

На правах рукописи

Сазонов

САЗОНОВ АЛЕКСЕЙ ДЕНИСОВИЧ

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ
ГЛАВНЫХ ИОНОВ В ВОДЕ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ДОН В
УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И
АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ**

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: **Закруткин Владимир Евгеньевич**,
доктор геолого-минералогических наук, профессор,
Южный федеральный университет, профессор

Официальные оппоненты: **Дмитриева Вера Александровна**,
доктор географических наук, доцент,
Воронежский государственный университет,
профессор

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

Защита диссертации состоится **«02» марта 2026 года в 14:00** 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/1347434/>

Автореферат разослан «__» _____ 2026 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 Нижнего Дона – густонаселенная территория на юге европейской части России, играющая ключевую экономическую роль для Южного федерального округа. Водные ресурсы бассейна используются в качестве источника питьевого водоснабжения городов и населенных пунктов, а также для орошения сельскохозяйственных земель, промышленного производства, энергетики, рыбоводства и других сфер экономической деятельности (Хрусталева и др., 2002).

В условиях изменяющегося климата и антропогенной нагрузки может происходить трансформация гидролого-гидрохимического режима поверхностных вод. Результаты современных климатических исследований свидетельствуют о том, что на территории регионов, расположенных в бассейне Нижнего Дона, в последние десятилетия наблюдались явления, способствующие усилению процесса аридизации территории (Гудко, 2022; Сумачев и др., 2024). Согласно прогнозным оценкам ученых Института водных проблем РАН к 2035 году нехватка и снижение качества водных ресурсов могут стать реальной острой проблемой для вододефицитных южных регионов европейской части России. В 2021 году Правительством Российской Федерации была утверждена «дорожная карта», направленная на оздоровление и развитие водохозяйственного комплекса р. Дон.

Этим обуславливается актуальность изучения изменчивости состава воды нижнего течения р. Дон в условиях современных климатических изменений и антропогенного воздействия. Полученные результаты помогут решить проблему недостаточной изученности состава воды в современный период, а также выявить ключевые факторы, определяющие современные черты гидрохимического режима нижнего течения р. Дон.

Степень разработанности темы исследования.

В связи с развитием гидрохимической науки и накоплением информации мониторинговой сетью наблюдений за химическим составом поверхностных вод в последние десятилетия реки бассейна Нижнего Дона были изучены достаточно подробно. Среди ученых, проводивших первые комплексные исследования бассейна р. Дон следует отметить О. А. Алекина, Л. В. Бражникову, В. Я. Еременко, М. Н. Тарасова, М. И. Кривенцова, В. Г. Дацко, А. М. Бронфмана и других. Полученные этими учеными результаты во многом определили направленность последующих научных исследований.

Среди ученых-современников, внесших значительный вклад в организацию и проведение исследований химического состава вод рек бассейна Нижнего Дона, следует выделить А. М. Никанорова, А. Д. Хованского, В. Д. Панова, П. М. Лурье, В. Е. Закруткина, Г. Г. Матишова, С. В. Бердникова, В. М. Иваник, Е. И. Пирумову, А. Е. Косолапова, С. В. Жукову и многих других.

Цель исследования – изучение пространственно-временной изменчивости минерализации воды и содержания в ней главных ионов в нижнем течении р. Дон в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия в современный период (2000-2024 гг.).

Задачи исследования.

1. Изучить временные изменения минерализации воды и содержания в ней главных ионов в нижнем течении р. Дон в условиях современных климатических изменений и антропогенного воздействия, установить направленность и интенсивность наблюдаемых изменений.

2. Изучить пространственные изменения минерализации воды и содержания в ней главных ионов в воде нижнего течения р. Дон в современных условиях климатических изменений и антропогенного воздействия, оценить влияние притоков и урбанизированных участков на неоднородность состава воды.

3. Рассмотреть трансформацию класса и группы вод нижнего течения р. Дон согласно классификации О. А. Алекина в условиях современных климатических изменений и антропогенного воздействия.

4. Провести анализ влияния водного стока на минерализацию воды и содержания в ней главных ионов в нижнем течении р. Дон в условиях современных климатических изменений и антропогенного воздействия.

Объект исследования – нижнее течение р. Дон.

Предмет исследования – пространственно-временная изменчивость минерализации воды и содержание в ней главных ионов (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$) за многолетний период (2000-2024 гг.).

Научная новизна.

На основе обработки массива данных государственной наблюдательной сети Росгидромета определены тенденции временной и пространственной изменчивости

минерализации и ионного состава воды нижнего течения р. Дон и выявлены ведущие факторы, определяющие особенности содержания главных ионов в воде реки.

Оценка трансформации ионного состава вод нижнего течения р. Дон согласно классификации О. А. Алекина позволила установить фундаментальность многолетних изменений.

Подготовленные картосхемы характеризуют интенсивность и направленность изменения минерализации и ионного состава воды нижнего течения р. Дон в условиях современных климатических изменений и антропогенного воздействия.

Полученные характеристики минерализации и ионного состава воды нижнего течения р. Дон могут служить основой для оценки потенциального воздействия Багаевского гидроузла в условиях современных климатических изменений и антропогенного воздействия.

Теоретическая значимость исследования. Получены новые данные о пространственно-временной трансформации минерализации и ионного состава воды нижнего течения р. Дон и о ведущих факторах, обуславливающих наблюдаемые изменения. Результаты проведенных исследований вносят вклад в развитие региональной гидрохимии юга европейской территории России и являются последовательным логическим продолжением ранее проведенных исследований.

Практическая значимость исследования.

Результаты исследования могут найти применение в следующем:

– изучение современных особенностей формирования гидролого-гидрохимического режима вод Таганрогского залива Азовского моря в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия;

– оценка влияния Багаевского гидроузла на минерализацию и ионный состав воды нижнего течения р. Дон;

– создание регионального плана адаптации к изменениям климата в части комплексного использования водных ресурсов.

Методология и методы исследования.

Материалами настоящего исследования послужили гидрохимические данные Государственной наблюдательной сети Росгидромета, полученные в отделе научно-технической информации Гидрохимического института с целью выполнения настоящей диссертационной работы. Часть исследования проведена в рамках ГЗ и НИТР ФГБУ

«Гидрохимический институт». В ходе выполнения работы использованы материалы справочно-информационного фонда Отдела научно-технической информации Гидрохимического института, Зональной научной библиотеки имени Ю. А. Жданова, Научной библиотеки Южного научного центра РАН, а также открытые данные официальных сайтов отечественных и зарубежных научных электронных библиотек.

При проведении исследования использованы общепринятые географические методы: сравнительный, статистический и географический. Для сравнения рядов гидрохимических данных применялись непараметрические статистические критерии Манна-Уитни и Вилкоксона. При создании картосхем использованы программы GIMP и CorelDRAW Graphics Suite 2019.

Положения, выносимые на защиту.

1. За период 2000-2024 гг. все статистически значимые временные изменения минерализации воды и содержания в ней главных ионов в нижнем течении р. Дон носили возрастающий характер: в наибольшей степени увеличивалось содержание в воде сульфатов, хлоридов, ионов магния, суммы натрия и калия.

2. Минерализация воды и содержание в ней хлоридов, сульфатов, кальция, натрия и калия (по сумме) возрастали в направлении вниз по течению реки. Отмечен рост минерализации воды и содержания в ней хлоридов и кальция ниже впадения р. Северский Донец. Влияние рр. Сал и Маныч на минерализацию воды и содержания в ней главных ионов не установлено.

3. За период 2000-2024 гг. класс вод трансформировался от гидрокарбонатно-сульфатных и сульфатных в сторону преобладания сульфатно-хлоридного и хлоридно-сульфатного классов. Значительных изменений группы вод не наблюдалось: сохранялось преобладание вод натриевой и кальциево-магниевой группы.

4. В наиболее маловодные годы концентрация в воде главных ионов была выше, чем в наиболее многоводные годы, что позволяет говорить о сохранении ранее выявленных закономерностей за период второй половины XX века.

Степень достоверности и апробация результатов.

По теме исследования подготовлено 12 публикаций, из них 5 статей в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, 6 работ в сборниках всероссийских и международных конференций, а также 1 база

данных. Результаты проведенных исследований докладывались на всероссийских и международных конференциях.

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)...».

Личный вклад автора настоящей работы состоял в постановке цели и задач исследования, обзоре ранее опубликованных исследований, статистической обработке массива гидрохимических данных, создании иллюстрационных материалов. Часть используемых материалов была собрана автором лично в ходе экспедиционных исследований. Некоторые этапы работы были выполнены при консультации с сотрудниками Гидрохимического института Росгидромета и Института наук о Земле Южного федерального университета.

Благодарности. За помощь в работе, ценные советы и рекомендации автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю профессору, д.г.-м.н. Владимиру Евгеньевичу Закруткину, а также сотрудникам Гидрохимического института Росгидромета и Института наук о Земле Южного федерального университета.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обусловлена актуальность темы исследования, цели и поставленных задач. Также приводится научная новизна работы, отражается теоретическая и практическая значимость, степень достоверности и апробация полученных результатов, соответствие темы паспорту специальности, личный вклад автора работы и основные положения, выносимые на защиту.

1 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ИЗУЧЕННОСТЬ СОСТАВА ВОДЫ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. ДОН И ЕЕ БАССЕЙНЕ

1.1 Материалы и методы исследования

В первом разделе приведена информация о материалах и методах исследования, используемых в работе. Материалами настоящего исследования послужили первичные гидрохимические данные Государственной наблюдательной сети Росгидромета о содержании в воде рек бассейна Нижнего Дона суммы главных ионов (минерализации), хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, кальция, ионов магния, суммы натрия и калия за

период 2000-2024 гг., полученных на 13 пунктах (створах) наблюдений (рис. 1). Общий объем исходных гидрохимических данных составил более 15 тысяч определений.

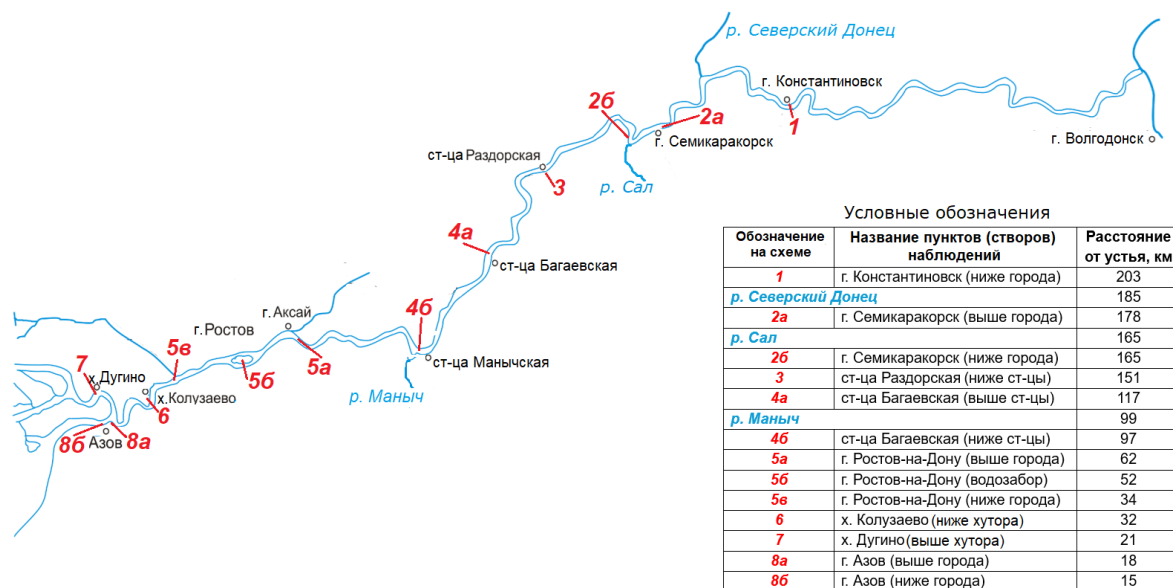


Рисунок 1 – Расположение пунктов (створов) наблюдений в нижнем течении р. Дон

Для изучения пространственно-временной изменчивости содержания веществ в воде были использованы единые подходы, результаты применения которых в диссертации приведены в следующей последовательности: основные статистические параметры, сравнительный анализ данных многолетних периодов, оценка влияния притоков и водного стока.

Скорость изменения концентрации веществ в воде оценивалась по угловым коэффициентам линейной регрессии между их среднегодовой концентрацией и годом наблюдения. Данный коэффициент показывает, на какую величину в среднем изменится среднегодовая концентрация, в том случае, когда признак «год» увеличится на единицу. Для более наглядной демонстрации скорость изменения концентрации веществ в воде оценивалась за десятилетие в мг/л / 10 лет, а также в процентном выражении, которое находилось по формуле:

$$\text{Годовой прирост (в \% за 10 лет)} = (a / C) \times 100 \%,$$

где a — наклон (мг/л / 10 лет), C — средняя концентрация за весь период.

При соотнесении многолетних рядов гидрохимических данных были применены непараметрические статистические критерии Манна-Уитни (для независимых выборок – пространственных изменений) и Вилкоксона (для зависимых выборок – временных изменений), которые достаточно широко применяются для решения аналогичных задач

(Георгиади, Даниленко, 2022; Лепехин и др., 2017; Plijević, 2015). За порог статистической значимости принимался 5%-й уровень ($p \leq 0,05$).

Оценка потенциального влияния основных притоков р. Дон (пр. Северский Донец, Сал и Маныч) и урбанизированных участков на пространственную изменчивость ионного состава воды проведена при сравнении многолетних рядов гидрохимических данных пунктов наблюдений, расположенных выше и ниже местонахождения потенциальных источников воздействия. Оценка влияния водного стока на содержание в воде нижнего течения р. Дон главных ионов была проведена на основе результатов анализа содержания веществ в воде реки в наиболее маловодные и многоводные годы в рамках рассматриваемого периода. Источником гидрологической информации послужил научно-прикладной справочник (Основные гидрологические..., 2020; АИС ГМВО: <https://gmvo.skniivh.ru/>), где представлены данные о водном стоке (гидропост в ст-це Раздорской):

– наиболее маловодные годы с пониженным объемом водного стока – 10,2-11,2 км³ (2015, 2020 и 2021 гг.);

– наиболее многоводные годы с повышенным объемом водного стока – 23,5-27,3 км³ (2004, 2005 и 2018 гг.).

На основе полученных результатов с применением критерия Вилкоксона были определены статистически значимые отличия минерализации воды и содержания в ней главных ионов в наиболее многоводные и маловодные годы.

В ходе выполнения настоящего исследования для статистической обработки массивов гидрохимических данных и отображения результатов были использованы программы MS Excel 2010 и Statistica 10.0. При создании картосхем, отображающих пространственные данные, использовались программы GIMP и CorelDRAW.

1.2 Изученность химического состава воды в бассейне Нижнего Дона

В данном разделе приводится информация о комплексных работах, посвященных изучению химического состава воды Нижнего Дона. В настоящее время опубликованы сотни статей и материалов конференций, посвященных обсуждаемой тематике. Они не нашли отражения в настоящем обзоре по причине ограничения рекомендуемого объема диссертационного исследования. Однако нельзя не отметить ученых, внесших весомый вклад в изучение эколого-географических и гидролого-гидрохимических особенностей рек бассейна Нижнего Дона: О. А. Алекин, Л. В. Бражникова, В. Я. Еременко, А. С.

Демченко, М. Н. Тарасов, А. А. Зенин, М. И. Кривенцов, В. Г. Дацко, А. М. Бронфман, А. М. Никаноров, В. Д. Панов, П. М. Лурье, Г. Г. Матишов, А. Д. Хованский, В. В. Приваленко, О. А. Бессонов, Ю. А. Федоров, С. В. Бердников, В. Е. Закруткин, А. Е. Косолапов, С. В. Жукова, Р. Г. Джамалов, О. С. Решетняк, А. В., Клещенков, М. П. Смирнов, В. М. Иваник, Е. И. Пирумова, В. А. Брызгало, Е. Е. Лобченко, Л. И. Минина, Т. А. Хоружая, Л. С. Косменко, К. С. Григоренко, В. В. Сорокина и многие другие.

В обзоре преимущественно представлены наиболее ранние (классические) работы и результаты комплексных гидрохимических и геоэкологических исследований, рассматривающие бассейн Нижнего Дона как целостный объект исследования.

Показано, что в настоящее время наиболее обширная и в то же время актуальная справочная информация о химическом составе и качестве воды в бассейне Нижнего Дона представлена в ГИС-проекте «Химический состав, загрязненность речных вод и состояние водных экосистем. Бассейн Нижнего Дона», выполненном в Гидрохимическом институте Росгидромета (<https://gidrohim.com/node/71>).

2 УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ДОН

2.1 Природные условия

В главе приводятся факторы, оказывающие комплексное влияние на формирование химического состава и гидрологических параметров речных вод, которые формируют их уникальные характеристики. К основным аспектам воздействия отнесены климатические условия, горные подстилающие породы, рельеф, почвенный покров и т. д. Представлена информация о некоторых притоках первого порядка нижнего течения р. Дон.

Показано, что минерализация подземных и грунтовых вод может многократно превышать минерализацию воды нижнего течения р. Дон (Гидрогеология СССР, 1970; Закруткин и др., 2016; Матишов, 2016). В пределах рассматриваемой территории почвенный покров представлен преимущественно черноземами и каштановыми почвами (Безуглова, Хырхырова, 2008). Черноземы и каштановые почвы, распространенные на территории водосбора Нижнего Дона, способны увеличивать минерализацию воды, выпадающих и фильтрующихся через них атмосферных осадков. Особенно сильно воздействуют на минерализацию воды солончаковые почвы, широко представленные в левобережной части Нижнего Дона (Вальков и др., 2012).

Представлено климатическое районирование бассейна: территория отличается засушливыми климатическими условиями, которые наиболее выражены в его южной и юго-восточной части (Панов и др., 2006). По разным оценкам в последние десятилетия скорость увеличения температуры воздуха составляла $0,38-0,77^{\circ}\text{C}/10$ лет, скорость сокращения суммы выпадения атмосферных осадков составила $-24,9$ мм/10 лет (Гудко, 2022; Сумачев и др., 2024). Климатические изменения привели к сокращению водного стока некоторых рек бассейна Нижнего Дона. В последние десятилетия количество снегозапасов сократилось, сезонность их накопления и таяния трансформировалась (Третий оценочный..., 2022). Это привело к резкому уменьшению доли снегового питания нижнего течения р. Дон.

Результаты анализа природных условий свидетельствуют о том, что в последние десятилетия под действием масштабных климатических изменений может происходить трансформация ионного состава воды в нижнем течении р. Дон.

2.2 Антропогенные факторы

В разделе рассмотрены источники поступления растворенных веществ в нижнее течение р. Дон. Антропогенные источники влияния на ионный состав воды реки были подразделены на точечные и диффузные, согласно общепринятой классификации (Данилов-Данильян и др., 2020).

По результатам выполненных расчетов показано, что крупнейшими источниками прямого поступления главных ионов в р. Дон являются его некоторые притоки. Их водосборные территории подвергаются интенсивному антропогенному воздействию в результате последствий мелиоративной (рр. Сал и Маныч) и угледобывающей (рр. Северский Донец и Тузлов) деятельности.

Показана специфика перманентных диффузных источников поступления главных ионов в нижнее течение р. Дон. Эти факторы являются источником антропогенной трансформации гидролого-гидрохимических особенностей бассейна Нижнего Дона долгие десятилетия. Сельскохозяйственные ландшафты занимают более 80 % площади Ростовской области, в их числе пашни и пастбища – 58,3 и 25,4 % соответственно (Шишкина, 2017). Это привело к кардинальной преобразованности водосбора, которая выражается в постепенном увеличении доли эродированных земель и дефлированных почв (Безуглова и др., 2020).

В целях обеспечения нужд сельского хозяйства во второй половине XX века были созданы водохранилища и крупнейшие обводнительно-оросительные системы, которые наиболее широко представлены в левобережной части бассейна. На Нижнем Дону расположено около 85% орошаемого массива от общей площади всего бассейна р. Дон (Хрусталева, 2002). Мелиорация на обширных площадях привела к нарушению естественного водно-солевого баланса почвенного покрова. Причиной этому является как промачивание почвы оросительными водами, так и поднятие в результате этого уровня грунтовых вод, которое может приводить к подтоплению территорий (Беспалова и др., 2010; Горев, Пелешко, 1984; Полуэктова и др., 2020).

Диффузный сток загрязняющих веществ с урбанизированных участков представлен Ростовской агломерацией, к которой относятся города Аксай, Ростов-на-Дону, Батайск и Азов. Преобладание твердого покрытия водосбора в пределах этих городов создает условия поступления загрязняющих веществ в реку с поверхностным склоновым стоком.

Таким образом, в главе диссертации показано, что природные условия и антропогенные факторы способны оказывать воздействие на увеличение минерализации воды нижнего течения р. Дон и трансформации ее ионного состава как в пространственном, так и во временном разрезе, что диктует необходимость проведения исследований ионного состава воды.

3 ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ДОН ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Минерализация воды представляет собой суммарную массовую концентрацию анионов (SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-) и катионов (Na^+K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}), поэтому она была рассмотрена в первую очередь с целью определения основных особенностей влияния вышеперечисленных факторов на состав воды.

Установлено, что за период 2000-2024 гг. она увеличивалась в среднем на 117 мг (14 %) в десятилетие на всем исследуемом участке нижнего течения р. Дон. При детальном анализе временной изменчивости минерализации воды нижнее течение р. Дон было условно разделено на два участка по степени интенсивности увеличения показателя минерализации: участок 1 – от пункта г. Константиновск до ст-цы Багаевской (ниже ст-цы), участок 2 – от пункта г. Ростов-на-Дону (выше города) до замыкающих пунктов в

дельте реки (г. Азов и х. Дугино). Ниже представлена информация, показывающая минерализацию воды по данным двух многолетних периодов (рис. 2).

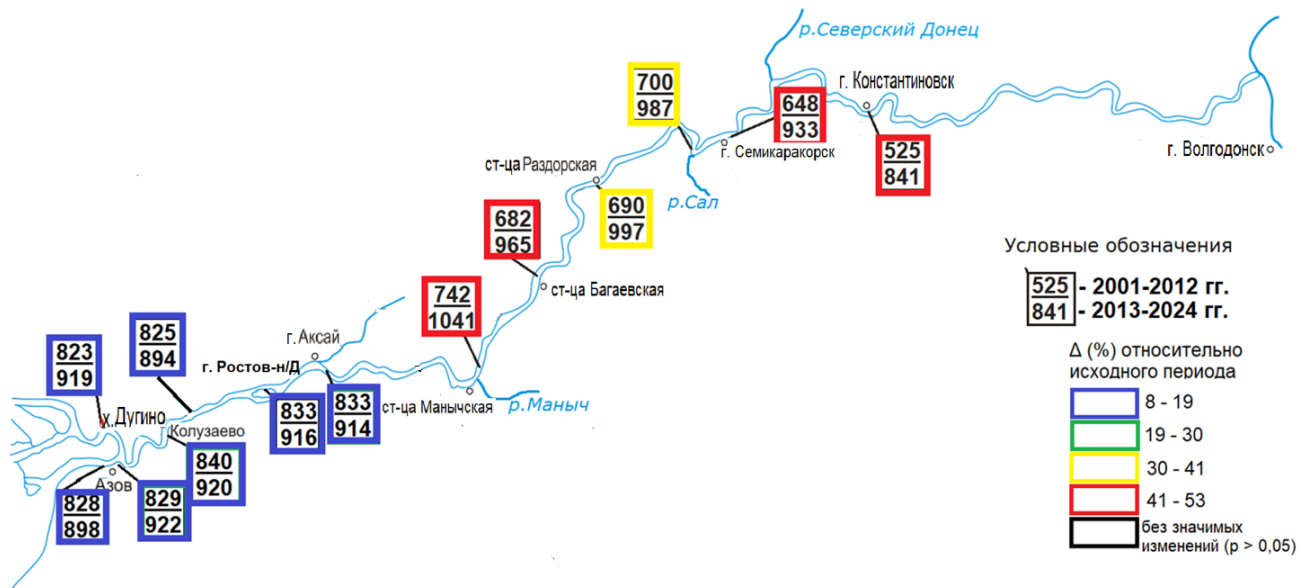


Рисунок 2 – Пространственно-временная изменчивость минерализации воды в нижнем течении р. Дон, мг/л

Отмечался статистически значимый рост среднегодового показателя минерализации на всех рассматриваемых участках р. Дон. В рамках первого временного периода (2001-2012 гг.) содержание в воде суммы главных ионов было на 23-60 % больше, чем по данным точки наблюдений в г. Константиновск. Во втором периоде данный показатель был значительно ниже (от 6 до 24 %). Установлено, что в нижнем течении р. Дон, согласно классификации О. А. Алекина, наиболее часто встречались воды повышенной минерализации (табл. 1).

Таблица 1 – Повторяемость лет (в %) по признаку минерализации воды за период 2000-2024 гг. согласно классификации О. А. Алекина (Алекин, 1953)

Пункт наблюдений (км от устья)	Признак минерализации			
	Малая (< 200 мг/л)	Средняя (200-500 мг/л)	Повышенная (500-1000 мг/л)	Сильная (> 1000 мг/л)
г. Константиновск (203 км)	0	20	76	4
г. Семикаракорск (178 км)	0	8	76	16
ст-ца Раздорская (151 км)	0	4	76	20
ст-ца Багаевская (117 км)	0	4	68	32
х. Колузаево (32 км)	0	0	96	4
г. Азов (15 км)	0	0	96	4

4 ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ГЛАВНЫХ ИОНОВ В ВОДЕ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ДОН ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

В данной главе более детально рассмотрена изменчивость содержания в воде нижнего течения р. Дон главных ионов. Скорость изменения их концентрации представлена в таблице 2. В рамках периода 2000-2024 гг. все статистически значимые временные изменения концентрации главных ионов в воде реки носили возрастающий характер: в наибольшей степени увеличивалось содержание сульфатов, хлоридов, ионов магния, суммы натрия и калия (21-22 %).

Таблица 2 – Скорость изменения среднегодовой концентрации веществ в воде р. Дон (% в десятилетие)

Пункт (створ) (км от устья)	Сумма ионов	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
г. Константиновск (203)	30	15	35	42	17	22	52
г. Семикаракорск (178)	23	12	20	38	26	22	30
г. Семикаракорск (165)	22	14	20	34	24	23	26
ст-ца Раздорская (151)	19	15	19	28	22	20	-
ст-ца Багаевская (117)	21	9	19	35	17	14	31
ст-ца Багаевская (97)	22	12	18	36	18	14	29
г. Ростов-на-Дону (62)	7	8	-	11	-	7	9
г. Ростов-на-Дону (52)	7	6	-	11	-	7	-
г. Ростов-на-Дону (34)	6	8	-	11	-	8	-
х. Колузаево (32)	7	8	-	10	-	6	9
х. Дугино (21)	9	9	-	12	-	-	12
г. Азов (18)	8	9	-	10	-	7	10
г. Азов (15)	7	8	-	10	-	8	8
Среднее	14	10	22	22	21	13	22

Примечание. Прочерк – изменения не были статистически значимы.

При анализе пространственной изменчивости содержания в воде главных ионов наблюдалось увеличение минерализации воды и содержания в ней хлоридов, сульфатов и кальция на всем участке реки (табл. 3).

Таблица 3 – Изменение среднемноголетней минерализации (ΣI) и концентрации главных ионов относительно пункта наблюдений г. Константиновск, %

Пункт (створ) (км от устья)	ΣI	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Mg^{2+}	Ca^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
г. Семикаракорск (178)	15	-	7	37	-	21	21
г. Семикаракорск (165)	22	-	15	51	-	27	11
ст-ца Раздорская (151)	23	-	18	50	-	24	9
ст-ца Багаевская (117)	20	-	15	41	-	18	-10
ст-ца Багаевская (97)	29	-	27	54	-	23	20
г. Ростов-на-Дону (62)	29	-	44	25	-	21	-
г. Ростов-на-Дону (52)	28	-	44	27	-	20	-
г. Ростов-на-Дону (34)	27	-	45	21	-	14	-
х. Колузаево (32)	29	-	48	25	-	18	-
х. Дугино (21)	28	-	46	25	-	16	-
г. Азов (18)	29	-	44	26	-	20	-
г. Азов (15)	27	-	44	25	-	13	-

Примечание. Прочерк – изменения не были статистически значимы.

Изменение концентрации гидрокарбонатов и ионов магния не было статистически значимым на всем участке реки. Содержание суммы натрия и калия было сравнительно нестабильным и ниже пункта ст-ца Багаевская (97 км) не характеризовалось заметной пространственной изменчивостью.

Обнаружено влияние р. Северский Донец на увеличение минерализации воды р. Дон и содержания в ней хлоридов и кальция. За период с 2000 по 2024 гг. медианное значение минерализации донской воды выше впадения притока составляло 593 мг/л, ниже впадения – 798 мг/л (рис. 3). Воздействие р. Северский Донец на изменение концентрации в донской воде других веществ не прослеживалось. Статистически значимого влияния рр. Сал и Западный Маныч на трансформацию ионного состава воды р. Дон не было установлено. Также было оценено влияние крупных урбанизированных территорий (рис. 4). Как по показателю минерализации воды, так и по содержанию в ней главных ионов влияния урбанизированных участков на пространственные различия содержания веществ в воде не были статистически значимы.

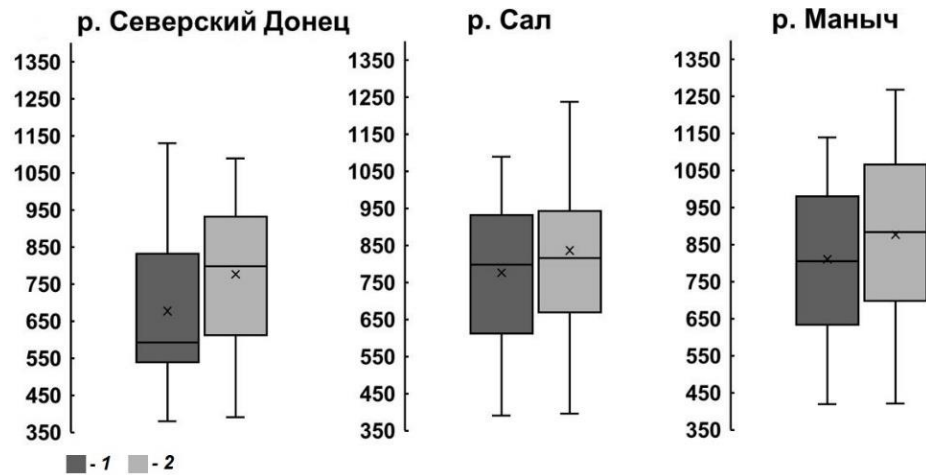


Рисунок 3 – Диаграммы размаха среднегодовых значений минерализации воды р. Дон выше (1) и ниже (2) впадения притоков, мг/л

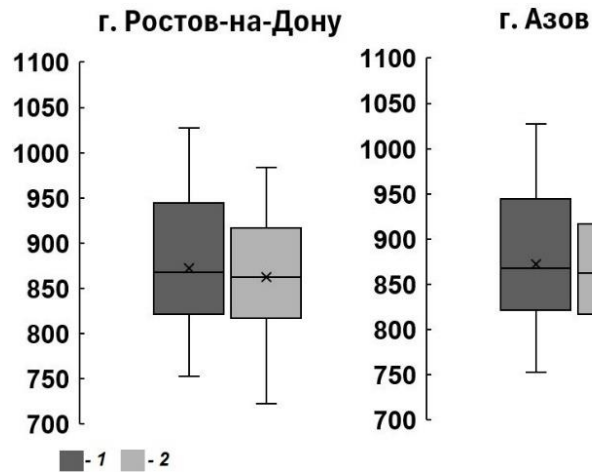


Рисунок 4 – Диаграммы размаха среднегодовых значений минерализации воды р. Дон выше (1) и ниже (2) городов Ростов-на-Дону и Азов, мг/л

Проследить пространственную изменчивость суммарного содержания в воде главных ионов также представляется возможным благодаря использованию инструментальных методов, одним из которых является измерение удельной электрической проводимости, зависящей от минерализации воды (Руководство по химическому анализу..., 2009).

С этой целью были привлечены экспедиционные данные, собранные в ходе рейсов, которые проходили на НИС «Профессор Панов» в 2024 г. На рисунке 5 представлена информация об электропроводности воды р. Дон, полученная при использовании гидрологического зонда STD48M. Также оценена электропроводность воды на устьевых участках притоков (табл. 4).

Результаты обработки экспедиционных материалов показали, что электропроводность воды притоков была в 1,5-2,1 раза выше, чем на всем протяжении исследуемого участка нижнего течения р. Дон.

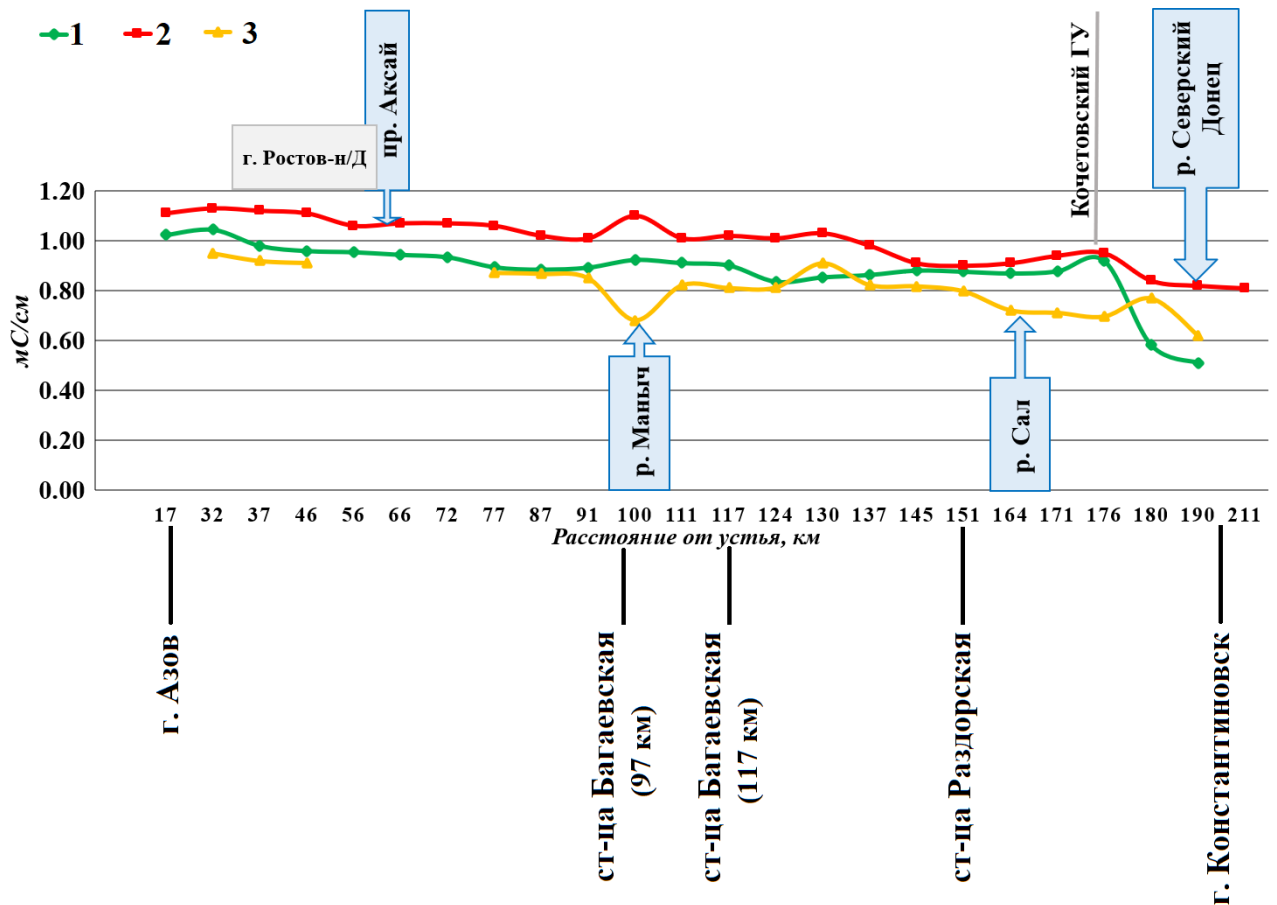


Рисунок 5 – Удельная электропроводность воды р. Дон в апреле (1), июле (2) и октябре (3) 2024 г., мС/см (Сазонов, Клещенков, 2025)

Таблица 4 – Удельная электропроводность воды притоков р. Дон, мС/см (Сазонов, Клещенков, 2025)

Приток	Апрель	Июль	Октябрь	Среднее
р. Северский Донец	1,35	2,12	1,28	1,58
р. Сал	1,63	2,84	1,15	1,88
р. Маныч	1,44	2,89	2,12	2,15

Результаты обработки экспедиционных материалов подтверждают выше представленную информацию об увеличении минерализации воды в направлении вниз по течению р. Дон.

Оценка влияния водного стока на минерализацию воды и содержания в ней главных ионов показана в таблице 5. Установлено, что в период с 2000 по 2024 г.

наблюдалось изменение концентрации главных ионов в воде нижнего течения р. Дон обратно пропорционально водному стоку: в наиболее маловодные годы концентрация в воде главных ионов была выше, чем в наиболее многоводные годы.

Таблица 5 – Содержание главных ионов в воде нижнего течения р. Дон в годы повышенного и пониженного водного стока, мг/л

Компонент	Повышенный сток	Пониженный сток
Сумма главных ионов	744 (± 62)	931 (± 58)
HCO_3^-	202 (± 4)	228 (± 8)
SO_4^{2-}	215 (± 9)	248 (± 8)
Cl^-	111 (± 21)	181 (± 18)
Mg^{2+}	35 (± 4)	49 (± 3)
Ca^{2+}	77 (± 3)	86 (± 3)
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	104 (± 8)	141 (± 12)

Это подтверждает результаты исследований, посвященных предшествующему периоду (второй половине XX века), и свидетельствует о сохранении ранее выявленной закономерности (Алекин, Бражникова, 1964; Хованский, Приваленко, 1990).

В последние десятилетия количество снеготопавок сократилось, сезонность их накопления и таяния трансформировалась. В связи с этим в маловодные годы с пониженным количеством выпадения твердых атмосферных осадков минерализация донской воды стала выше. Это связано с увеличением доли питания нижнего течения р. Дон подземными и грунтовыми водами повышенной минерализации.

Также была проведена классификация ионного состава вод согласно методическому подходу советского гидрохимика О. А. Алекина (Алекин, 1953). На участке реки от г. Константиновск до г. Ростов-на-Дону наблюдалось изменение класса воды от гидрокарбонатно-сульфатного в сторону преобладания сульфатно-хлоридного и хлоридно-сульфатного классов, а также изменение группы вод от натриево-кальциевой в сторону преобладания натриевой группы. Ниже г. Ростов-на-Дону класс и группа вод не изменялись: сохранялось преобладание сульфатных вод натриевой группы (рис. 6 и 7).

Пункт (рис.1)	Год																									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
1	SCI	C	SCI	CCL	CS	C	C	CS	CS	CS	CS	CS	CS	CS	S	S	S	CS	S	S	CIC	CI	SCI	S	S	CI
2a	CCL	C	SCI	SC	SC	CS	CS	CS	S	SC	CS	SC	SCI	SCI	CIS	CIS	SCI	CI	CIS	CI	CIC	CI	SCI	CIC	SCI	SCI
2б	CCL	CS	SCI	CIS	CIC	CS	CCL	SC	S	SCI	SC	S	SCI	SCI	CIS	CIS	CIS	CI	CI	CI	CIC	CI	SCI	CIC	CIS	
3	CIS	CCL	CI	CIC	SC	CS	SCI	CS	SCI	CS	SC	S	SCI	SCI	SCI	SCI	SCI	CI	CIS	CIC	CIC	CI	SCI	CI	CS	
4a	CIS	CS	SC	CIS	SC	CS	CS	SC	CIS	SC	SC	SCI	SCI	SCI	SCI	SCI	SCI	CIS	SCI	SCI	CIC	CI	SCI	CI	CI	
4б	SCI	CS	SCI	SCI	S	CS	SC	SC	CIS	SC	SCI	SCI	CIS	SCI	SCI	SCI	SCI	CI	CIS	SCI	CIC	CI	SCI	CI	CIS	
5a	SCI	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SCI	S	SCI	SCI	S	SCI	SCI	SC	SCI	SCI	SCI	SC	SC	
5б	SC	SC	SC	S	SC	S	S	S	SC	SC	SC	S	SC	SC	CS	S	S	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	
5в	н.д.	S	S	SC	S	S	S	S	S	S	S	S	SC	S	S	SCI	S	S	S	SCI	SCI	SCI	S	S	SC	
6	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SCI	S	S	S	SCI	S	SCI	SCI	SCI	S	S	SC	
7	S	S	SCI	SC	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SC	S	SC	S	S	S	SCI	SCI	SCI	SCI	S	SC	
8a	S	S	SCI	S	S	S	S	S	S	SC	S	S	SCI	SCI	S	SCI	S	S	S	SCI	SCI	SCI	S	S	SC	
8б	н.д.	S	SCI	SC	S	S	S	S	S	S	S	SCI	S	SC	SC	SCI	S	S	S	SCI	SCI	SCI	S	S	SC	

Условные обозначения.

S – сульфатный класс, C – гидрокарбонатный класс, CI – хлоридный класс, н.д. – нет данных.

Рисунок 6 – Анионный состав воды в нижнем течении р. Дон
(синий цвет – преобладание анионов HCO_3^- , зеленый – Cl^- , красный – SO_4^{2-})

Пункт (рис.1)	Год																									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
1	CaMg	MgCa	NaCa	CaMg	Ca	CaMg	CaMg	Na	NaMg	NaMg	CaMg	NaCa	Na	Ca	Na	Na	Na	Na	Na	Na	CaMg	CaMg	Mg	Na	Na	
2a	Ca	Ca	Na	NaCa	CaMg	CaMg	CaMg	Na	Na	Na	CaNa	NaCa	NaMg	NaCa	Na	Na	Na	Na	Na	Na	CaMg	CaMg	NaCa	Na	Ca	CaNa
2б	Ca	CaMg	Na	NaCa	NaCa	Ca	CaNa	Na	Na	Na	CaNa	NaMg	Na	NaCa	Na	Na	Na	Na	Na	Na	CaMg	CaMg	CaMg	Na	Ca	CaNa
3	Na	CaMg	NaMg	NaCa	CaMg	CaMg	NaCa	Na	Na	Na	CaNa	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	CaMg	CaMg	CaMg	Na	Ca	CaNa
4a	Ca	MgCa	Na	NaCa	CaNa	CaMg	CaMg	Na	Na	Na	CaNa	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	Na	Na	Na	CaMg	CaMg	NaCa	Na	Na	Na
4б	Ca	CaMg	Na	Na	NaCa	CaMg	NaCa	Na	Na	Na	CaNa	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	CaMg	CaMg	Na	Na	Na	Na
5a	NaCa	Na	NaCa	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	NaCa	Na	Na
5б	NaCa	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na
5в	н.д.	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	CaNa	Na	Na
6	CaNa	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na
7	CaMg	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na
8a	CaNa	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	NaCa	Na	Na
8б	н.д.	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na

Условные обозначения.

Ca – кальциевая группа, Mg – магниевая группа, Na – натриевая группа, н.д. – нет данных.

Рисунок 7 – Катионный состав воды в нижнем течении р. Дон
(синий цвет – преобладание катионов Ca²⁺, желтый – Mg²⁺, красный – Na⁺+K⁺)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучена пространственно-временная изменчивость содержания главных ионов в воде нижнего течения р. Дон за период 2000-2024 гг. Ниже представлены основные выводы.

1. Климатические изменения, наблюдаемые в последние десятилетия, стали ведущим фактором формирования современного ионного состава воды в нижнем течении р. Дон. В результате трансформации питания реки за счет сокращения снеготазов произошло увеличение доли питания высокоминерализованными подземными водами.

2. На участке нижнего течения р. Дон от г. Константиновск до г. Азов и х. Дугино наблюдалась пространственная изменчивость содержания веществ в воде. Минерализация воды вниз по течению реки увеличивалась в среднем на 27 %, ее составляющие – от 13 до 59 %. Значимой пространственной изменчивости содержания в воде HCO_3^- и Mg^{2+} не обнаруживалось.

3. Все статистически значимые временные изменения минерализации воды и составляющих ее веществ носили возрастающий характер, убывающих тенденций не обнаружено. Минерализация воды увеличивалась в среднем (в десятилетие) на 14 %, слагающие ее вещества: SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} и Na^++K^+ – на 21-22 %; Ca^{2+} – на 13 % и HCO_3^- – на 10 %.

4. Нижнее течение р. Дон можно условно разделить на два характерных участка, отличающихся интенсивностью протекания наблюдаемых изменений. Участок между г. Константиновск и ст-ца Багаевская выделялся более высокой скоростью изменения минерализации воды и содержания веществ ионного состава воды, чем участок, расположенный между г. Ростов-на-Дону и г. Азов.

5. Содержание в воде нижнего течения р. Дон главных ионов во многом определялись составом вод, поступающих с вышележащих территорий, где закладывались основные характерные черты исследуемых вод. Об этом свидетельствует, наибольшая скорость увеличения содержания веществ в воде пункта г. Константиновск (в десятилетие): минерализация – на 24 %, SO_4^{2-} – на 34 %, Cl^- – на 41 %, Na^++K^+ – на 51 %. В связи с этим воды нижнего течения р. Дон следует рассматривать, как воды с унаследованным ионным составом.

6. Анализ воздействия притоков нижнего течения р. Дон на изменчивость концентрации веществ показал статистическое значимое влияние р. Северский Донец на

изменение минерализации воды, а также на содержание в ней хлоридов и кальция. Влияние рр. Сал и Маныч на пространственную неоднородность концентрации веществ в воде не было установлено.

7. Отмечались статистически значимые отличия содержания в воде главных ионов в зависимости от водного стока: в наиболее маловодные годы концентрация в воде главных ионов была выше, чем в наиболее многоводные годы.

8. От пункта наблюдений г. Константиновск до г. Ростов-на-Дону наблюдалось изменение класса воды от гидрокарбонатно-сульфатного в сторону преобладания сульфатно-хлоридного и хлоридно-сульфатного классов, а также изменение группы вод от натриево-кальциевой в сторону преобладания натриевой. Ниже г. Ростов-на-Дону класс и группа вод не изменялись: сохранялось преобладание сульфатных вод натриевой группы.

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. **Сазонов, А. Д.** О результатах инструментальных измерений удельной электрической проводимости воды в нижнем течении р. Дон в 2024 г / **А. Д. Сазонов, А. В. Клещенко** // Астраханский вестник экологического образования. – 2025. – № 2(86). – С. 21-24. – DOI 10.36698/2304-5957-2025-2-21-24. (К3)

2. **Сазонов, А. Д.** Пространственно-временная изменчивость содержания главных ионов в воде нижнего течения реки Дон (2000-2024 гг.) / **А. Д. Сазонов** // Успехи современного естествознания. – 2025. – № 10. – С. 31-35. – DOI 10.17513/use.38439 (К2).

3. **Сазонов, А. Д.** Гидрохимические особенности реки Тузлов как индикатор последствий хозяйственной деятельности в Восточном Донбассе (Ростовская область) / **А. Д. Сазонов, В. Е. Закруткин** // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2024. – № 1. – С. 73-82. – DOI 10.31857/S0869780924010084. (К1).

4. **Сазонов, А. Д.** Изменчивость гидрохимических характеристик рек Сал и Западный Маныч в условиях современного антропогенного воздействия и климатических изменений (в пределах Ростовской области) / **А. Д. Сазонов, О. С. Решетняк, В. Е. Закруткин** // Наука Юга России. – 2021. – Т. 17, № 1. – С. 24-36. – DOI 10.7868/S25000640210103. (К1).

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

5. **Саонов, А. Д.** Временная изменчивость поверхностного гидрохимического стока в бассейне реки Большой Егорлык в условиях антропогенного воздействия и климатических изменений / **А. Д. Саонов**, В. Е. Закруткин, О. С. Решетняк // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12, № 2. – С. 117-130. – DOI 10.46698/VNC.2022.37.47.009. (K1)

Публикации в сборниках трудов конференций

6. **Саонов, А. Д.** Ионный состав воды реки Тузлов в современный период (бассейн Нижнего Дона) / **А. Д. Саонов** // Стратегические проблемы, угрозы и риски Азовского бассейна и Приазовья. "Опасные явления – V" : материалы V Международной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д. Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 10-14 июля 2024 г.). – Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2024. – С. 147-150.

7. **Саонов, А. Д.** Оценка рациональности водоснабжения и водоотведения на территории бассейна Нижнего Дона в Ростовской области (ниже Цимлянского вдхр.) / **А. Д. Саонов** // Проблемы экологического образования в XXI веке : труды IV Международной научной конференции (очно-заочной), Владимир, 26 ноября 2020 г. – Владимир: АРКАИМ, 2020. – С. 225-228.

8. **Саонов, А. Д.** Особенности водопользования в условиях засушливого климата (на примере р. Сал в Ростовской области) / **А. Д. Саонов** // Юг России: вызовы времени, открытия, перспективы : тезисы докладов, Ростов-на-Дону, 13-28 апреля 2020 года / ответственный редактор С. В. Бердников. – Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2020. – С. 40.

9. **Саонов, А. Д.** Экологические проблемы и гидрологические особенности рек Сал и Северский Донец (в пределах Ростовской области) / **А. Д. Саонов** // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод : сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования Гидрохимического института, [Ростов-на-Дону, 22-24 сентября 2020 г. : в 2 ч.]. Ч. 1. – Ростов-на-Дону: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрохимический институт», 2020. – С. 249-253.

10. **Саонов, А. Д.** Экологические проблемы малых рек степной зоны (на примере рек Ростовской области) / **А. Д. Саонов** // IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле : материалы конференции, Новосибирск, 19-23 ноября 2018. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2018. – С. 524-526.

11. **Сазонов, А. Д.** Оценка химического состава воды ручья балки Рябинина (Советский район г. Ростова-на-Дону) / **А. Д. Сазонов** // Экология России и сопредельных территорий : МЭСК-2017 : материалы XXII Международной экологической студенческой конференции. – Новосибирск: НГУ, 2017. – С. 28.

Патенты/свидетельства

12. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623322 Российская Федерация. База данных: Химический состав воды рек Юга России (бассейн Нижнего Дона) за 2000-2019 гг : № 2022622675 : заявл. 25.10.2022 : опубл. 08.12.2022 / М. Ю. Кондакова, Л. С. Косменко, А. А. Коваленко [и др.] ; правообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрохимический институт» (ФГБУ «ГХИ»).