на службе науки и инновационного образования : Материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню Земли и 60-летию кафедры экономической географии КГПУ им. В. П. Астафьева: Электронный ресурс, Красноярск, 23 апреля 2015 года. Выпуск 10. – Красноярск: Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева, 2015. – С. 56–59.
32. Дега, Н. С. Опыт геомоделирования гидрохимической структуры поверхностных вод р. Кубани в Карачаево-Черкесской Республике / Н. С. Дега, В. В. Онищенко, А. К. Шидаков, О. А. Логвиненко // Мониторинг. Наука и технологии. – 2016. – № 2(27). – С. 55–59.
33. Дега, Н. С. Эколого-географическая оценка водосборного бассейна реки Аксаут Карачаево-Черкесской Республики / Н. С. Дега, Л. И. Аппоева // Мониторинг. Наука и технологии. – 2023. – № 2(56). – С. 28–33. – DOI 10.25714/MNT.2023.56.002.

34. Демография / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 16.06.2024).
35. Денмухаметов, Р. Р. Антропогенная составляющая речного стока растворенных веществ / Р. Р. Денмухаметов, А. Н. Шарифуллин // Экологический консалтинг. – 2011. – № 1(41). – С. 34–41.
36. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения : коллективная монография / В. И. Данилов-Данильян, В. О. Полянин, А. В. Остякова [и др.]; под рук. В. И. Данилова-Данильяна ; Российская академия наук, Институт водных проблем РАН. – Москва : Ин-т водных проблем Российской академии наук, 2020. – 512 с.
37. Доклады об экологической ситуации / Республика Адыгея. Официальный сайт органов исполнительной власти [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.adygheya.ru/ministers/departments/upravlenie-po-okhrane-okruzhayushchey-sredy-i-prirodnym-resursam/informatsi/doklady/?ysclid=mawm2qe0q5289149633> (дата обращения: 02.08.2023).
38. Дреева, Ф. Р. Основные результаты гидрохимических исследований в Центре географических исследований Кабардино-Балкарского научного центра / Ф. Р. Дреева, Н. В. Реутова, Т. В. Реутова [и др.] // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2021. – № 2(100). – С. 105–116. – DOI 10.35330/1991-6639-2021-2-100-105-116.
39. Ежегодники и обзоры / Гидрохимический институт [Электронный ресурс]. – URL: <https://gidrohim.com/node/44> (дата обращения: 02.08.2023).
40. Ежегодный доклад о состоянии природопользования и охране окружающей среды Краснодарского края / Министерство природных ресурсов Краснодарского края [Электронный ресурс]. – URL: <https://mpr.krasnodar.ru/ob-okruzhayushchey-srede/o-sostoyanii-okruzhayushchey-sredy/ezhegodnyy-doklad-o-sostoyanii-prirodopolzovaniya-i-okhrane-okruzhayushchey-sredy-krasnodarskogo-kra> (дата обращения: 02.08.2023).

41. Еременко, В. Я. Сток растворенных веществ р. Кубани и ее гидрохимический режим / В. Я. Еременко, А. А. Зенин, Г. С. Коновалов // Гидрохимические материалы. – 1953. – Т. 21. – С. 30–53.
42. Зенин, А. А. Гидрохимический словарь / А. А. Зенин, Н. В. Белоусова; под ред. А. М. Никанорова. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. – 238 с.
43. Зенин, А. А. К содержанию мышьяка, бора, брома, иода и фтора в воде р. Кубани / А. А. Зенин, Г. С. Коновалов // Гидрохимические материалы. – 1953. – Т. 20. – С. 18–21.
44. Иванова, А. А. Вынос биогенных веществ с речными водами в Азовское и Черное моря / А. А. Иванова, В. Т. Каплин, Н. И. Кужекова, Б. Н. Исаченко // Антропогенное эвтрофирование природных вод: тезисы докладов на Втором всесоюзном совещании по антропогенному эвтрофированию природных вод, Звенигород, 19–23 декабрь 1977 года. – Черноголовка, 1977. – С. 184–186.
45. Клименко, О. А. Некоторые итоги изучения загрязненности р. Кубани в 1966 г. / О. А. Клименко, М. Н. Тарасов // Гидрохимические материалы. – 1969. – Т. 50. – С. 142–154.
46. Клименко, О. А. Оценка пространственно-временных изменений качества воды в бассейне р. Кубань / О. А. Клименко, А. Е. Косолапов, Г. И. Радько // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2007. – № 4. – С. 38–54.
47. Клименко, О. А. Усовершенствование наблюдений за выносом химических веществ с речным водным стоком на трансграничных участках рек / О. А. Клименко, В. Ф. Геков, А. А. Чмыхов // Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Сочи, 20–25 сентября 2021 года. – Новочеркасск: ООО «Лик», 2021. – С. 191–197.
48. Кобилева, Э. А. Гидрохимический режим коллекторных вод Петровско-Анастасиевской оросительной системы / Э. А. Кобилева, М. Н. Тарасов // Гидрохимические материалы. – 1973. – Т. 59. – С. 62–68.

49. Кобилева, Э. А. Элементы солевого баланса Петровско-Анастасиевской рисовой оросительной системы / Э. А. Кобилева, М. Н. Тарасов // Гидрохимические материалы. – 1974. – Т. 60. – С. 74–81.
50. Кольмакова, Е. Г. Антропогенные изменения стока растворенных веществ рек бассейна Немана / Е. Г. Кольмакова. – Минск: БГУ, 2009. – 123 с.
51. Кольмакова, Е. Г. Методика оценки антропогенных изменений стока растворенных веществ рек / Е. Г. Кольмакова // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2004. – № 3. – С. 57–63.
52. Комаров, Р. С. Комплексная оценка качества воды притоков реки Кубани / Р. С. Комаров, О. С. Решетняк // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2023. – Т. 8, № 2(32). – С. 24–30. – DOI 10.25744/genb.2023.32.57.004.
53. Комаров, Р. С. Пространственно-временная изменчивость ионного стока в бассейне р. Кубани / Р. С. Комаров, О. С. Решетняк // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 191–203. – DOI 10.46698/q4491-7472-5566-w.
54. Комаров, Р. С. Тенденции изменчивости компонентов ионного стока в бассейне р. Кубани / Р. С. Комаров // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа : Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Махачкала, 18–20 сентября 2024 года. – Москва: Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН, 2024. – С. 456–461. – DOI 10.25744/1.2024.95.89.070.
55. Кондрашова, И. А. Условия формирования химического состава воды высокогорных рек верховьев бассейна р. Теберды / И. А. Кондрашова, А. Л. Рабинович, Л. А. Михайличенко, Е. Г. Горбачева // Гидрохимические материалы. – 1977. – Т. 66. – С. 11–28.
56. Коновалов, Г. С. Вынос микроэлементов речным стоком с территории СССР в моря в современный период / Г. С. Коновалов, В. И. Коренева // Гидрохимические материалы. – 1979. – Т. 75. – С. 11–21.

57. Коновалов, Г. С. Микроэлементы в воде замыкающих створов рек Европейской территории СССР в 1976–1978 гг. / Г. С. Коновалов, В. И. Коренева, А. П. Коренев, Н. И. Добровольская // Гидрохимические материалы. – 1982. – Т. 80. – С. 18–24.

58. Коновалов, Г. С. Речной сток микроэлементов с Европейской территории СССР / Г. С. Коновалов, Л. Н. Назарова, В. И. Коренева, Т. В. Овсянникова // Гидрохимические материалы. – 1977. – Т. 65. – С. 11–13.

59. Коняев, С. В. Колебания ионного стока р. Кубань вследствие антропогенного воздействия / С. В. Коняев, В. А. Белоногов, Н. П. Торсуев // Известия Русского географического общества. – 2002. – Т. 134, Вып. 5. – С. 48–53.

60. Коняев, С. В. Многолетняя изменчивость ионного стока рек Северного Кавказа как следствие антропогенного воздействия : специальность 25.00.36 «Геоэкология (по отраслям)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук / Коняев Сергей Владимирович. – Казань, 2002. – 152 с.

61. Коренева, В. И. Выделение антропогенной составляющей речного стока минеральных компонентов / В. И. Коренева, Г. С. Коновалов, А. П. Коренев, А. П. Гаранжа // Гидрохимические материалы. – 1989. – Т. 106. – С. 178–185.

62. Короткова, Т. Г. Анализ состояния реки Кубань в черте города Краснодара на основе частного отбора проб поверхностных природных вод / Т. Г. Короткова, А. М. Заколюкина, С. А. Бушумов // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 3. – С. 62–69.

63. Коротова, Л. Г. Вынос реками минеральных, биогенных и загрязняющих веществ в Азовский бассейн / Л. Г. Коротова, М. П. Смирнов, О. А. Клименко [и др.] // Экосистемные исследования Азовского моря и побережья. Том IV. – Апатиты: Кольский научный центр Российской академии наук, 2002. – С. 29–38.

64. Кочетов, Н. И. Количественная оценка химической денудации на Западном Кавказе по гидрохимическим данным / Н. И. Кочетов // Геоморфология. – 1976. – № 3. – С. 61–66.

65. Крутов, А. Н. Влияние речного стока на качество вод Таганрогского залива и взморья реки Кубань Азовского моря / А. Н. Крутов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2016. – № 2. – С. 16–31.
66. Куропаткин, А. П. Изменение солёности Азовского моря / А. П. Куропаткин, С. В. Жукова, В. М. Шишкин [и др.] // Вопросы рыболовства. – 2013. – Т. 14, № 4(56). – С. 666–673.
67. Куропаткин, А. П. Современные и перспективные изменения солёности Азовского моря / А. П. Куропаткин, В. М. Шишкин, Д. С. Бурлачко [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – № 11. – С. 7–16.
68. Кутузов, С. С. Пути дальнего переноса пыли на ледники Кавказа и химический состав снега на Западном плато Эльбруса / С. С. Кутузов, В. Н. Михаленко, М. Шахгеданова [и др.] // Лед и снег. – 2014. – Т. 54, № 3. – С. 5–15.
69. Куцева, П. П. Гидрохимический очерк р. Уруп / П. П. Куцева, Г. С. Коновалов, Д. Е. Людовских // Гидрохимические материалы. – 1968. – Т. 48. – С. 3–13.
70. Куцева, П. П. Источники поступления хлор-ионов в воду некоторых рек Северного Кавказа / П. П. Куцева, Г. С. Коновалов, Б. А. Петросьянц // Гидрохимические материалы. – 1968. – Т. 46. – С. 69–73.
71. Ланчикова, О. Е. О влиянии почвенного покрова на содержание органических и биогенных веществ в природных водах / О. Е. Ланчикова, В. Т. Каплин // Гидрохимические материалы. – 1971. – Т. 56. – С. 66–73.
72. Ланчикова, О. Е. О режиме биогенных и органических веществ в некоторых водохранилищах Краснодарского края / О. Е. Ланчикова, В. Т. Каплин // Гидрохимические материалы. – 1970. – Т. 54. – С. 43–52.
73. Лурье, П. М. Водные ресурсы и водный баланс Кавказа / П. М. Лурье. – Санкт-Петербург; Ростов-на-Дону : Гидрометеиздат, 2002. – 506 с.
74. Лурье, П. М. Река Кубань: гидрография и режим стока / П. М. Лурье, В. Д. Панов, Ю. Ю. Ткаченко. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 2005. – 498 с.

75. Лурье, П. М. Реки бассейна Азовского моря: гидрография и режим стока / П. М. Лурье, В. Д. Панов. – Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2021. – 670 с.
76. Лурье, П. М. Снежный покров и ледники бассейна реки Кубань / П. М. Лурье, В. Д. Панов, Ю. Г. Ильичев, А. Д. Салпагаров. – Кисловодск: Северокавказское изд-во МИЛ, 2006. – 243 с.
77. Магрицкий, Д. В. Водный баланс дельты р. Кубань и его многолетние изменения / Д. В. Магрицкий, А. А. Иванов // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2008. – № 5. – С. 59–67.
78. Максимова, М. П. Воздействие техногенеза на гидросферу. Методика оценки антропогенного химического речного стока в моря / М. П. Максимова // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. – 2012. – № 2. – С. 89–96.
79. Максимова, М. П. Критерии оценки антропогенных изменений и расчет антропогенной составляющей ионного стока рек / М. П. Максимова // Водные ресурсы. – 1985. – № 3. – С. 71–75.
80. Мальцева, А. В. Внутригодовое распределение стока органических веществ для рек территории СССР / А. В. Мальцева // Гидрохимические материалы. – 1984. – Т. 92. – С. 91–100.
81. Мальцева, А. В. Средний многолетний сток органических веществ с территории СССР и его изменение во времени / А. В. Мальцева // Гидрохимические материалы. – 1980. – Т. 68. – С. 14–21.
82. Мальцева, А. В. Сток органических веществ с территории СССР / А. В. Мальцева, М. Н. Тарасов, М. П. Смирнов // Гидрохимические материалы. – 1987. – Т. 102. – С. 1–120.
83. Манихин, В. И. Гидрохимический режим р. Белой и соотношение главных источников ее питания / В. И. Манихин, Г. С. Коновалов, Н. Д. Коробейникова // Гидрохимические материалы. – 1977. – Т. 66. – С. 46–55.

84. Манихина, Р. К. Гидрохимическая характеристика поверхностных вод бассейнов рек Кубани и Кумы / Р. К. Манихина, В. С. Путинцева, Н. В. Веселовский // *Гидрохимические материалы*. – 1980. – Т. 77. – С. 3–7.
85. Матишов, Г. Г. Кубанский паводковый кризис : Климат, геоморфология, прогноз. Крымск, июль 2012 г. / Г. Г. Матишов, А. В. Клещенко. – Ростов-на-Дону : Южный научный центр РАН, 2012. – 128 с.
86. Международный форум «Экология» [Электронный ресурс]. – URL: <https://forumeco.ru/conf2024/> (дата обращения: 24.09.2024).
87. Михайлов, В. Н. Современный водный баланс дельты Кубани и расчет притока кубанских вод в Азовское море / В. Н. Михайлов, Д. В. Магрицкий // *Труды Государственного океанографического института*. – 2008. – № 211. – С. 222–248.
88. Михайлов, В. Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее / В. Н. Михайлов. – Москва: ГЕОС, 1997. – 413 с.
89. Нагалецкий, Ю. Я. Гидрографическая сеть дельтовой области р. Кубани (современное состояние, тенденция развития) / Ю. Я. Нагалецкий, Э. Ю. Нагалецкий, С. Г. Чуприна // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. – 2007. – № 9. – С. 92–97.
90. Назарова, Л. Н. Гидрохимическая типизация горных и высокогорных рек Кавказа / Л. Н. Назарова, А. И. Гавришин, Г. С. Коновалов, Н. Д. Коробейникова // *Гидрохимические материалы*. – 1980. – Т. 68. – С. 3–13.
91. Никаноров, А. М. Антропогенная трансформация экологического состояния и транспорт загрязняющих веществ по длине реки Кубани / А. М. Никаноров, В. А. Брызгало, О. С. Решетняк [и др.] // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. – 2013. – № 2. – С. 108–118.
92. Никаноров, А. М. Гидрохимия : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Гидрология» / А. М. Никаноров. – 3-е изд., доп. – Ростов-на-Дону : НОК, 2008. – 462 с.

93. Никаноров, А. М. Динамика качества поверхностных вод крупных речных бассейнов Российской Федерации / А. М. Никаноров, Л. И. Минина, Е. Е. Лобченко [и др.]. – Ростов-на-Дону: ФГБУ «ГХИ», 2015. – 295 с.
94. Никаноров, А. М. Динамика качества поверхностных вод юга России / А. М. Никаноров, Л. И. Минина, Е. Е. Лобченко, И. П. Ничипорова // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2013. – № 6. – С. 57–72.
95. Никаноров, А. М. Динамика притока растворенных химических веществ и антропогенная нагрузка на устьевую область р. Кубань / А. М. Никаноров, В. А. Брызгало, Л. С. Косменко, М. Ю. Кондакова // Вода: химия и экология. – 2011. – № 9(39). – С. 9–16.
96. Никаноров, А. М. Качество воды в водных объектах Юга России со стабильно высоким уровнем химического загрязнения / А. М. Никаноров, Т. А. Хоружая // География и природные ресурсы. – 2012. – № 2. – С. 40–45.
97. Никаноров, А. М. Многолетние тенденции общего и антропогенного выноса органических и биогенных веществ реками России в арктические и тихоокеанские моря / А. М. Никаноров, М. П. Смирнов, О. А. Клименко // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37, № 3. – С. 318–328.
98. Никаноров, А. М. Многолетние тенденции общего и антропогенного выноса органических и биогенных веществ реками России в Балтийское, Черное, Азовское, Каспийское моря и в озеро Байкал / А. М. Никаноров, М. П. Смирнов, О. А. Клименко // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37, № 2. – С. 209–217.
99. Никаноров, А. М. Научные основы мониторинга качества вод : монография / А. М. Никаноров. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 2005. – 576 с.
100. Никаноров, А. М. Региональная гидрохимия / А. М. Никаноров. – Ростов-на-Дону : НОК, 2011. – 389 с.
101. Никаноров, А. М. Реки России. Часть 5. Реки Приазовья (гидрохимия и гидроэкология) / А. М. Никаноров, В. А. Брызгало, М. Ю. Кондакова. – Ростов-на-Дону : ООО НПП «НОК», 2012. – 316 с.

102. Никаноров, А. М. Роль химического речного стока в антропогенной трансформации состояния водной среды Енисейской устьевой области / А. М. Никаноров, В. А. Брызгало, Л. С. Косменко, О. С. Решетняк // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37, № 4. – С. 434–444.
103. Никаноров, А. М. Словарь-справочник по гидрохимии и качеству вод суши / А. М. Никаноров, В. М. Иваник. – Ростов-на-Дону, 2014. – 548 с.
104. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации / Министерство природных ресурсов и экологии РФ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_ok_ruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/ (дата обращения: 02.08.2023).
105. О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2020 году: Доклад / Краснодар, 2021. – 447 с.
106. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения: 02.08.2023).
107. Окружающая среда / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194> (дата обращения: 21.02.2025).
108. Онищенко, В. В. Оценка техногенного влияния на гидрохимический режим реки Теберда / В. В. Онищенко, Н. С. Дега, Э. М. Байчорова // Безопасность в техносфере. – 2014. – Т. 3, № 5. – С. 3–10. – DOI 10.12737/6018.
109. Онищенко, В. В. Эколого-географический анализ бассейна реки Теберды в условиях хозяйственно-рекреационного функционирования / В. В. Онищенко, Н. С. Дега, И. А. М. Мамчур // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. – 2016. – № 6. – С. 1–14.
110. Парфенова, Г. К. Антропогенные изменения гидрохимических показателей качества вод : монография / Г. К. Парфенова. – Томск : Аграф-Пресс, 2010. – 203 с.

111. Первышева, О. А. Результаты мониторинга содержания соединений железа и меди в воде реки Кубань / О. А. Первышева, Е. Е. Лобченко, Д. П. Чекмарева // Экология и природопользование: прикладные аспекты: материалы XIII Международной научно-практической конференции, Уфа, 12–13 апреля 2023 года. – Уфа: Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, 2023. – С. 152–157.

112. Пискарева, В. М. Концентрации и потоки полициклических ароматических углеводородов в аквальных ландшафтах дельт Дона, Кубани и Волги / В. М. Пискарева, Т. С. Кошовский, А. Н. Геннадиев, М. Ю. Лычагин // Четвертые Виноградовские Чтения. Гидрология от познания к мировоззрению : сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова, Санкт-Петербург, 23–31 октября 2020 года / Санкт-Петербургский государственный университет. – Санкт-Петербург: ООО «Издательство ВВМ», 2020. – С. 990–994.

113. Пискарева, В. М. Речные потоки полиаренов в дельтах Дона, Кубани и Волги / В. М. Пискарева, А. Н. Геннадиев, М. Ю. Лычагин // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2021. – № 5. – С. 14–23.

114. Погорелов, А. В. Рельеф бассейна р. Кубани : Морфологический анализ / А. В. Погорелов, Ж. А. Думит. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство ГЕОС», 2009. – 206 с.

115. Посевные площади сельскохозяйственных культур / Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31328> (дата обращения: 30.06.2024).

116. Посохов, Е. В. Химическая эволюция гидросферы / Е. В. Посохов. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1981. – 286 с.

117. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 N 552 (ред. от 13.06.2024) «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (Зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 N 45203) /

КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_211155/?ysclid=m2m5y5155g914875271 (дата обращения: 30.09.2024)

118. Природные катастрофы в Азово-Черноморском бассейне в начале XXI века / Г. Г. Матишов, Д. Г. Матишов, С. В. Бердников, Н. А. Яицкая. – Ростов-на-Дону : Южный научный центр РАН, 2017. – 160 с.

119. РД 52.24.309–2016. Организация и проведение режимных наблюдений в пунктах государственной наблюдательной сети за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. – Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2016. – 100 с.

120. РД 52.24.643–2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. – Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2002. – 49 с.

121. РД 52.24.748–2010. Усовершенствованная методика определения выноса (переноса) загрязняющих веществ с речным стоком. – Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2010. – 69 с.

122. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8: Северный Кавказ / Под ред. В. В. Куприянова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1973. – 447 с.

123. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 8. Северный Кавказ. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1964. – 311 с.

124. Реутова, Н. В. Динамика содержания цинка в водах основных рек Центрального и Западного Кавказа в зависимости от абсолютной высоты расположения створов / Н. В. Реутова, Ф. Р. Дреева, Т. В. Реутова, А. М. Хутуев // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2020. – Т. 14, № 1. – С. 106–111. – DOI 10.31161/1995-0675-2020-14-1-106-111.

125. Реутова, Н. В. Микроэлементный состав вод верховьев реки Кубань / Н. В. Реутова, Т. В. Реутова, Ф. Р. Дреева, А. М. Хутуев // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2018. – № 3(83). – С. 48–52.

126. Реутова, Т. В. Закономерности распределения стронция в природных водах бассейнов рек Малки и Кубани / Т. В. Реутова, Ф. Р. Дреева, Н. В. Реутова // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2023. – Т. 8, № 1(31). – С. 39–51. – DOI 10.25744/genb.2023.67.52.004.

127. Реутова, Т. В. Ионный состав поверхностных вод Тебердинского государственного биосферного заповедника в период интенсивного таяния ледников / Т. В. Реутова, Н. В. Реутова, Ф. Р. Дреева, А. М. Хутуев // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2021. – Т. 15, № 2. – С. 100–107. – DOI 10.31161/1995-0675-2021-15-2-100-107.

128. Реутова, Т. В. Микроэлементный состав поверхностных вод Тебердинского государственного биосферного заповедника в период интенсивного таяния ледников / Т. В. Реутова, Н. В. Реутова, Ф. Р. Дреева, А. М. Хутуев // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2021. – Т. 15, № 3. – С. 92–100. – DOI 10.31161/1995-0675-2021-15-3-92-100.

129. 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. – DOI 10.24412/2712-8628-2023-4-14-24.

130. Решетняк, О. С. Межгодовая и сезонная изменчивость стока растворенных веществ в дельтовых рукавах реки Кубани / О. С. Решетняк, Р. С. Комаров // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2023. – № 1. – С. 95–105. – DOI 10.55959/MSU0579-9414-5-2023-1-95-105.

131. Решетняк, О. С. Тенденции изменчивости химического состава и степени загрязненности воды реки Кубань / О. С. Решетняк, Р. С. Комаров // Вода и экология: проблемы и решения. – 2021. – № 1(85). – С. 30–40. – DOI 10.23968/2305-3488.2021.26.1.30-40.

132. Румянцев, В. А. Водные ресурсы рек и водоемов России и антропогенные воздействия на них / В. А. Румянцев, Н. И. Коронкевич,

А. В. Измайлова [и др.] // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2021. – Т. 85, № 1. – С. 120–135. – DOI 10.31857/S258755662101012X.

133. Салпагарова, С. И. Воздействие Урупского горно-обогатительного комбината на окружающую среду / С. И. Салпагарова, З. И. Салпагарова // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2018. – Т. 12, № 1. – С. 88–93.

134. Сафронов, И. Н. Геоморфология Северного Кавказа / И. Н. Сафронов. – Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1969. – 218 с.

135. Селезнева, А. В. Антропогенная нагрузка на реки от точечных источников загрязнения / А. В. Селезнева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2003. – Т. 5, № 2. – С. 268–277.

136. Симов, В. Г. Приток речных вод в Азовское море / В. Г. Симов, Н. Н. Дьяков, Л. А. Шевела // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2010. – № 23. – С. 145–152.

137. Скопинцев, Б. А. Вынос органического вещества крупнейшими реками Советского Союза / Б. А. Скопинцев, Л. П. Крылова // Доклад АН СССР. – 1955. – Т. 105, № 4. – С. 770–773.

138. Скопинцев, Б. А. Гидрохимическая характеристика рр. Пшиш, Белой, Пшехи, Курджипса (левобережные притоки р. Кубани) / Б. А. Скопинцев // Гидрохимические материалы. – 1948. – Т. 14. – С. 122–127.

139. Смирнов, М. П. Оценка общего и техногенного речного стока органического вещества с территории СНГ / М. П. Смирнов // Водные ресурсы. – 2009. – Т. 36, № 6. – С. 683–693.

140. Сорокина, В. В. Биогенная нагрузка Дона и Кубани на экосистему Азовского моря / В. В. Сорокина, С. В. Бердников // Водные ресурсы. – 2018. – Т. 45, № 6. – С. 670–684. – DOI 10.1134/S0321059618060147.

141. Сорокина, В. В. Динамика стока на устьевых участках рек Дон и Кубань во второй половине XX века / В. В. Сорокина, О. В. Ивлиева, П. М. Лурье // Вестник Южного научного центра РАН. – 2006. – Т. 2, № 2. – С. 58–67.

142. Специализированные массивы для климатических исследований / Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных [Электронный ресурс]. – URL: <http://meteo.ru/data/> (дата обращения: 01.07.2024).

143. Справочник «Органическое вещество Азовского моря и прилегающих районов Черного моря» / Атлас климатических изменений в Больших морских экосистемах Северного полушария [Электронный ресурс]. – URL: <http://atlas.iaz.ssc-ras.ru/sitemap-organic.html?ysclid=mawvxh8gnf655358621> (дата обращения: 02.08.2023).

144. Справочник по водным ресурсам СССР. Том X. Северный Кавказ / Под ред. Б. Л. Гржегоржевского. – Ленинград: Редакционно-издательский отдел ЦУЕГМС, 1936. – 1095 с.

145. Среда, биота и моделирование экологических процессов в Азовском море / М. И. Абраменко, Н. А. Анисимова, Р. Р. Ардити [и др.]. – Апатиты : Кольский научный центр Российской академии наук, 2001. – 413 с.

146. Стурман, В. И. Геоэкология / В. И. Стурман. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2023. – 228 с.

147. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Кубань. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна: утверждена приказом Кубанского БВУ от 19.05.2014 № 171 / Кубанское БВУ. – 2014. – 318 с.

148. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Кубань. Книга 2. Оценка экологического состояния и ключевые проблемы речного бассейна: утверждена приказом Кубанского БВУ от 19.05.2014 № 171 / Кубанское БВУ. – 2014. – 133 с.

149. Схемы комплексного использования и охраны водных объектов / Кубанское БВУ [Электронный ресурс]. – URL: <https://kbvu-fgu.ru/docs7> (дата обращения: 02.08.2023).

150. Ткаченко, А. Н. Потоки тяжелых металлов в аквальных системах дельт Дона и Кубани / А. Н. Ткаченко, О. В. Ткаченко, М. Ю. Лычагин, Н. С. Касимов // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 474, № 2. – С. 234–237. – DOI 10.7868/S0869565217140201.

151. Ураскулов, М. Р. Геоэкологические проблемы зон горнорудного техногенеза Северного Кавказа / М. Р. Ураскулов, И. А. Богущ, В. И. Черкашин [и др.] // Аридные экосистемы. – 2018. – Т. 24, № 1(74). – С. 65–71.

152. Урупский ГОК / Официальный сайт Главы и Правительства Карачаево-Черкесской Республики [Электронный ресурс]. – URL: https://www.kchr.ru/left_menu/economy/subsoil/subsoil3/ (дата обращения: 30.06.2024).

153. Шафран, С. А. Динамика применения удобрений и плодородие почв / С. А. Шафран // Агрехимия. – 2004. – № 1. – С. 9–17.

154. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение / А. А. Кленкин, И. Г. Корпакова, Л. Ф. Павленко, З. А. Темердашев. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2007. – 324 с.

155. Электронная версия Национального атласа почв Российской Федерации / Почвенно-географическая база данных России [Электронный ресурс]. – URL: <https://soil-db.ru/soilatlas> (дата обращения: 16.06.2024).

156. Akbarzadeh, Z. Effects of damming on river nitrogen fluxes: a global analysis / Z. Akbarzadeh, T. Maavara, S. Slowinski, P. Van Cappellen // Global biogeochemical cycles. – 2019. – Vol. 33. – No 11. – P. 1339–1357. – DOI 10.1029/2019GB006222.

157. Green, P. A. Pre-industrial and contemporary fluxes of nitrogen through rivers: a global assessment based on typology / P. A. Green, C. J. Vörösmarty, M. Meybeck, J. N. Galloway, B. J. Peterson, E. W. Boyer // Biogeochemistry. – 2004. – Vol. 68. – P. 71–105. DOI 10.1023/B: BIOG.0000025742.82155.92

158. Karra, K. Global land use/land cover with Sentinel 2 and deep learning / K. Karra, C. Kontgis, Z. Statman-Weil [et al.] // 2021 IEEE international geoscience and remote sensing symposium IGARSS. – IEEE, 2021. – P. 4704–4707. – DOI 10.1109/IGARSS47720.2021.9553499.

159. Kijowska-Strugała, M. Influence of reservoirs on the concentration of nutrients in the water of mountain rivers / M. Kijowska-Strugała, Ł. Wiejaczka, R. Kozłowski // Ecological Chemistry and Engineering S. – 2016. – Vol. 23. – No 3. – P. 413–424. – DOI 10.1515/eces-2016-0029.

160. Li, S. Changes in sediment, nutrients and major ions in the world largest reservoir: Effects of damming and reservoir operation / S. Li, Y. J. Xu, M. Ni // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 318. – P. 128601. – DOI 10.1016/j.jclepro.2021.128601.

161. Maavara, T. River dam impacts on biogeochemical cycling / T. Maavara, Q. Chen, K. Van Meter [et al.] // Nature Reviews Earth & Environment. – 2020. – Vol. 1. – No 2. – P. 103–116. – DOI 10.1038/s43017-019-0019-0.

162. Meybeck, M. Fluvial filtering of land-to-ocean fluxes: from natural Holocene variations to Anthropocene / M. Meybeck, C. Vörösmarty // Comptes Rendus Geoscience. – 2005. – Vol. 337. – No 1–2. – P. 107–123. – DOI 10.1016/j.crte.2004.09.016

163. Meybeck, M. Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes / M. Meybeck // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences. – 2003. – Vol. 358. – No 1440. – P. 1935–1955. – DOI 10.1098/rstb.2003.1379

164. Moatar, F. River flux uncertainties predicted by hydrological variability and riverine material behaviour / F. Moatar, M. Meybeck, S. Raymond [et al.] // Hydrological processes. – 2013. – Vol. 27. – No 25. – P. 3535–3546. – DOI 10.1002/hyp.9464.

165. Qdais, H. A. Assessment of metals pollution from tailing sites in the North Caucasus Region, Russia / H. A. Qdais, I. V. Begday, I. Y. Katorgin [et al.] // Mine

Water and the Environment. – 2018. – Vol. 37. – No 4. – P. 815–824. – DOI 10.1007/s10230-018-0545-x.

166. Raymond, P. A. Anthropogenic influences on riverine fluxes of dissolved inorganic carbon to the oceans / P. A. Raymond, S. K. Hamilton // *Limnology and Oceanography Letters*. – 2018. – Vol. 3. – No 3. – P. 143–155. – DOI 10.1002/lol2.10069.

167. Sentinel-2 10m land use/land cover time series of the world. Produced by Impact Observatory and Esri [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=cfcfb7609de5f478eb7666240902d4d3d> (дата обращения: 24.07.2024).

168. Snezhko, V. Assessing the Pollution Level in the Kuban River Basin by Multivariate Cluster Analysis / V. Snezhko, D. Benin, A. Lukyanets, L. Kondratenko // *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*. – 2020. – Vol. 17, No. 4. – P. 73–80. – DOI 10.3233/AJW200053.

169. Van Cappellen, P. Rivers in the Anthropocene: Global scale modifications of riverine nutrient fluxes by damming / P. Van Cappellen, T. Maavara // *Ecohydrology & Hydrobiology*. – 2016. – Vol. 16. – No 2. – P. 106–111. – DOI 10.1016/j.ecohyd.2016.04.001.

170. Wang, L. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling / L. Wang, H. Liu // *International Journal of Geographical Information Science*. – 2006. – Vol. 20. – No 2. – P. 193–213. – DOI 10.1080/13658810500433453.

171. Wu, G. Riverine nutrient fluxes and environmental effects on China's estuaries / G. Wu, W. Cao, F. Wang [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2019. – Vol. 661. – P. 130–137. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.01.120

172. Yin, S. Long-term trends of streamflow, sediment load and nutrient fluxes from the Mississippi River Basin: Impacts of climate change and human activities / S. Yin, G. Gao, Y. Li [et al.] // *Journal of Hydrology*. – 2023. – Vol. 616. – P. 128822. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.128822

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Статистические характеристики гидрохимических данных

Таблица 1 – Статистические характеристики среднегодовых концентраций показателей химического состава речных вод бассейна Кубани (1990–2020 гг.), мг/дм³

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
р. Кубань – г. Невинномысск, выше города						
Минерализация	30	369	197	578	107	0,29
Ca ²⁺	30	46,6	29,9	73,3	10,4	0,22
Mg ²⁺	30	17,0	7,48	33,0	7,29	0,43
Na ⁺ + K ⁺	30	37,6	10,1	63,0	16,1	0,43
HCO ₃ ⁻	30	115	86,0	153	15,9	0,14
SO ₄ ²⁻	30	128	28,1	241	54,5	0,43
Cl ⁻	30	21,2	10,8	38,2	7,76	0,37
ОВ по ХПК	29	16,9	8,63	26,8	4,60	0,27
ОВ по БПК ₅	29	2,21	1,46	3,39	0,54	0,24
N-NH ₄ ⁺	30	0,064	0,013	0,28	0,056	0,88
N-NO ₂ ⁻	30	0,033	0,007	0,23	0,054	1,64
N-NO ₃ ⁻	30	1,69	0,66	5,43	0,99	0,59
Fe	30	0,65	0,060	1,41	0,43	0,66
Cu*	30	4,52	1,50	8,50	1,80	0,40
Zn*	30	8,45	0,50	31,0	6,95	0,82
Нефтепродукты	28	0,11	0,005	0,72	0,20	1,82
р. Кубань – г. Невинномысск, ниже города						
Минерализация	30	378	217	586	84,5	0,22
Ca ²⁺	30	42,9	29,8	61,5	8,15	0,19
Mg ²⁺	30	18,0	9,42	33,3	4,93	0,27
Na ⁺ + K ⁺	30	44,5	19,3	75,4	14,2	0,32
HCO ₃ ⁻	30	99,6	66,7	127	14,1	0,14
SO ₄ ²⁻	30	146	66,4	268	44,8	0,31

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Cl ⁻	30	20,9	12,1	32,9	5,23	0,25
ОВ по ХПК	29	18,2	9,94	30,4	4,49	0,25
ОВ по БПК ₅	30	2,02	1,32	3,60	0,54	0,27
N-NH ₄ ⁺	30	0,062	0,008	0,21	0,044	0,71
N-NO ₂ ⁻	30	0,049	0,006	0,55	0,11	2,24
N-NO ₃ ⁻	30	1,69	0,60	4,70	0,90	0,53
Fe	30	0,85	0,11	1,74	0,52	0,61
Cu*	30	6,19	0,75	18,3	3,68	0,59
Zn*	30	8,15	0,75	18,8	5,20	0,64
Нефтепродукты	30	0,10	0,005	0,56	0,16	1,60
р. Кубань – г. Армавир, выше города						
Минерализация	31	430	265	602	85,7	0,20
Ca ²⁺	31	45,9	34,6	69,9	8,31	0,18
Mg ²⁺	31	20,8	10,3	31,1	5,29	0,25
Na ⁺ + K ⁺	31	53,4	26,1	83,0	16,0	0,30
HCO ₃ ⁻	31	104	79,3	124	12,2	0,12
SO ₄ ²⁻	31	178	95,2	277	46,6	0,26
Cl ⁻	31	22,3	13,1	35,5	6,04	0,27
ОВ по ХПК	30	17,1	8,10	24,4	4,18	0,24
ОВ по БПК ₅	30	2,02	1,14	3,14	0,46	0,23
N-NH ₄ ⁺	31	0,055	н.о.**	0,25	0,056	1,02
N-NO ₂ ⁻	31	0,024	0,006	0,18	0,040	1,67
N-NO ₃ ⁻	31	1,60	0,56	4,65	0,81	0,51
Fe	31	0,96	0,050	3,23	0,71	0,74
Cu*	31	5,34	1,25	11,0	2,76	0,52
Zn*	31	6,71	0,40	15,3	4,44	0,66
Нефтепродукты	31	0,10	0,008	0,49	0,15	1,50
р. Кубань – г. Армавир, ниже города						
Минерализация	30	476	286	694	87,3	0,18
Ca ²⁺	30	55,2	33,3	74,3	8,86	0,16

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Mg ²⁺	30	21,8	14,1	33,5	5,14	0,24
Na ⁺ + K ⁺	30	56,4	24,2	90,1	15,1	0,27
HCO ₃ ⁻	30	118	89,9	153	15,6	0,13
SO ₄ ²⁻	30	198	123	329	46,2	0,23
Cl ⁻	30	22,6	13,9	35,2	5,54	0,25
ОВ по ХПК	29	17,4	9,65	23,8	3,98	0,23
ОВ по БПК ₅	30	2,02	1,27	3,03	0,51	0,25
N-NH ₄ ⁺	30	0,068	0,010	0,27	0,060	0,88
N-NO ₂ ⁻	30	0,036	0,011	0,29	0,063	1,75
N-NO ₃ ⁻	30	1,81	0,65	3,45	0,74	0,41
Fe	30	1,05	0,11	3,83	0,80	0,76
Cu*	30	7,52	1,25	17,5	4,78	0,64
Zn*	30	8,31	1,20	26,0	6,99	0,84
Нефтепродукты	30	0,11	0,008	0,54	0,17	1,55
р. Кубань – г. Кропоткин, выше города						
Минерализация	30	559	360	883	105	0,19
Ca ²⁺	30	62,9	45,1	96,5	9,81	0,16
Mg ²⁺	30	26,2	17,4	40,5	5,29	0,20
Na ⁺ + K ⁺	30	66,7	32,7	116	18,6	0,28
HCO ₃ ⁻	30	126	91,0	158	16,7	0,13
SO ₄ ²⁻	30	240	148	430	56,5	0,24
Cl ⁻	30	29,3	14,0	47,5	7,04	0,24
ОВ по ХПК	29	20,0	9,43	27,7	4,35	0,22
ОВ по БПК ₅	27	2,02	1,30	3,30	0,46	0,23
N-NH ₄ ⁺	30	0,059	н.о.	0,21	0,052	0,88
N-NO ₂ ⁻	30	0,024	0,009	0,20	0,037	1,54
N-NO ₃ ⁻	30	1,95	0,64	3,85	0,87	0,45
Fe	30	0,90	0,085	2,76	0,68	0,76
Cu*	30	6,72	2,00	17,8	4,00	0,60
Zn*	30	6,93	1,17	20,0	5,36	0,77

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Нефтепродукты	28	0,086	0,008	0,48	0,15	1,74
р. Кубань – г. Крототкин, ниже города						
Минерализация	30	566	368	900	104	0,18
Ca ²⁺	30	62,7	44,2	96,5	10,2	0,16
Mg ²⁺	30	26,8	16,6	43,1	5,30	0,20
Na ⁺ + K ⁺	30	69,0	36,1	117	17,5	0,25
HCO ₃ ⁻	30	128	90,5	175,4	18,2	0,14
SO ₄ ²⁻	30	243	155	432	53,9	0,22
Cl ⁻	30	29,7	15,2	49,1	7,08	0,24
ОВ по ХПК	29	19,8	10,2	30,1	4,44	0,22
ОВ по БПК ₅	28	2,04	1,29	3,50	0,49	0,24
N-NH ₄ ⁺	30	0,069	0,003	0,30	0,063	0,91
N-NO ₂ ⁻	30	0,031	0,008	0,34	0,061	1,97
N-NO ₃ ⁻	30	2,01	0,78	4,20	0,85	0,42
Fe	30	0,93	0,13	3,48	0,78	0,84
Cu*	30	7,48	2,00	20,5	4,58	0,61
Zn*	30	7,89	1,33	28,3	6,13	0,78
Нефтепродукты	27	0,082	0,005	0,50	0,14	1,71
р. Кубань – ст-ца Ладожская, ниже станицы						
Минерализация	31	613	392	917	119	0,19
Ca ²⁺	31	67,0	47,8	95,4	11,4	0,17
Mg ²⁺	31	29,5	15,7	48,2	7,35	0,25
Na ⁺ + K ⁺	31	76,0	40,0	119	22,4	0,29
HCO ₃ ⁻	31	143	113	177	18,2	0,13
SO ₄ ²⁻	31	255	149	415	64,9	0,25
Cl ⁻	31	34,0	15,7	56,2	10,3	0,30
ОВ по ХПК	30	21,3	9,60	33,9	4,89	0,23
ОВ по БПК ₅	31	3,32	1,14	5,92	1,36	0,41
N-NH ₄ ⁺	31	0,065	0,005	0,22	0,052	0,80
N-NO ₂ ⁻	31	0,017	0,008	0,055	0,009	0,53

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
N-NO ₃ ⁻	31	2,31	0,77	4,47	1,04	0,45
Fe	31	0,72	0,043	1,98	0,51	0,71
Cu*	31	8,26	1,67	21,4	4,69	0,57
Zn*	31	11,2	0,17	34,6	8,51	0,76
Нефтепродукты	31	0,11	0,005	0,51	0,16	1,45
р. Кубань – г. Краснодар, выше города						
Минерализация	31	321	243	431	43,3	0,13
Ca ²⁺	31	47,2	39,5	63,1	5,48	0,12
Mg ²⁺	31	12,5	9,03	18,4	2,19	0,18
Na ⁺ + K ⁺	31	26,0	8,37	37,1	7,72	0,30
HCO ₃ ⁻	31	128	101	147	11,3	0,09
SO ₄ ²⁻	31	89,7	51,9	149	20,3	0,23
Cl ⁻	31	13,6	8,52	23,0	2,89	0,21
ОВ по ХПК	30	15,9	9,74	24,4	3,79	0,24
ОВ по БПК ₅	31	2,62	1,50	4,55	0,85	0,32
N-NH ₄ ⁺	31	0,091	0,012	0,27	0,063	0,69
N-NO ₂ ⁻	31	0,015	0,011	0,023	0,003	0,20
N-NO ₃ ⁻	31	1,08	0,60	2,04	0,38	0,35
Fe	31	0,32	0,081	0,60	0,13	0,41
Cu*	31	5,42	2,38	9,42	1,91	0,35
Zn*	31	10,4	1,25	23,8	6,66	0,64
Нефтепродукты	31	0,11	0,008	0,51	0,15	1,36
р. Кубань – г. Краснодар, ниже города						
Минерализация	31	334	246	475	46,6	0,14
Ca ²⁺	31	47,7	40,2	61,4	5,66	0,12
Mg ²⁺	31	12,7	9,15	19,7	2,16	0,17
Na ⁺ + K ⁺	31	29,4	9,27	53,2	9,21	0,31
HCO ₃ ⁻	31	134	102	171	14,0	0,10
SO ₄ ²⁻	31	90,3	49,1	145	19,6	0,22
Cl ⁻	31	15,0	10,1	33,4	4,37	0,29

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
ОВ по ХПК	30	16,7	9,20	25,2	5,16	0,31
ОВ по БПК ₅	31	2,80	1,41	4,71	1,08	0,39
N-NH ₄ ⁺	31	0,13	0,013	0,32	0,085	0,65
N-NO ₂ ⁻	31	0,033	0,013	0,16	0,032	0,97
N-NO ₃ ⁻	31	1,26	0,68	2,72	0,45	0,36
Fe	31	0,40	0,086	0,76	0,17	0,43
Cu*	31	5,89	2,42	13,2	2,44	0,41
Zn*	31	10,7	1,83	21,9	6,18	0,58
Нефтепродукты	31	0,11	0,010	0,46	0,15	1,36
р. Кубань – х. Тиховский, в черте хутора						
Минерализация	31	376	336	420	23,7	0,06
Ca ²⁺	31	36,7	19,1	52,4	9,70	0,26
Mg ²⁺	31	15,9	9,00	20,8	3,15	0,20
Na ⁺ + K ⁺	31	52,8	17,5	77,3	15,2	0,29
HCO ₃ ⁻	31	125	91,2	163	16,1	0,13
SO ₄ ²⁻	31	112	98,2	125	7,05	0,06
Cl ⁻	31	30,8	17,9	43,6	5,26	0,17
ОВ по ХПК	31	25,4	17,3	30,4	3,63	0,14
ОВ по БПК ₅	31	1,47	1,15	1,93	0,18	0,12
N-NH ₄ ⁺	31	0,21	0,084	0,59	0,14	0,67
N-NO ₂ ⁻	31	0,019	0,011	0,048	0,008	0,42
N-NO ₃ ⁻	31	2,43	0,95	3,42	0,54	0,22
Fe	31	0,18	0,048	0,53	0,12	0,67
Cu*	31	1,88	0,88	3,96	0,77	0,41
Zn*	31	9,20	5,25	19,8	3,76	0,41
Нефтепродукты	31	0,17	0,053	0,51	0,13	0,76
рук. Петрушин – г. Темрюк, выше города						
Минерализация	31	393	352	459	26,9	0,07
Ca ²⁺	31	38,5	20,2	59,9	11,1	0,29
Mg ²⁺	31	15,5	10,1	21,0	3,16	0,20

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Na ⁺ + K ⁺	31	57,6	26,7	75,1	10,5	0,18
HCO ₃ ⁻	31	127	99,9	159	15,1	0,12
SO ₄ ²⁻	31	118	103	143	9,62	0,08
Cl ⁻	31	33,6	19,8	49,8	7,70	0,23
ОВ по ХПК	31	25,7	18,0	30,7	3,41	0,13
ОВ по БПК ₅	31	1,53	1,19	2,42	0,23	0,15
N-NH ₄ ⁺	31	0,20	0,084	0,55	0,13	0,65
N-NO ₂ ⁻	31	0,019	0,011	0,035	0,006	0,32
N-NO ₃ ⁻	31	2,42	1,04	3,42	0,54	0,22
Fe	31	0,16	0,042	0,60	0,11	0,69
Cu*	31	1,99	1,00	3,46	0,65	0,33
Zn*	31	8,30	5,29	14,3	2,58	0,31
Нефтепродукты	31	0,16	0,053	0,44	0,13	0,81
рук. Петрушин – г. Темрюк, ниже города						
Минерализация	31	394	344	454	28,1	0,07
Ca ²⁺	31	38,4	20,6	59,8	11,1	0,29
Mg ²⁺	31	15,3	8,83	19,9	3,22	0,21
Na ⁺ + K ⁺	31	58,9	26,6	77,6	10,9	0,19
HCO ₃ ⁻	31	126	100	158	14,8	0,12
SO ₄ ²⁻	31	118	103	143	9,03	0,08
Cl ⁻	31	34,5	20,3	54,4	7,94	0,23
ОВ по ХПК	31	25,7	18,5	30,9	3,36	0,13
ОВ по БПК ₅	31	1,52	1,18	2,02	0,19	0,13
N-NH ₄ ⁺	31	0,21	0,083	0,57	0,13	0,62
N-NO ₂ ⁻	31	0,019	0,012	0,035	0,006	0,32
N-NO ₃ ⁻	31	2,43	1,04	3,38	0,53	0,22
Fe	31	0,16	0,037	0,50	0,10	0,63
Cu*	31	2,05	1,17	4,04	0,75	0,37
Zn*	31	8,85	5,25	24,3	3,92	0,44
Нефтепродукты	31	0,16	0,055	0,52	0,13	0,81

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
рук. Казачий Ерик – х. Дубовый Рынок, выше хутора						
Минерализация	31	406	355	462	24,3	0,06
Ca ²⁺	31	41,1	24,9	58,4	9,63	0,23
Mg ²⁺	31	15,5	10,3	24,0	3,41	0,22
Na ⁺ + K ⁺	31	59,4	25,6	80,1	13,4	0,23
HCO ₃ ⁻	31	135	90,5	183	19,1	0,14
SO ₄ ²⁻	31	120	104	138	7,43	0,06
Cl ⁻	31	33,1	19,1	45,1	5,54	0,17
ОВ по ХПК	31	27,6	18,4	34,0	3,56	0,13
ОВ по БПК ₅	31	1,53	1,14	1,88	0,16	0,10
N-NH ₄ ⁺	31	0,19	0,11	0,56	0,11	0,58
N-NO ₂ ⁻	31	0,021	0,011	0,11	0,018	0,86
N-NO ₃ ⁻	31	2,52	1,14	3,44	0,57	0,23
Fe	31	0,17	0,072	0,53	0,10	0,59
Cu*	31	2,15	1,67	3,00	0,29	0,13
Zn*	31	8,15	6,17	11,3	1,13	0,14
Нефтепродукты	31	0,18	0,077	0,62	0,13	0,72
рук. Протока – г. Славянск-на-Кубани, выше города						
Минерализация	31	366	333	415	21,8	0,06
Ca ²⁺	31	36,1	19,0	53,7	10,7	0,30
Mg ²⁺	31	15,1	9,05	19,8	2,83	0,19
Na ⁺ + K ⁺	31	51,4	17,3	71,0	13,5	0,26
HCO ₃ ⁻	31	124	99,6	162	14,2	0,11
SO ₄ ²⁻	31	108	89,5	119	7,10	0,07
Cl ⁻	31	28,3	16,3	43,6	5,99	0,21
ОВ по ХПК	31	25,4	18,6	30,9	3,46	0,14
ОВ по БПК ₅	31	1,46	1,21	1,90	0,15	0,10
N-NH ₄ ⁺	31	0,21	0,083	0,71	0,16	0,76
N-NO ₂ ⁻	31	0,019	0,010	0,037	0,007	0,37
N-NO ₃ ⁻	31	2,43	1,15	3,41	0,55	0,23

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Fe	31	0,19	0,052	0,49	0,13	0,68
Cu*	31	1,86	1,08	3,82	0,64	0,34
Zn*	31	9,19	5,50	17,5	3,36	0,37
Нефтепродукты	31	0,16	0,061	0,59	0,13	0,81
рук. Протока – г. Славянск-на-Кубани, ниже города						
Минерализация	31	368	336	409	21,2	0,06
Ca ²⁺	31	36,4	19,6	54,0	10,5	0,29
Mg ²⁺	31	15,0	9,32	19,8	2,75	0,18
Na ⁺ + K ⁺	31	51,8	20,8	70,6	13,1	0,25
HCO ₃ ⁻	31	124	100	161	14,1	0,11
SO ₄ ²⁻	31	109	91,0	120	7,27	0,07
Cl ⁻	31	28,7	16,5	44,0	5,88	0,20
ОВ по ХПК	31	25,4	18,0	30,7	3,62	0,14
ОВ по БПК ₅	31	1,45	1,20	1,95	0,16	0,11
N-NH ₄ ⁺	31	0,21	0,086	0,68	0,16	0,76
N-NO ₂ ⁻	31	0,019	0,010	0,037	0,007	0,37
N-NO ₃ ⁻	31	2,45	1,18	3,47	0,54	0,22
Fe	31	0,18	0,055	0,58	0,12	0,67
Cu*	31	1,88	1,00	3,75	0,66	0,35
Zn*	31	9,53	5,92	24,0	3,97	0,42
Нефтепродукты	31	0,17	0,063	0,66	0,14	0,82
рук. Протока – ст-ца Гривенская, в черте станицы						
Минерализация	29	401	355	488	33,5	0,08
Ca ²⁺	29	39,1	21,7	60,7	11,7	0,30
Mg ²⁺	29	16,6	9,40	21,4	2,96	0,18
Na ⁺ + K ⁺	29	58,3	40,8	77,9	9,22	0,16
HCO ₃ ⁻	29	128	101	169	16,5	0,13
SO ₄ ²⁻	29	119	108	140	9,65	0,08
Cl ⁻	29	37,4	24,5	72,8	13,3	0,36
ОВ по ХПК	29	25,9	17,6	31,6	3,60	0,14

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
ОВ по БПК ₅	29	1,55	1,13	2,60	0,30	0,19
N-NH ₄ ⁺	29	0,21	0,075	0,54	0,14	0,67
N-NO ₂ ⁻	29	0,019	0,012	0,044	0,007	0,37
N-NO ₃ ⁻	29	2,55	1,31	3,45	0,56	0,22
Fe	29	0,18	0,052	0,55	0,13	0,72
Cu*	29	2,07	1,33	3,80	0,69	0,33
Zn*	29	9,10	6,00	15,5	2,74	0,30
Нефтепродукты	29	0,17	0,062	0,59	0,15	0,88
рук. Протока – х. Слободка, ниже хутора						
Минерализация	31	459	383	619	66,5	0,14
Ca ²⁺	31	43,0	20,7	78,3	14,7	0,34
Mg ²⁺	31	18,2	9,27	28,6	4,50	0,25
Na ⁺ + K ⁺	31	71,6	42,9	92,7	11,5	0,16
HCO ₃ ⁻	31	133	104	170	16,7	0,13
SO ₄ ²⁻	31	134	107	204	23,0	0,17
Cl ⁻	31	52,3	30,4	120	21,8	0,42
ОВ по ХПК	31	26,0	19,8	31,0	3,17	0,12
ОВ по БПК ₅	31	1,48	1,18	1,81	0,14	0,09
N-NH ₄ ⁺	31	0,20	0,084	0,61	0,13	0,65
N-NO ₂ ⁻	31	0,021	0,012	0,045	0,008	0,38
N-NO ₃ ⁻	31	2,57	1,17	3,50	0,58	0,23
Fe	31	0,21	0,060	0,97	0,18	0,86
Cu*	31	2,12	1,17	4,42	0,65	0,31
Zn*	31	12,7	6,17	25,9	6,57	0,52
Нефтепродукты	31	0,18	0,066	0,78	0,16	0,89
р. Большой Зеленчук – г. Невинномысск, выше города						
Минерализация	30	268	175	348	45,7	0,17
Ca ²⁺	30	36,9	28,1	54,5	5,64	0,15
Mg ²⁺	30	12,2	5,70	21,7	3,07	0,25
Na ⁺ + K ⁺	30	22,2	10,6	42,1	7,55	0,34

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
HCO ₃ ⁻	30	97,3	68,0	127	14,8	0,15
SO ₄ ²⁻	30	84,6	49,2	127	20,8	0,25
Cl ⁻	30	11,4	6,90	19,8	2,59	0,23
ОВ по ХПК	29	13,3	8,45	19,5	3,34	0,25
ОВ по БПК ₅	30	1,63	1,20	2,53	0,35	0,21
N-NH ₄ ⁺	30	0,052	0,005	0,23	0,047	0,90
N-NO ₂ ⁻	30	0,010	0,004	0,028	0,005	0,50
N-NO ₃ ⁻	30	1,49	0,54	2,95	0,53	0,36
Fe	30	0,66	0,090	1,68	0,42	0,64
Cu*	30	4,83	1,20	17,3	3,59	0,74
Zn*	30	6,56	1,25	15,2	4,06	0,62
Нефтепродукты	29	0,10	0,005	0,61	0,17	1,70
р. Лаба – г. Лабинск, выше города						
Минерализация	30	183	133	275	32,2	0,18
Ca ²⁺	30	34,5	28,1	45,5	3,76	0,11
Mg ²⁺	30	5,66	2,88	10,4	2,24	0,40
Na ⁺ + K ⁺	29	7,09	0,25	30,2	5,62	0,79
HCO ₃ ⁻	30	95,3	71,6	157	16,5	0,17
SO ₄ ²⁻	30	32,9	19,7	86,1	12,3	0,37
Cl ⁻	30	5,05	2,70	10,7	1,67	0,33
ОВ по ХПК	30	12,4	6,48	21,8	3,60	0,29
ОВ по БПК ₅	27	1,64	1,15	2,85	0,40	0,24
N-NH ₄ ⁺	30	0,043	н.о.	0,21	0,045	1,05
N-NO ₂ ⁻	30	0,005	0,001	0,015	0,003	0,60
N-NO ₃ ⁻	30	0,58	0,21	1,81	0,27	0,47
Fe	30	0,50	0,063	1,61	0,37	0,74
Cu*	30	4,03	1,25	13,6	2,48	0,62
Zn*	30	6,68	0,50	26,5	5,47	0,82
Нефтепродукты	28	0,081	0,004	0,44	0,13	1,60
р. Лаба – г. Лабинск, ниже города						

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Минерализация	30	185	136	266	28,9	0,16
Ca ²⁺	30	34,9	23,4	46,3	4,61	0,13
Mg ²⁺	30	5,52	2,25	11,4	2,39	0,43
Na ⁺ + K ⁺	30	7,56	0,63	26,8	4,79	0,63
HCO ₃ ⁻	30	95,2	71,1	149	16,7	0,18
SO ₄ ²⁻	30	35,0	19,6	83,2	11,4	0,33
Cl ⁻	30	4,93	2,48	9,30	1,58	0,32
ОВ по ХПК	27	12,3	5,50	22,6	4,17	0,34
ОВ по БПК ₅	30	1,72	1,10	2,85	0,49	0,28
N-NH ₄ ⁺	30	0,048	н.о.	0,23	0,051	1,06
N-NO ₂ ⁻	30	0,006	0,002	0,020	0,004	0,67
N-NO ₃ ⁻	30	0,60	0,20	2,14	0,33	0,55
Fe	30	0,57	0,10	1,64	0,40	0,70
Cu*	30	4,99	1,00	18,4	3,68	0,74
Zn*	30	7,28	0,75	28,3	6,09	0,84
Нефтепродукты	28	0,094	0,003	0,67	0,17	1,81
р. Лаба – х. Догужиев, выше хутора						
Минерализация	31	312	245	428	46,2	0,15
Ca ²⁺	31	50,2	42,2	66,8	6,60	0,13
Mg ²⁺	31	11,4	8,15	20,2	2,47	0,22
Na ⁺ + K ⁺	31	19,3	2,84	32,4	7,81	0,40
HCO ₃ ⁻	31	148	113	197	18,9	0,13
SO ₄ ²⁻	31	68,8	35,0	99,9	16,2	0,24
Cl ⁻	31	8,39	5,60	13,2	1,65	0,20
ОВ по ХПК	30	13,5	6,45	22,5	4,15	0,31
ОВ по БПК ₅	31	2,65	1,21	4,58	0,92	0,35
N-NH ₄ ⁺	31	0,058	0,005	0,20	0,051	0,88
N-NO ₂ ⁻	31	0,010	0,006	0,023	0,003	0,30
N-NO ₃ ⁻	31	1,46	0,78	3,15	0,55	0,38
Fe	31	0,59	0,078	1,48	0,39	0,66

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Cu*	31	7,23	1,80	17,4	4,05	0,56
Zn*	31	10,9	0,25	31,2	7,39	0,68
Нефтепродукты	30	0,097	0,005	0,58	0,15	1,55
р. Белая – п. Гузерибль, выше поселка						
Минерализация	30	85,2	66,6	135	14,6	0,17
Ca ²⁺	30	14,8	13,0	18,0	1,30	0,09
Mg ²⁺	30	2,49	0,80	4,33	0,93	0,37
Na ⁺ + K ⁺	30	4,57	0,72	16,1	3,15	0,69
HCO ₃ ⁻	30	50,9	38,7	86,7	9,82	0,19
SO ₄ ²⁻	30	9,07	5,76	20,7	2,83	0,31
Cl ⁻	30	2,65	0,93	4,35	0,71	0,27
ОВ по ХПК	29	8,65	3,13	15,9	3,85	0,45
ОВ по БПК ₅	30	1,98	1,17	2,73	0,48	0,24
N-NH ₄ ⁺	30	0,049	0,003	0,21	0,046	0,94
N-NO ₂ ⁻	30	0,003	0,001	0,007	0,001	0,33
N-NO ₃ ⁻	30	0,20	0,034	0,41	0,088	0,44
Fe	30	0,39	0,065	1,30	0,29	0,74
Cu*	30	3,40	0,75	11,0	2,35	0,69
Zn*	30	7,03	1,20	20,0	4,27	0,61
Нефтепродукты	29	0,082	0,005	0,46	0,13	1,59
р. Белая – г. Майкоп, выше города						
Минерализация	30	143	108	180	21,8	0,15
Ca ²⁺	30	25,2	20,1	31,5	2,96	0,12
Mg ²⁺	30	4,33	2,48	8,35	1,28	0,30
Na ⁺ + K ⁺	30	7,55	1,22	14,3	3,66	0,48
HCO ₃ ⁻	30	80,1	60,0	106	13,0	0,16
SO ₄ ²⁻	30	18,3	8,72	32,6	5,31	0,29
Cl ⁻	30	6,17	3,08	10,1	1,78	0,29
ОВ по ХПК	29	11,2	3,73	18,5	3,63	0,32
ОВ по БПК ₅	30	1,93	1,13	2,67	0,50	0,26

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
N-NH ₄ ⁺	30	0,046	0,002	0,18	0,034	0,74
N-NO ₂ ⁻	30	0,005	0,002	0,010	0,002	0,40
N-NO ₃ ⁻	30	0,31	0,072	0,97	0,17	0,55
Fe	30	0,88	0,088	1,63	0,49	0,56
Cu*	30	4,83	2,25	11,3	2,24	0,46
Zn*	30	6,99	0,60	15,8	4,56	0,65
Нефтепродукты	30	0,11	0,003	0,50	0,16	1,45
р. Белая – г. Майкоп, ниже города						
Минерализация	30	180	139	237	25,5	0,14
Ca ²⁺	30	32,4	24,7	39,4	3,94	0,12
Mg ²⁺	30	5,27	3,32	7,08	1,05	0,20
Na ⁺ + K ⁺	30	8,70	2,00	20,0	4,32	0,50
HCO ₃ ⁻	30	102	81,1	139	14,5	0,14
SO ₄ ²⁻	30	23,2	9,92	36,6	6,81	0,29
Cl ⁻	30	6,91	3,63	11,1	1,89	0,27
ОВ по ХПК	29	12,4	7,13	24,2	4,12	0,33
ОВ по БПК ₅	30	1,97	1,16	2,64	0,48	0,24
N-NH ₄ ⁺	30	0,061	0,005	0,18	0,040	0,66
N-NO ₂ ⁻	30	0,012	0,003	0,097	0,017	1,42
N-NO ₃ ⁻	30	0,35	0,068	1,06	0,18	0,51
Fe	30	1,11	0,14	3,52	0,74	0,67
Cu*	30	5,94	2,17	14,5	3,22	0,54
Zn*	30	7,64	1,00	16,0	4,19	0,55
Нефтепродукты	30	0,10	0,005	0,56	0,16	1,60
р. Белая – а. Адамий, в черте аула						
Минерализация	31	233	152	313	36,8	0,16
Ca ²⁺	31	42,8	33,4	60,2	6,49	0,15
Mg ²⁺	31	6,29	4,10	10,1	1,42	0,23
Na ⁺ + K ⁺	31	10,9	1,63	21,1	4,85	0,44
HCO ₃ ⁻	31	130	96,6	181	19,7	0,15

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
SO ₄ ²⁻	31	33,1	17,0	50,0	8,12	0,25
Cl ⁻	31	8,16	3,90	11,6	2,07	0,25
ОВ по ХПК	30	13,6	6,00	23,4	4,47	0,33
ОВ по БПК ₅	31	2,49	1,19	5,93	1,07	0,43
N-NH ₄ ⁺	31	0,061	0,003	0,21	0,048	0,79
N-NO ₂ ⁻	31	0,011	0,004	0,034	0,006	0,55
N-NO ₃ ⁻	31	0,60	0,26	1,59	0,25	0,42
Fe	31	0,62	0,098	1,27	0,37	0,60
Cu*	31	6,39	2,00	13,0	3,10	0,49
Zn*	31	10,6	0,25	24,0	6,93	0,65
Нефтепродукты	30	0,089	0,005	0,41	0,13	1,46
р. Пшеха – г. Апшеронск, выше города						
Минерализация	30	180	144	251	22,8	0,13
Ca ²⁺	30	36,0	31,4	41,4	2,37	0,07
Mg ²⁺	30	3,38	1,90	6,02	1,12	0,33
Na ⁺ + K ⁺	30	6,56	0,50	23,2	5,11	0,78
HCO ₃ ⁻	30	113	95,2	157,3	15,0	0,13
SO ₄ ²⁻	30	15,4	8,40	33,3	4,90	0,32
Cl ⁻	30	3,70	1,60	7,45	1,23	0,33
ОВ по ХПК	29	10,7	4,10	18,2	3,86	0,36
ОВ по БПК ₅	30	1,83	1,04	2,54	0,43	0,23
N-NH ₄ ⁺	30	0,046	0,002	0,19	0,035	0,76
N-NO ₂ ⁻	30	0,006	0,001	0,017	0,004	0,67
N-NO ₃ ⁻	30	0,26	0,038	0,63	0,12	0,46
Fe	30	0,82	0,12	2,60	0,56	0,68
Cu*	30	4,36	1,00	9,00	2,12	0,49
Zn*	30	7,37	0,75	24,0	5,22	0,71
Нефтепродукты	30	0,11	0,005	0,48	0,16	1,45
р. Пшеха – г. Апшеронск, ниже города						
Минерализация	30	204	165	268	27,1	0,13

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Ca ²⁺	30	40,1	34,2	44,7	3,11	0,08
Mg ²⁺	30	4,18	2,32	8,02	1,23	0,29
Na ⁺ + K ⁺	30	8,32	0,48	19,6	5,10	0,61
HCO ₃ ⁻	30	126	101	167	16,5	0,13
SO ₄ ²⁻	30	19,2	11,9	39,7	5,92	0,31
Cl ⁻	30	6,44	3,94	9,83	1,65	0,26
ОВ по ХПК	29	12,6	5,05	23,3	3,90	0,31
ОВ по БПК ₅	30	1,85	1,00	2,44	0,47	0,25
N-NH ₄ ⁺	30	0,076	0,003	0,22	0,056	0,74
N-NO ₂ ⁻	30	0,011	0,003	0,020	0,005	0,45
N-NO ₃ ⁻	30	0,37	0,17	0,81	0,16	0,43
Fe	30	1,13	0,088	5,15	0,96	0,85
Cu*	30	4,62	1,50	11,8	2,63	0,57
Zn*	30	7,95	0,80	24,0	5,27	0,66
Нефтепродукты	30	0,12	0,008	0,73	0,19	1,58
р. Шиш – г. Хадыженск, выше города						
Минерализация	30	161	121	188	16,4	0,10
Ca ²⁺	30	28,9	21,3	37,0	3,27	0,11
Mg ²⁺	30	4,51	2,58	7,57	1,03	0,23
Na ⁺ + K ⁺	30	7,36	2,60	14,2	3,11	0,42
HCO ₃ ⁻	30	98,1	72,2	116	11,3	0,12
SO ₄ ²⁻	30	16,9	11,3	33,8	4,62	0,27
Cl ⁻	30	4,31	2,77	7,83	0,98	0,23
ОВ по ХПК	29	11,2	3,85	21,6	4,22	0,38
ОВ по БПК ₅	30	1,93	1,03	2,65	0,45	0,23
N-NH ₄ ⁺	30	0,049	0,005	0,19	0,044	0,90
N-NO ₂ ⁻	30	0,004	н.о.	0,011	0,003	0,75
N-NO ₃ ⁻	30	0,19	0,002	0,56	0,12	0,63
Fe	30	0,72	0,073	3,32	0,62	0,86
Cu*	30	4,33	1,80	8,50	1,99	0,46

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Zn*	30	6,31	н.о.	19,5	5,04	0,80
Нефтепродукты	30	0,11	0,005	0,55	0,16	1,45
р. Шиш – г. Хадыженск, ниже города						
Минерализация	30	181	136	218	20,7	0,11
Ca ²⁺	30	32,0	25,8	38,8	3,74	0,12
Mg ²⁺	30	4,96	3,03	7,55	1,05	0,21
Na ⁺ + K ⁺	30	9,15	3,25	16,4	4,02	0,44
HCO ₃ ⁻	30	108	82,1	134	12,9	0,12
SO ₄ ²⁻	30	19,1	12,2	36,2	5,16	0,27
Cl ⁻	30	6,94	4,25	14,8	2,40	0,35
ОВ по ХПК	29	12,5	6,30	22,6	4,93	0,39
ОВ по БПК ₅	30	1,92	1,01	2,93	0,48	0,25
N-NH ₄ ⁺	30	0,053	0,008	0,20	0,045	0,85
N-NO ₂ ⁻	30	0,007	0,001	0,019	0,004	0,57
N-NO ₃ ⁻	30	0,23	0,055	0,64	0,13	0,57
Fe	30	0,82	0,080	3,33	0,66	0,80
Cu*	30	5,31	2,25	11,0	2,63	0,50
Zn*	30	7,39	0,50	18,8	5,02	0,68
Нефтепродукты	30	0,12	0,005	0,52	0,16	1,33
р. Шиш – х. Фокин, ниже хутора						
Минерализация	31	203	152	253	27,8	0,14
Ca ²⁺	31	37,2	29,1	48,9	4,15	0,11
Mg ²⁺	31	5,64	2,43	10,2	1,57	0,28
Na ⁺ + K ⁺	31	8,95	1,78	18,6	4,70	0,53
HCO ₃ ⁻	31	118	88,0	151	16,4	0,14
SO ₄ ²⁻	31	24,2	12,7	39,3	6,27	0,26
Cl ⁻	31	7,03	3,68	10,1	1,73	0,25
ОВ по ХПК	30	13,8	6,60	22,2	4,02	0,29
ОВ по БПК ₅	30	2,60	1,17	4,80	1,03	0,40
N-NH ₄ ⁺	31	0,077	0,003	0,30	0,062	0,81

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
N-NO ₂ ⁻	31	0,012	0,003	0,039	0,008	0,67
N-NO ₃ ⁻	31	0,42	0,17	0,71	0,13	0,31
Fe	31	0,87	0,090	2,51	0,59	0,68
Cu*	31	7,08	2,00	15,0	3,45	0,49
Zn*	31	11,0	0,75	24,5	7,38	0,67
Нефтепродукты	31	0,11	0,008	0,49	0,16	1,45
р. Псекупс – г. Горячий Ключ, выше города						
Минерализация	31	302	208	368	42,0	0,14
Ca ²⁺	31	56,1	39,1	75,3	8,18	0,15
Mg ²⁺	31	6,16	2,38	13,3	2,27	0,37
Na ⁺ + K ⁺	31	14,7	3,55	31,8	7,11	0,48
HCO ₃ ⁻	31	189	137	229	25,7	0,14
SO ₄ ²⁻	31	23,9	8,22	33,9	6,10	0,26
Cl ⁻	31	9,18	4,25	20,2	3,93	0,43
ОВ по ХПК	30	13,5	6,85	21,6	3,55	0,26
ОВ по БПК ₅	30	2,52	1,08	5,36	1,14	0,45
N-NH ₄ ⁺	31	0,054	н.о.	0,18	0,049	0,91
N-NO ₂ ⁻	31	0,003	н.о.	0,009	0,002	0,67
N-NO ₃ ⁻	31	0,39	0,10	1,24	0,26	0,67
Fe	31	0,30	0,094	1,92	0,33	1,10
Cu*	31	5,65	1,50	15,8	3,48	0,62
Zn*	31	10,9	1,00	32,3	8,31	0,76
Нефтепродукты	31	0,12	0,010	0,49	0,16	1,33
р. Псекупс – г. Горячий Ключ, ниже города						
Минерализация	31	312	207	387	45,2	0,14
Ca ²⁺	31	57,0	38,0	72,9	8,36	0,15
Mg ²⁺	31	6,54	3,23	18,4	2,68	0,41
Na ⁺ + K ⁺	31	16,5	6,42	33,1	6,90	0,42
HCO ₃ ⁻	31	192	134	239	26,3	0,14
SO ₄ ²⁻	31	26,9	13,1	40,7	7,00	0,26

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Cl ⁻	31	10,8	5,40	18,8	3,24	0,30
ОВ по ХПК	30	14,8	6,98	23,6	4,37	0,30
ОВ по БПК ₅	31	2,68	1,02	4,90	1,11	0,41
N-NH ₄ ⁺	31	0,058	н.о.	0,20	0,043	0,74
N-NO ₂ ⁻	31	0,004	0,001	0,011	0,003	0,75
N-NO ₃ ⁻	31	0,44	0,16	1,31	0,27	0,61
Fe	31	0,34	0,11	1,79	0,30	0,88
Cu*	31	6,23	1,80	19,0	3,64	0,58
Zn*	31	11,4	1,00	33,0	8,61	0,76
Нефтепродукты	29	0,093	0,010	0,66	0,15	1,61
р. Афипис – ст-ца Смоленская, ниже станции						
Минерализация	31	350	265	413	41,8	0,12
Ca ²⁺	31	59,8	47,0	69,3	5,56	0,09
Mg ²⁺	31	8,61	4,85	14,1	2,01	0,23
Na ⁺ + K ⁺	31	21,2	5,40	45,3	8,44	0,40
HCO ₃ ⁻	31	212	169	256	26,4	0,12
SO ₄ ²⁻	31	32,0	11,0	43,5	8,26	0,26
Cl ⁻	31	14,4	8,53	30,5	4,84	0,34
ОВ по ХПК	30	18,6	11,3	27,9	4,60	0,25
ОВ по БПК ₅	30	2,61	1,00	4,72	1,05	0,40
N-NH ₄ ⁺	31	0,062	н.о.	0,15	0,040	0,65
N-NO ₂ ⁻	31	0,009	0,004	0,030	0,006	0,67
N-NO ₃ ⁻	31	0,45	0,15	1,05	0,23	0,51
Fe	31	0,45	0,072	1,22	0,30	0,67
Cu*	31	5,84	1,00	12,0	2,49	0,43
Zn*	31	11,7	1,25	33,5	7,84	0,67
Нефтепродукты	31	0,11	0,008	0,45	0,15	1,36
р. Адагум – г. Крымск, выше города						
Минерализация	31	446	362	520	35,9	0,08
Ca ²⁺	31	76,7	54,2	96,8	11,4	0,15

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Mg ²⁺	31	8,29	3,80	21,7	3,46	0,42
Na ⁺ + K ⁺	31	34,4	2,10	55,1	12,2	0,35
HCO ₃ ⁻	31	246	204	292	21,4	0,09
SO ₄ ²⁻	31	48,0	20,0	67,3	9,55	0,20
Cl ⁻	31	26,1	17,9	34,3	4,72	0,18
ОВ по ХПК	30	17,9	11,8	40,3	5,57	0,31
ОВ по БПК ₅	30	2,84	1,03	5,95	1,27	0,45
N-NH ₄ ⁺	31	0,061	0,003	0,18	0,047	0,77
N-NO ₂ ⁻	31	0,012	0,004	0,041	0,007	0,58
N-NO ₃ ⁻	31	1,67	0,65	3,59	0,73	0,44
Fe	31	0,30	0,090	1,16	0,20	0,67
Cu*	31	6,46	2,40	19,3	3,32	0,51
Zn*	31	10,4	1,25	35,5	7,69	0,74
Нефтепродукты	31	0,12	0,008	0,58	0,17	1,42
р. Адагум – г. Крымск, ниже города						
Минерализация	31	472	382	559	46,8	0,10
Ca ²⁺	31	80,6	58,5	101	12,6	0,16
Mg ²⁺	31	8,93	4,13	20,2	3,42	0,38
Na ⁺ + K ⁺	31	37,3	9,14	62,8	12,7	0,34
HCO ₃ ⁻	31	257	218	308	21,9	0,09
SO ₄ ²⁻	31	49,8	22,9	81,0	12,1	0,24
Cl ⁻	31	28,7	18,2	41,6	5,94	0,21
ОВ по ХПК	30	18,4	7,78	30,8	4,94	0,27
ОВ по БПК ₅	29	3,17	1,13	5,87	1,40	0,44
N-NH ₄ ⁺	31	0,066	н.о.	0,17	0,044	0,67
N-NO ₂ ⁻	31	0,030	0,004	0,30	0,054	1,80
N-NO ₃ ⁻	31	2,22	0,69	6,90	1,24	0,56
Fe	31	0,31	0,076	1,03	0,19	0,61
Cu*	31	7,00	1,60	16,5	4,27	0,61
Zn*	31	10,9	2,00	31,5	7,45	0,68

Компонент	Количество лет наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Нефтепродукты	31	0,15	0,008	0,69	0,21	1,40
р. Абин – г. Абинск, ниже города						
Минерализация	31	312	270	348	21,3	0,07
Ca ²⁺	31	61,1	49,0	72,9	6,88	0,11
Mg ²⁺	31	4,96	2,88	9,30	1,51	0,30
Na ⁺ + K ⁺	31	14,4	2,64	33,5	7,80	0,54
HCO ₃ ⁻	31	198	166	228	16,7	0,08
SO ₄ ²⁻	31	23,1	11,8	37,3	6,39	0,28
Cl ⁻	31	9,32	6,45	13,2	1,63	0,17
ОВ по ХПК	30	12,5	6,10	19,3	3,81	0,30
ОВ по БПК ₅	29	2,22	1,00	4,79	0,94	0,42
N-NH ₄ ⁺	31	0,056	0,005	0,15	0,039	0,70
N-NO ₂ ⁻	31	0,004	0,001	0,017	0,003	0,75
N-NO ₃ ⁻	31	0,41	0,13	1,13	0,22	0,54
Fe	31	0,30	0,070	0,80	0,17	0,57
Cu*	31	5,56	2,00	15,5	3,09	0,56
Zn*	31	10,8	0,25	35,0	8,52	0,79
Нефтепродукты	30	0,11	0,008	0,78	0,18	1,64
Примечание: *выражено в мкг/дм ³ ; **ниже предела обнаружения.						