

На правах рукописи



КОМАРОВ РОМАН СЕРГЕЕВИЧ

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

Специальность – 1.6.21. Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата географических наук

Ростов-на-Дону – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении
«Гидрохимический институт» и Федеральном государственном автономном
образовательном учреждении высшего образования
«Южный федеральный университет»

Научный руководитель: **Решетняк Ольга Сергеевна**,
доктор географических наук, доцент,
Южный федеральный университет, профессор

Официальные оппоненты: **Савичев Олег Геннадьевич**,
доктор географических наук, профессор,
Национальный исследовательский Томский
политехнический университет, профессор

Дреева Фатима Робертовна,
кандидат географических наук,
Центр географических исследований
Кабардино-Балкарского научного центра РАН,
и. о. старшего научного сотрудника

Защита диссертации состоится **01 октября 2025 года в 13:00** на заседании диссертационного совета ЮФУ801.01.11 по географическим наукам на базе Института наук о Земле Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, к. 201 (202).

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им. Ю.А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 21Ж и на сайте Южного федерального университета <https://hub.sfedu.ru/diss/show/1341207/>

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Отзыв на автореферат в 2-х экз. (с указанием даты, полностью ФИО, учёной степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса, телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, к. 208, ученому секретарю диссертационного совета ЮФУ801.01.11 Решетняк О.С., а также в формате pdf на e-mail: osreshetnyak@sfedu.ru (до отправки по почте).

Ученый секретарь
диссертационного совета



Решетняк Ольга Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 (Комаров, Решетняк, 2024). Исследования прошлых лет свидетельствуют о значительной пространственно-временной изменчивости химического состава поверхностных вод в пределах бассейна реки (Клименко и др., 2007; Гидрология дельты..., 2010; Никаноров, 2011; Онищенко и др., 2014, 2016; Дега и др., 2015, 2016; Решетняк, Комаров, 2021; Дега, Аппоева, 2023; Комаров, Решетняк, 2023). 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 (Мальцева и др., 1987; Смирнов, 2009; Парфенова, 2010; Moatar et al., 2013). «Сток растворенных веществ является одним из важнейших гидрохимических показателей формирования геоэкологической обстановки в бассейне реки» (Парфенова, 2010, 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. Конова-лова, Б. А. Скопинцева и многих других (Скопинцев, 1948; Алекин, 1949; Еременко и

др., 1953; Зенин, Коновалов, 1953; Алекин, Бражникова, 1964). 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 (Клименко, Тарасов, 1969), а также изменчивость антропогенной составляющей стока главных ионов непосредственно р. Кубани (Коренева и др., 1989; Бортник, Друмева, 1995; Коняев и др., 2002).

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, изучался химический состав поверхностных вод отдельных притоков р. Кубани (Куцева и др., 1968; Кондрашова и др., 1977; Манихин и др., 1977; Назарова и др., 1980), исследовался сток микроэлементов и органических веществ (ОВ) (Коновалов и др., 1977; Коновалов, Коренева, 1979; Мальцева, 1980, 1984; Мальцева и др., 1987).

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 многих других.

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 семи российских и международных конференциях. 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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обозначена актуальность темы исследования, цель и задачи, раскрывается научная новизна, практическая и теоретическая значимость результатов исследования, степень достоверности и апробация результатов, соответствие паспорту специальности, личный вклад и положения, выносимые на защиту.

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

В первой главе приведен анализ изученности химического состава, качества речных вод и химического стока в бассейне р. Кубани. По литературным данным определены условные периоды гидрохимических исследований поверхностных вод рек бассейна. Общим для всех рассмотренных публикаций является последовательное, по мере накопления данных, развитие работ в области многолетней изменчивости качества вод и стока растворенных химических веществ рек бассейна Кубани. Обзор показал, что материалы, приведенные в публикациях, несовершенны вследствие недостаточности информации, а иногда и полного ее отсутствия. В настоящее время возникла необходимость провести новые исследования по определению стока химических веществ рек бассейна Кубани.

2 ОБЪЕКТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Природно-климатические факторы формирования химического стока

В разделе рассмотрены особенности рельефа и геологического строения бассейна р. Кубани, климат, почвенный покров, растительность и характеристика водного стока. Приводятся общие сведения об объекте исследования. Водосборный бассейн реки по своему очертанию асимметричен, левобережная часть бассейна значительно больше как по площади, так и по количеству притоков. Равнинная и предгорная части занимают более половины бассейна реки (рисунок 1), что оказывает значительное влияние на формирование водного стока и стока химических веществ р. Кубани и ее притоков.



Рисунок 1 – Районирование бассейна р. Кубани по высоте

Природно-климатические условия в бассейне реки отличаются разнообразием и определяют неоднородность пространственного распределения антропогенной нагрузки и плотности населения. Горная область бассейна относится к зоне формирования водного стока, равнинная часть, напротив, является областью, в которой происходит потеря, использование и загрязнение водных ресурсов (Гидрология дельты..., 2010).

2.2 Антропогенные факторы формирования химического стока

Представлена информация о поступлении химических веществ в речную сеть бассейна Кубани за счет хозяйственной деятельности. Показано, что причиной загрязнения поверхностных вод в бассейне р. Кубани являются точечные и диффузные источники. Водные ресурсы рек широко используются в сельском хозяйстве,

промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве и т. д. По длине водотоков происходит сброс вод оросительных систем, сточных вод промышленных предприятий, животноводческих и птицеводческих комплексов, а также поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий. Увеличение антропогенного воздействия происходит вниз по течению рек (Никаноров и др., 2015).

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 (Селезнева, 2003). На рисунке 2 представлена динамика сброса загрязненных сточных вод в бассейне р. Кубани за период 1993–2020 гг. по данным Федеральной службы государственной статистики (Окружающая среда..., 2025). Объем сброса загрязненных сточных вод сократился с 1,6 млрд м³ в 1993 г. до 0,6 млрд м³ в 2020 г. 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 (Окружающая среда..., 2025).

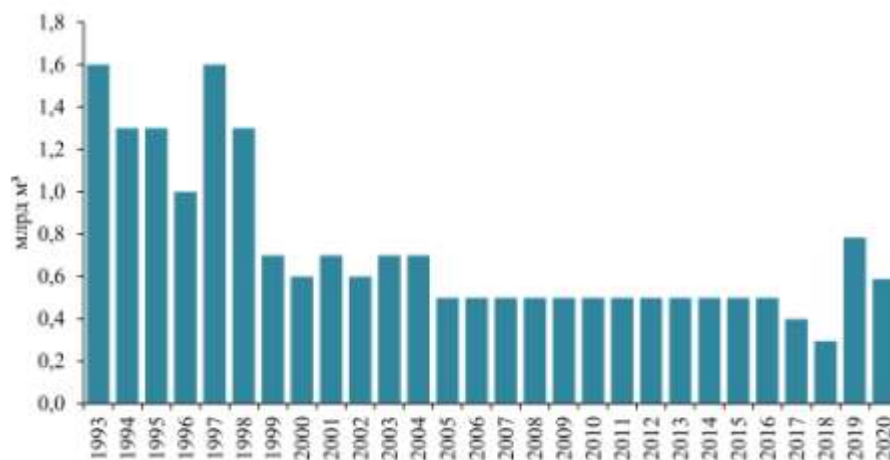


Рисунок 2 – Объем сброса загрязненных сточных вод в бассейне р. Кубани по данным (Окружающая среда..., 2025)

Причиной загрязнения поверхностных вод в бассейне р. Кубани также является и диффузное поступление веществ, связанное с сельскохозяйственной деятельностью. Доля сельскохозяйственных угодий от общей площади бассейна р. Кубани по данным (СКИОВО..., 2014) составляет 54 %, на пашни приходится 36 %. На рисунке 3 показана картосхема земельного покрова в бассейне р. Кубани, полученная на основе снимков ESA Sentinel-2 (Karra et al, 2021; Sentinel-2..., 2024).

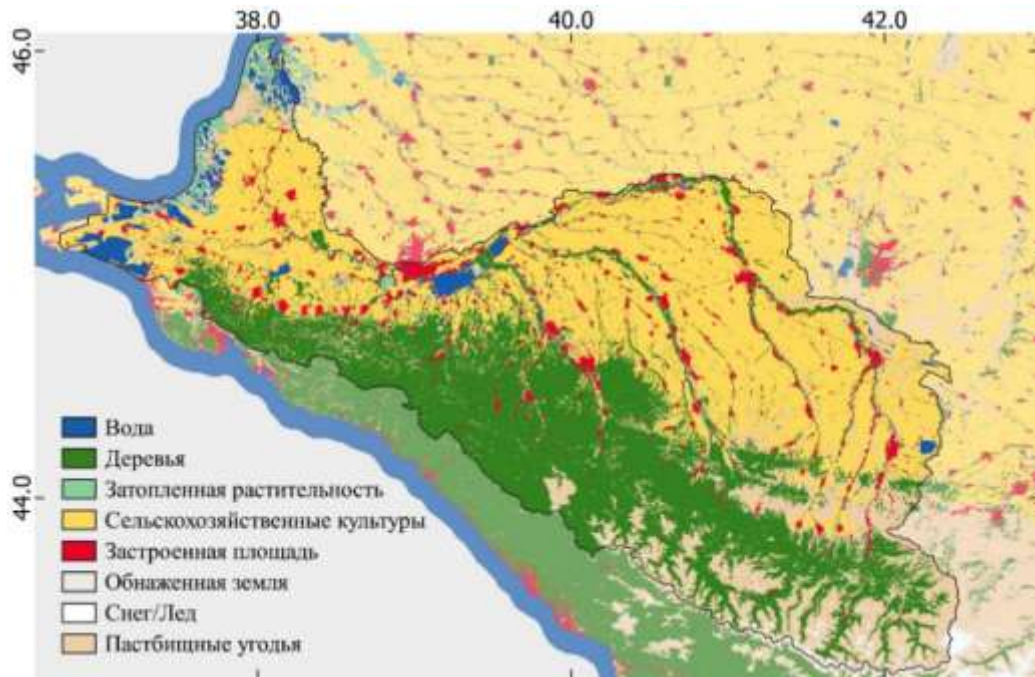


Рисунок 3 – Картограмма классов земельного покрова в бассейне р. Кубани
составлено по (Karra et al, 2021; Sentinel-2..., 2024))

Значительную роль в формировании химического стока играют используемые в сельском хозяйстве минеральные и органические удобрения. В период с 1993 по 2019 г. в субъектах РФ, расположенных в пределах бассейна р. Кубани, произошло снижение объемов внесенных удобрений в конце XX в. После 2000 г. внесение минеральных удобрений начало возрастать. К 2019 г. их объемы достигли, а в некоторых регионах даже превысили показатели 90-х гг. (Внесено удобрений..., 2024). 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. В Ставропольском крае после спада в 90-х гг. объем применения удобрений значительно вырос (Внесено удобрений..., 2024).

В бассейне р. Кубани выделяются зоны горнорудного техногенеза. Наиболее значительными из них являются Урупское месторождение и Эльбрусский свинцово-цинковый рудник. Экологическую опасность представляют их хвостохранилища (Богущ и др., 2018; Ураскулов и др., 2018; Qdais et al., 2018). Добычу и обогащение медно-колчеданной руды Урупского месторождения осуществляет Урупский горно-обогатительный комбинат (Урупский ГОК). Как показали исследования (Богущ и др., 2014, 2018; Qdais et al., 2018), концентрации тяжелых металлов в воде р. Уруп (особенно меди) ниже района деятельности Урупского ГОКа заметно возрастают. Эльбрусский

свинцово-цинковый рудник находится в Карачаево-Черкесской Республике (долина р. Кубани). С 1891 по 1975 г. здесь велась добыча цинка и свинца. На данный момент разработка рудника не проводится. В 2022 г. была завершена работа по рекультивации хвостохранилища Эльбрусского рудника (В Карачаево-Черкесии..., 2024).

Таким образом, природные условия в бассейне определяют специфические особенности химического стока и неоднородность пространственного распределения антропогенной нагрузки в бассейне р. Кубани. Сокращение объемов и массы сброса загрязняющих веществ от точечных источников в конце XX в., изменчивость внесения минеральных и органических удобрений в пределах бассейна реки и выполнение природоохранных мероприятий сказываются на временной изменчивости поступающих в водные объекты веществ.

2.3 Исходная информация, методы исследования и представления картографической информации

Использованы многолетние данные государственной наблюдательной сети Росгидромета за период 1990–2020 гг. Объем исходной гидрохимической информации составил 115251 определение. В соответствии с РД 52.24.748–2010 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. Модули стока веществ (т/км^2 в год или кг/км^2 в год) определялись как отношение количества перенесенного вещества за расчетный период (тыс. т или т) к площади водосбора (тыс. км^2). Проводилась оценка сверхнормативного переноса веществ с речным стоком в соответствии с РД 52.24.748–2010. Дополнительно рассчитывалась антропогенная составляющая ионного стока и его элементов с использованием двух методов. Первый – метод гидрохимического фона (РД 52.24.748–2010), второй – метод реперных компонентов (Максимова, 2012). Статистически значимые временные тенденции химического состава, качества воды и стока веществ определялись с помощью коэффициента ранговой корреляции Кендалла (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 среднеголетних значений). Для этого использовался метод разностно-интегральных кривых. Оценка различий между выделенными периодами проводилась с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни (различия считались значимыми при $p < 0,05$). Разработка картосхем осуществлялась с использованием геоинформационной системы QGIS 3.10 и компьютерной программы 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

В разделе анализируется изменчивость минерализации воды, концентраций отдельных главных ионов, органических и биогенных веществ, соединений железа, меди, цинка и нефтепродуктов в воде рек бассейна Кубани за период 1990–2020 гг. (рисунок 4).

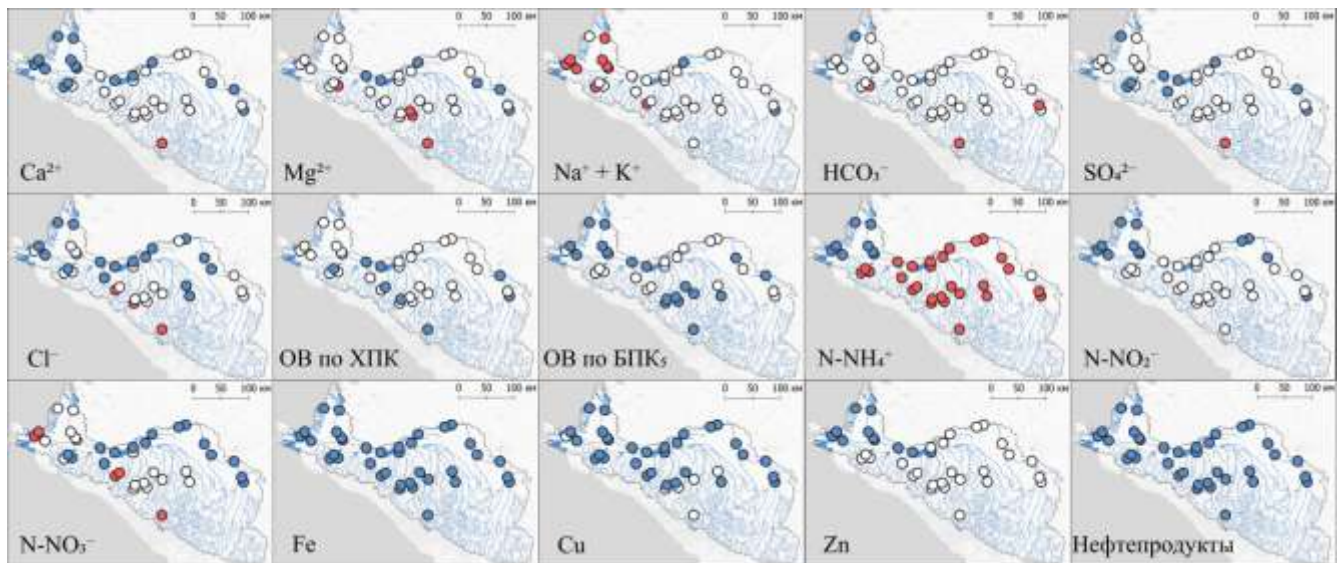


Рисунок 4 – Пространственное распределение тенденций изменчивости концентраций химических веществ в бассейне р. Кубани за период 1990–2020 гг.

(статистически значимые тенденции ($p < 0,05$) отмечены цветом: синий – убывающая, красный – возрастающая)

Показано, что происходили разнонаправленные статистически значимые изменения концентраций компонентов химического состава речных вод. Статистически значимые тенденции выявлены в 50 % случаев. Большинство выявленных трендов (81 %) характеризовались как убывающие. При этом увеличение концентраций веществ

происходило лишь в 19 % случаев. Так, статистически значимые тренды роста концентраций $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 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 (Гидрология дельты..., 2010). Статистически значимое увеличение концентраций N-NH_4^+ в большей части бассейна р. Кубани связано с «загрязнением, переносимым ливневыми сточными водами и вымыванием из почвы сельхозугодий минеральных удобрений» (Букатов, Павленко, 2014, с. 372). Возрастающие тренды концентраций остальных компонентов химического состава распределены в пределах бассейна достаточно неравномерно.

За период с 1990 по 2020 г. выявлены статистически значимые тенденции улучшения качества воды во всех створах. 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). На рисунке 5 представлена пространственно-временная изменчивость значений удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) в бассейне р. Кубани по пятилетним периодам.

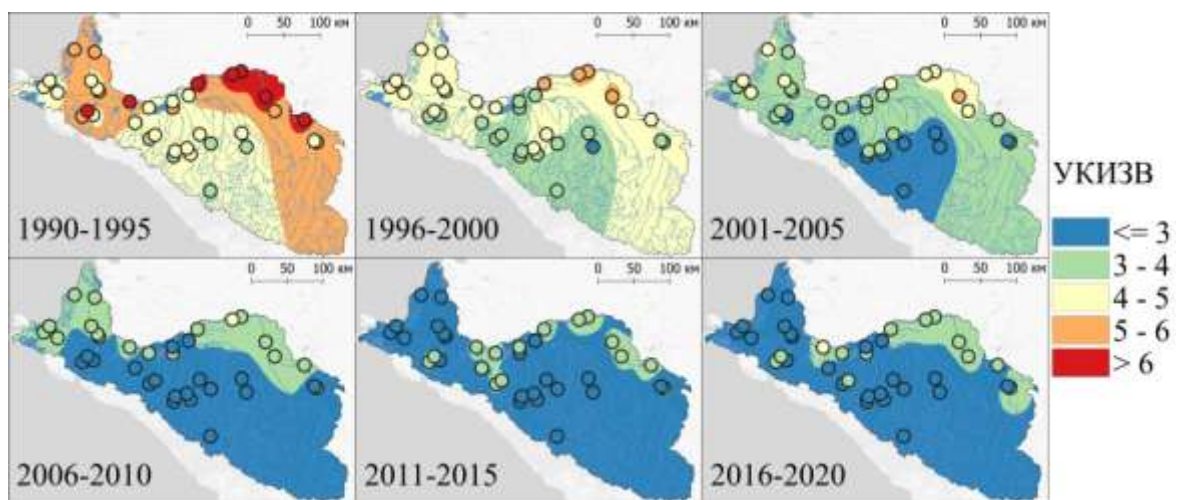


Рисунок 5 – Изменчивость величин УКИЗВ в бассейне р. Кубани

На протяжении всего исследуемого периода сохраняется пространственная закономерность, при которой наибольшие величины УКИЗВ наблюдаются для р. Кубани в районе ст-цы Ладожской. Это обусловлено как совокупностью природных условий, так и антропогенным воздействием. Река Кубань на данном участке протекает

преимущественно в равнинной зоне. Увеличивается вклад подземной составляющей в водном стоке, почвы существенно засолены (Гидрология дельты..., 2010). Равнинный характер данной территории способствует развитию орошаемого земледелия. Загрязнение поверхностных вод здесь происходит за счет сброса недостаточно очищенных сточных вод, а основная доля забора воды приходится на сельское хозяйство (СКИОВО..., 2014). Ниже по течению (в районе г. Краснодара) качество воды р. Кубани заметно улучшается за счет впадения в нее крупных, менее загрязненных притоков (рр. Лаба и Белая).

3.2 Изменчивость водного стока

В разделе анализируется динамика водного стока на гидрологических постах (г/п), информация которых использована при расчете стока веществ. Изменчивость водного стока в рассматриваемых г/п 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. Показано, что возможной причиной уменьшения водного стока на участках может выступать сокращение количества выпадающих осадков.

4 ХИМИЧЕСКИЙ СТОК РЕК БАССЕЙНА КУБАНИ

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

В данном разделе проведен анализ многолетней и сезонной динамики ионного стока, стока органических и биогенных веществ, соединений металлов и нефтепродуктов в пределах бассейна р. Кубани за период 1990–2020 гг. Для анализа многолетней и сезонной изменчивости стока веществ сравнивались выделенные с помощью разностно-интегральных кривых контрастные (характерные) периоды.

Показано, что изменения **ионного стока** являются статистически значимыми 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 отдельных элементов ионного стока часто прослеживалась изменчивость в нижнем течении р. Кубани. Здесь река подвержена существенному загрязнению за счет коллекторно-дренажных вод и диффузного стока с полей рисосеяния (Никаноров, 2011). Возможной причиной происходящих изменений может выступать постепенное

вымывание солей, содержащихся в почвах и подстилающих породах (Кобилева, Тарасов, 1973, 1974). Анализ антропогенной составляющей ионного стока показал, что в среднем за период 1990–2020 гг. в бассейне р. Кубани антропогенная компонента ионного стока была ниже природной, а на участках притоков вовсе не сформирована.

Статистически значимые изменения **стока органических веществ** характерны для р. Кубани в районе г. Краснодара и участков некоторых притоков: рр. Белая, Пшиш, Псекупс и Адагум. Расчеты сезонных значений стока ОВ свидетельствуют об уменьшении их переноса преимущественно во все сезоны. 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. Как отмечалось в работах А. М. Никанорова и М. П. Смирнова, на сток ОВ в бассейне р. Кубани значительное влияние оказывает химизация сельского хозяйства (Смирнов, 2009; Никаноров и др., 2010).

Основными источниками формирования **стока биогенных веществ** в бассейне р. Кубани являются используемые в пределах водосбора азотные и фосфорные удобрения (Коротова и др., 2002; Никаноров и др., 2010). В поверхностных водах р. Кубани основная форма неорганического азота – N-NO_3^- . За период 1990–2020 гг. в структуре стока неорганического азота р. Кубани, рукавов дельты и притоков N-NO_3^- занимал 78–97 %. Оценка тенденций временной изменчивости значений стока суммарного минерального азота показала наличие статистически значимых убывающих тенденций на участках р. Кубань – г. Армавир, р. Кубань – ст-ца Ладожская, р. Кубань – г. Краснодар, р. Лаба – х. Догужиев и тенденции увеличения в пункте наблюдений р. Белая – п. Гузерипль. На отдельных участках рек при смене характерных фаз изменилась и структура стока суммарного минерального азота. Направленность сезонной динамики стока суммарного минерального азота преимущественно соответствовала многолетней изменчивости.

Изменчивость **стока соединений металлов** в бассейне р. Кубани характеризуется убывающими тенденциями. Статистически значимые тренды уменьшения стока веществ выявлены в 74 % случаев. Чаще всего на рассматриваемых участках во все сезоны года

сток соединений металлов также характеризовался однонаправленной динамикой снижения.

Выявлены статистически значимые тенденции снижения **стока нефтепродуктов** во всех пунктах наблюдений в бассейне р. Кубани. 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 и на участках притоков. Во все сезоны года сток нефтепродуктов характеризовался снижением.

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. На рисунках 6 и 7 в круговых значках в числителе представлены средние значения модулей стока базового периода, в знаменателе – современного. Цветом показаны значения модулей химического стока частных водосборов.

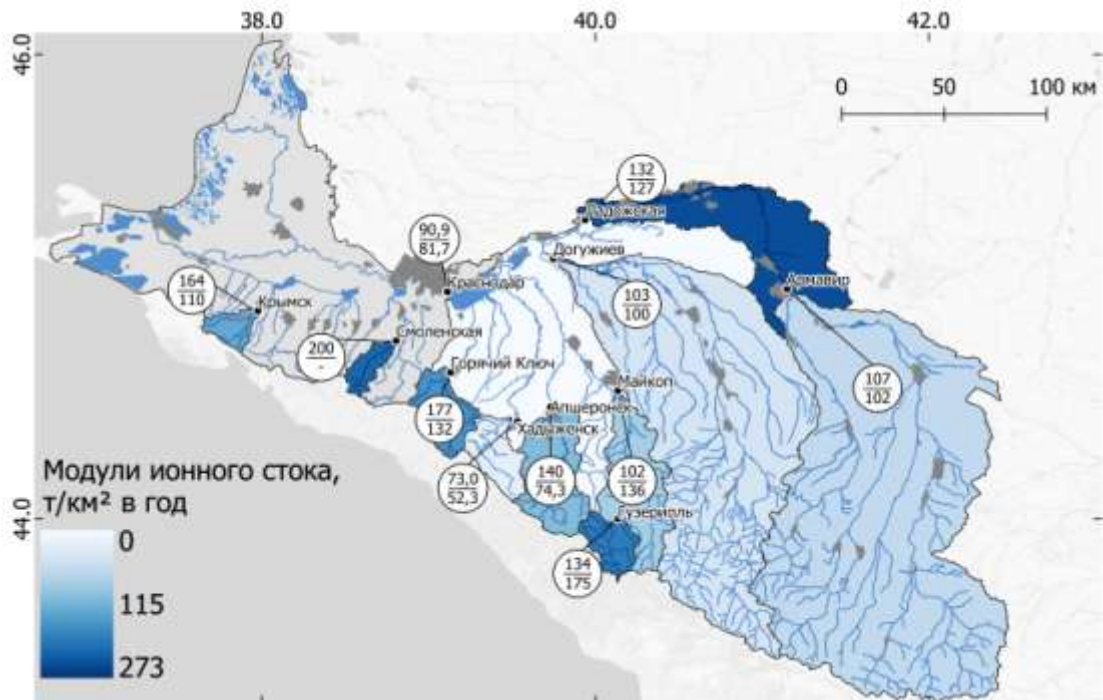


Рисунок 6 – Изменчивость модулей ионного стока в бассейне р. Кубани

(Комаров, Решетняк, 2024)

(цветом отмечены среднемноголетние значения модулей стока для частных водосборов, в числителе – среднее значение модуля стока (т/км^2 в год) для пункта наблюдений за период 1990–2003 гг., в знаменателе – 2004–2020 гг.)

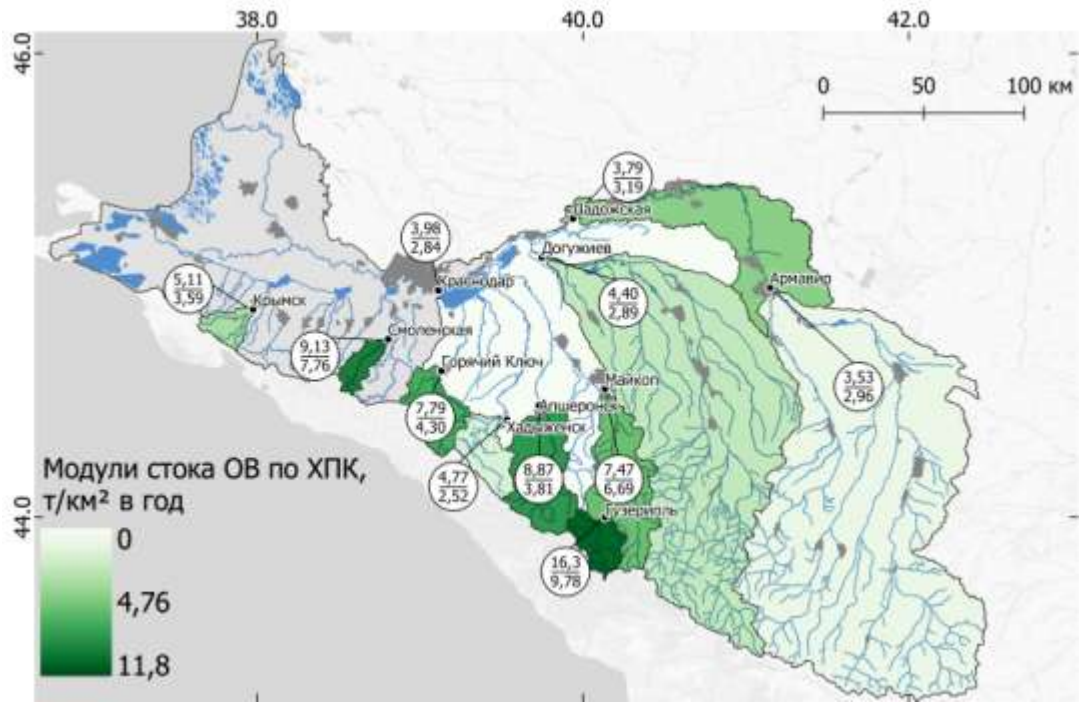


Рисунок 7 – Изменчивость модулей стока ОВ в бассейне р. Кубани

(цветом отмечены среднееголетние 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.)

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 (Коняев, 2002). 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.

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

В разделе анализируются полученные на основе информации о стоке химических веществ в дельтовых рукавах Петрушин и Протока сведения о временной динамике совместного выноса компонентов в Азовское море. Статистически значимые тенденции выявлены для Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , суммы главных ионов, N-NH_4^+ , N-NO_2^- , соединений

Fe, Cu, Zn и нефтепродуктов. Наибольшие значения выноса Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- и в целом суммы главных ионов характерны для 1990–2005/2006 гг., N-NH_4^+ и N-NO_2^- – 1990–2004/2005 гг., соединений Fe, Cu, Zn – 1990–2005/2006 гг., нефтепродуктов – 1990–1998 гг. 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 рукам 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 сократился на 21–76 %. После произошедшего уменьшения стока компонентов разница в выносе химических веществ через рук. Петрушин и рук. Протока сократилась. Более равномерное распределение стока 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 (Магрицкий, Иванов, 2008; Гидрология дельты..., 2010), так и с изменениями в хозяйственной деятельности на этом участке (Иванова и др., 1977; Коренева и др., 1989; Бортник, Друмева, 1995; Коняев и др., 2002; Коротова и др., 2002; Никаноров и др., 2010).

4.4 Сверхнормативный сток химических веществ

В разделе рассматривается изменчивость сверхнормативного стока химических веществ. Показано, что произошел спад сверхнормативного переноса SO_4^{2-} , OB , N-NO_2^- , соединений Fe, Cu, Zn и нефтепродуктов. 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 отношениях. Сами по себе водотоки являются 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 сопровождались сокращением их сверхнормативного стока. Для большинства компонентов наибольшие превышения нормативного стока отмечались в 1990 – начале 2000-х гг. Сверхнормативный сток в данный временной промежуток мог превышать 1000 % (для соединений Cu в пункте

наблюдений р. Кубань – ст-ца Ладожская). В современный период сверхнормативный сток веществ значительно снизился.

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

Исходя из основных принципов экологического мониторинга (Никаноров, 2005) и требований к организации и проведению режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши (РД 52.24.309–2016) сформулирован ряд рекомендаций по совершенствованию системы наблюдений за химическим стоком в бассейне р. Кубани.

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 станицы).

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 реках.

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Всего по теме диссертации опубликовано 12 научных работ. Ниже перечислены основные работы.

Статьи в научных изданиях, входящих в Перечень ВАК

1. **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. (K2)

2. 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. (К3)

Статьи в научных изданиях, входящих в Scopus, Web of Science, RSCI

3. 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. (К1)

4. **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. (К1)

Статьи в журналах, индексируемых в РИНЦ

5. 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.

Публикации в сборниках трудов конференций

6. **Комаров, Р. С.** Химический сток р. Кубань в Азовское море (2008-2018 гг.) / **Р. С. Комаров** // Наука Юга России: достижения и перспективы : XVIII Ежегодная молодежная научная конференция : тезисы докладов, г. Ростов-на-Дону, 18–29 апреля 2022 г. – Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2022. – С. 87.

7. **Комаров, Р. С.** Сверхнормативный вынос главных ионов с водами реки Кубань в Азовское море / **Р. С. Комаров** // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции "Системы контроля окружающей среды-2022", [Севастополь, 08-11 ноября 2022 г.] : конференция посвящена 300-летию Российской академии наук, проводится в рамках научно-технического сотрудничества Россия-АСЕАН / [ФГБНУ "Институт природно-технических систем" и др.]. – Севастополь : ИП Куликов А. С., 2022. – С. 79.

8. Решетняк, О. С. Оценка антропогенной составляющей ионного стока реки Лабы за многолетний период / О. С. Решетняк, **Р. С. Комаров** // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа : материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2023)», 4-8 октября 2023 г.,

г. Владикавказ. Т. 3. – Москва: ИИЕТ РАН, 2023. – С. 593-599. – DOI 10.26200/GSTOU.2023.12.47.079.

9. **Комаров, Р. С.** Тенденции изменчивости компонентов ионного стока в бассейне р. Кубани / **Р. С. Комаров** // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа «ГЕОКАВКАЗ 2024» : материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа», 18-20 сентября 2024 г., г. Махачкала. – Москва: ИИЕТ РАН, 2024. – С. 456-461. – DOI 10.25744/1.2024.95.89.070.

10. **Комаров, Р. С.** Динамика стока минеральных форм азота и его распределение по основным дельтовым рукавам реки Кубань / **Р. С. Комаров, О. С. Решетняк** // Геосфера. Современные проблемы естественных наук : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции (г. Уфа, 1 декабря 2021 г.). Вып. 14. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2021. – С. 279-283.

Патенты/свидетельства

11. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022621180 Российская Федерация. База данных: химический сток реки Кубань (многолетние данные) : № 2022620946 : заявл. 04.05.2022 : опубл. 24.05.2022 / **О. С. Решетняк, Р. С. Комаров** ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрохимический институт».