

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

На правах рукописи



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

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук,
профессор Закруткин Владимир Евгеньевич

Ростов-на-Дону – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ИЗУЧЕННОСТЬ СОСТАВА ВОДЫ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. ДОН И ЕЕ БАССЕЙНЕ	10
1.1 Материалы и методы исследования	10
1.2 Изученность химического состава воды в бассейне Нижнего Дона	14
2 УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ДОН.....	21
2.1 Природные условия.....	21
2.2 Антропогенные факторы	39
3 ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ДОН ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ	66
3.1 Хронологическая изменчивость	66
3.2 Пространственная изменчивость.....	76
4 ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ГЛАВНЫХ ИОНОВ В ВОДЕ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ДОН ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ.....	93
4.1 Гидрокарбонаты.....	93
4.2 Сульфаты	102
4.3 Хлориды	116
4.4 Магний.....	128
4.5 Кальций	138
4.6 Сумма натрия и калия	148
4.7 Трансформация класса и типа вод по классификации О. А. Алекина.....	157
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	162
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	164
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	185

ВВЕДЕНИЕ

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 [114, 145, 146].

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 [28, 95, 136]. 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 [100]. В 2021 году Правительством Российской Федерации была утверждена «дорожная карта», направленная на оздоровление и развитие водохозяйственного комплекса р. Дон [93]. Это подчеркивает важность изучения и сохранения водного объекта для поддержания и развития народного хозяйства.

Этим обуславливается актуальность изучения изменчивости химического состава воды нижнего течения р. Дон в условиях современных климатических изменений и антропогенного воздействия. Полученные в ходе исследования результаты помогут решить проблему недостаточной изученности ионного состава воды в современный период, а также выявить тренды наблюдаемых изменений и ключевые факторы воздействия,

определяющие современные черты гидрохимического режима нижнего течения р. Дон.

Степень разработанности темы исследования.

В связи с интенсивным 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, О. С. Решетняк, Г. Г. Матишова, С. В. Бердникова, В. М. Иваник, Е. И. Пирумову, С. В. Жукову и многих других.

Достаточно подробно состав воды р. Дон рассмотрен в работе «Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря», где, в частности, акцентировано внимание на ионном составе вод, а также содержании в них азота и фосфора [15]. Интерес представляют исследования А. Д. Хованского и В. В. Приваленко, нашедшие отражение в монографии «Геохимическая оценка состояния речной системы Нижнего Дона», в которой бассейн реки рассмотрен с точки зрения ландшафтно-геохимического подхода [144]. В другой монографии «Биогенные вещества в зоне смешения река Дон – Азовское море» авторы весьма детально проанализировали содержание биогенных элементов в нижнем течении р. Дон за продолжительный период (1952-2000 гг.) [140].

По результатам анализа большого массива данных о химическом составе вод коллективом сотрудников Гидрохимического института были опубликованы труды «Водная экосистема Нижнего Дона: многолетние изменения качества воды» и «Реки России. Часть 5. Реки Приазовья (гидрохимия и гидроэкология)», в которых отражены особенности химического состава воды нижнего течения р. Дон [84, 88]. В контексте настоящего исследования одной из наиболее актуальных и в то же время масштабных работ, рассматривающих изменчивость ионного состава воды нижнего течения р. Дон, следует считать диссертационное исследование Е. И. Пирумовой, выполненное на основе большого массива данных за период с 1947 по 2001 г. [103].

В настоящее время мониторинг химического состава воды рек бассейна проводится государственной наблюдательной сетью Росгидромета, а также в ходе регулярных экспедиционных рейсов научно-исследовательских судов Российской академии наук и других научных организаций.

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.

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 класса и группы 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 масштабной 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.

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.

Материалы и методы исследования.

Материалами настоящего исследования послужили гидрохимические данные Государственной наблюдательной сети Росгидромета, полученные в отделе научно-технической информации Гидрохимического института с целью выполнения настоящего диссертационного исследования. Часть исследования проведена в рамках реализации 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.

Основные 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.

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.

Степень достоверности и апробация результатов.

Результаты настоящей работы докладывались на российских и международных тематических конференциях: Международная конференция

«IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле» (г. Новосибирск, 19-23 ноября 2018 г.), Международная научно-практическая конференция, посвященная 90-летию АзНИИРХ «Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем» (г. Ростов-на-Дону, 11-12 декабря 2018 г.), Всероссийская XVI Ежегодная молодежная научная конференция «Юг России: вызовы времени, открытия, перспективы» (г. Ростов-на-Дону, 13-28 апреля 2020 г.), IV Международная научная конференция «Проблемы экологического образования в XXI веке» (г. Владимир, 26–27 ноября 2020 г.), Международный молодежный научный форум «ЛОМОНОСОВ-2021» (г. Москва, 12-23 апреля 2021 г.), Международная научно-практическая конференция «Системы контроля окружающей среды – 2022» (г. Севастополь, 8-11 ноября 2022 г.), XVIII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Экология родного края» (г. Киров, 24-25 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.), Всероссийская конференция с международным участием «Угрозы и риски на Юге России в условиях геополитического кризиса» (26-29 апреля 2023 г.), V Международная научная конференция памяти члена-корреспондента РАН Д. Г. Матишова: Стратегические проблемы, угрозы и риски Азовского бассейна и Приазовья: «Опасные явления – V» (г. Ростов-на-Дону, 10-14 июля 2024 г.).

Соответствие диссертации паспорту специальности.

Настоящее исследование и его результаты соответствуют паспорту специальности 1.6.21. Геоэкология: п. 5 «Природная среда и индикаторы ее изменения под влиянием естественных природных процессов и хозяйственной деятельности человека...».

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 189 страницах, включает 73 рисунка и 33 таблицы (без учета

приложения). Список литературы состоит из 155 наименований, из них 4 на иностранных языках.

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 кафедры геоэкологии и прикладной геохимии Южного федерального университета.

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

1.1 Материалы и методы исследования

Материалами настоящего исследования послужили первичные гидрохимические данные Государственной наблюдательной сети Росгидромета о содержании в воде рек бассейна Нижнего Дона главных ионов (по сумме), хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, кальция, магния, суммы натрия и калия за период 2000-2024 гг., полученные на 13 пунктах (створах) наблюдений.

Пункты многолетних наблюдений, по данным которых было проведено настоящее исследование, представлены на схеме (рисунок 1). Общий объем исходных гидрохимических данных составил более 15 тысяч значений.

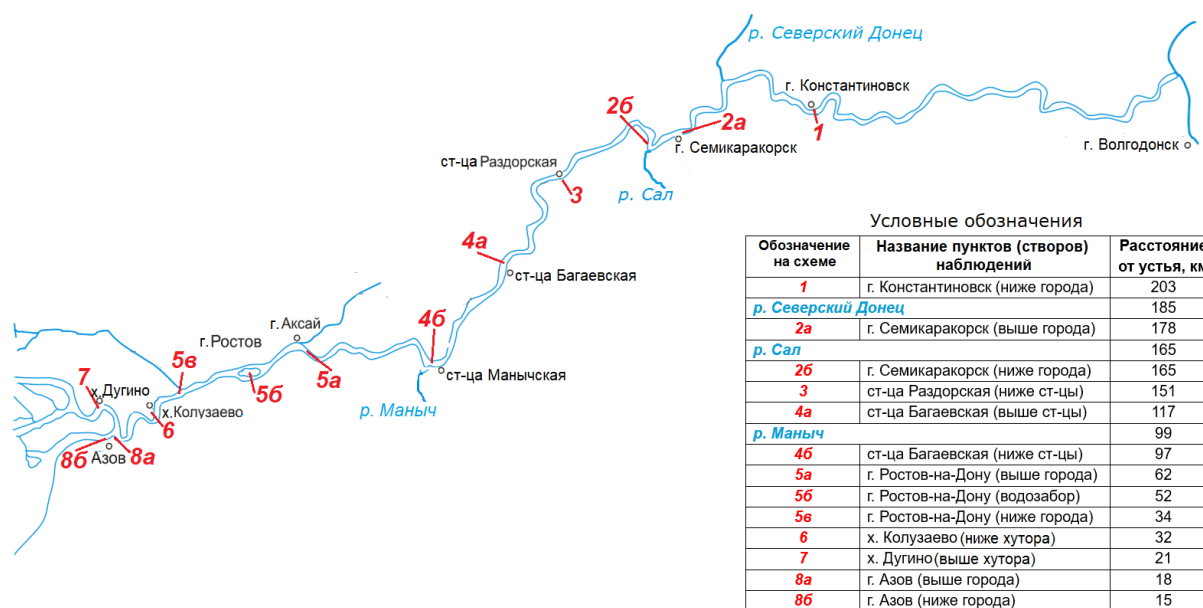


Рисунок 1 – Расположение пунктов (створов) наблюдений в нижнем течении р. Дон

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

При соотнесении многолетних рядов гидрохимических данных как в пространственном, так и во временном разрезе были применены непараметрические статистические критерии Манна-Уитни и Вилкоксона, которые достаточно широко применяются для решения аналогичных задач [22, 66, 153]. Выбор данных критериев обусловлен универсальностью их применения к анализируемым в настоящей работе гидрохимическим данным, которые в ходе первичной обработки не во всех случаях характеризовались нормальным распределением. Критерий Манна-Уитни применялся при сравнении независимых выборок. В контексте настоящей работы с его помощью определялся уровень статистической значимости отличий рядов гидрохимических данных пунктов наблюдений при изучении пространственной изменчивости.

Критерий Вилкоксона использовался при сравнении двух зависимых выборок. В контексте настоящего исследования в качестве таких выборок служили данные пунктов наблюдений за разные временные периоды.

Скорость изменения концентрации анализируемых веществ в воде оценивалась по угловым коэффициентам линейной регрессии между годом наблюдения и среднегодовой концентрацией веществ. 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.

Важно отметить, что полученные результаты о скорости изменения содержания растворенных веществ в воде целесообразно использовать исключительно при сравнительном анализе уже произошедших изменений, т. е. они не могут быть использованы в целях прогнозирования [41].

Для отображения пространственно-временной изменчивости гидрохимических данных по всем изучаемым в данной работе веществам были построены диаграммы размаха, показывающие максимальное и минимальное значение, медиану и другие параметры (рисунок 2). Также был подготовлен картографический материал, наглядно отображающий наблюдаемые изменения содержания главных ионов в воде нижнего течения р. Дон за выделенные многолетние периоды (Приложение 1, рисунки 1-7).

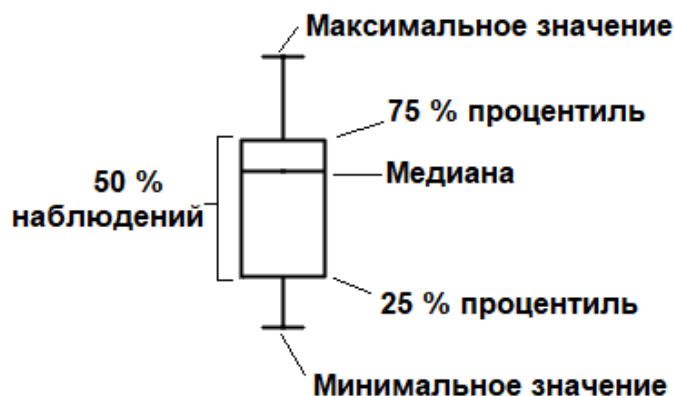


Рисунок 2 – Диаграмма размаха с отмеченными на ней параметрами

Оценка потенциального влияния основных притоков р. Дон на пространственную неоднородность химического состава воды проведена при сравнении многолетних рядов гидрохимических данных пунктов наблюдений, расположенных выше и ниже впадения конкретного притока.

Влияние правобережного притока р. Северский Донец, впадающего в р. Дон на 185 км от устья, оценивалось при сравнении данных пунктов наблюдений, расположенных ниже г. Константиновск (203 км) и выше г. Семикаракорск (178 км).

Влияние левобережного притока р. Сал, впадающего в р. Дон на 165 км от устья, оценивалось при сравнении данных пунктов наблюдений, расположенных выше г. Семикаракорск (178 км) и ниже ст-цы Раздорская (151 км).

Влияние левобережного притока р. Маныч, впадающего в р. Дон на расстоянии 99 км от устья, оценивалось при сравнении данных пунктов наблюдений, расположенных выше и ниже ст-цы Багаевская (соответственно 117 и 97 км).

В пределах бассейна Нижнего Дона наиболее протяженным урбанизированным участком является г. Ростов-на-Дону. Оценка потенциального воздействия этого крупного мегаполиса на ионный состав воды р. Дон проводилась по данным пунктов наблюдений, расположенных выше г. Ростов-на-Дону (62 км) и ниже х. Колузаево (32 км).

Одним из факторов, определяющих степень минерализации воды, может являться объем водного стока [106]. 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 самые маловодные и многоводные годы в рамках рассматриваемого периода. Источником гидрологической информации послужил научно-прикладной справочник [2, 97], 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 г.);
- наиболее многоводные годы с повышенным объемом водного стока – 23,5-27,3 км³ (2004, 2005 и 2018 г.).

На основе полученных данных с применением критерия Вилкоксона были определены статистически значимые отличия полученных результатов сравнения зависимых выборок гидрохимических данных.

В ходе выполнения настоящего исследования для статистической обработки массивов гидрохимических данных и отображения результатов были использованы программы MS Excel 2010 и пакет прикладных программ Statistica 10.0. При создании картосхем, представленных в Приложении 1 (рисунки 1-7), использовались программы GIMP и CorelDRAW.

1.2 Изученность химического состава воды в бассейне Нижнего Дона

Степень изученности химического состава речных вод Нижнего Дона будет во многом отражать актуальность данного исследования. В связи с интенсивным развитием информационных технологий и их применением в наукометрии в настоящее время поиск исследовательских публикаций, как правило, осуществляется через крупнейшие зарубежные и отечественные научные электронные библиотеки: Академия Coogle, CrossRef, eLIBRARY и другие. 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 значительный вклад в изучение 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, О. С. Решетняк, А. Е. Косолапов, С. В. Жукова, Р. Г. Джамалов, А. Н. Кузнецов, 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, М. Ю. Кондакова, К. С. Григоренко, В. В. Сорокина и многие другие.

В данном обзоре будут преимущественно представлены наиболее ранние (классические) работы и результаты комплексных гидрохимических и геоэкологических исследований, рассматривающие бассейн Нижнего Дона как целостный объект исследования. Ниже представлена информация об основных работах (книгах, монографиях и атласах), структурированная по принципу хронологического развития исследований.

К одной из первых крупных работ, рассматривающих химический состав вод Нижнего Дона, стоит отнести исследование В. Я. Еременко, которое было опубликовано в 1948 г. [43]. В работе рассмотрена изменчивость химического состава воды на участке р. Дон от г. Аксая (ст-цы Аксайской) до х. Донского в 1931-1941 гг. Основное внимание акцентировано на изменчивости солевого состава воды, но также рассмотрено содержание в воде минеральных форм азота, фосфора и соединений кремния. Оценен тип вод по ионному составу (по классификации Палмера). Данная работа представляет большой интерес также с точки зрения отображения в ней большого массива первичных гидрохимических данных. Это позволило автору детально рассмотреть изменчивость состава воды по нескольким створам и вертикалям. Проведена оценка выноса рассматриваемых веществ в Азовское море в разрезе

среднегодовой и внутригодовой (сезонной) изменчивости. После постройки и заполнения Цимлянского водохранилища в 1952-1953 гг. многие аспекты данной работы потеряли свою актуальность, так как гидролого-гидрохимический режим нижнего течения Дона претерпел кардинальные изменения.

В 1964 г. была опубликована работа О. А. Алекина и Л. В. Бражниковой «Сток растворенных веществ с территории СССР», в которой рассмотрен нижний участок реки Дон, а также ее основные притоки (рр. Сал и Северский Донец). Рассчитаны показатели ионного стока и его составляющих по гидрологическим и гидрохимическим данным за 1930-1950 гг., а также ионный состав вод по классификации О. А. Алекина [5].

В работе [50] был оценен сток микроэлементов, органических и биогенных веществ в Азовское море в 1972-1974 гг. Коллективом авторов было установлено, что вынос веществ со стоком р. Дон по большей части определяется гидрологическими особенностями реки. Их максимальная доля переносится в период весеннего половодья. Авторами был проведен сравнительный анализ стока веществ до ввода в эксплуатацию Цимлянского водохранилища и рассматриваемого периода. По актуальным на тот период данным авторами отмечалось увеличение переноса биогенных веществ, фенолов и нефтепродуктов, что свидетельствовало о возрастании антропогенного загрязнения речных вод этими веществами. В то же время, напротив, наблюдалось сокращение переноса соединений металлов (железа, меди и цинка).

Режим главных ионов и минерализации воды в бассейне Дона также были рассмотрены в работе [19]. Исследование выполнено на основе гидрохимической информации за период 1936-1970 гг. В результате статистического анализа большого массива данных (более 4500 проб с 75 пунктов наблюдений) было проведено картирование всего бассейна Дона по гидрологическим периодам весеннего половодья, летне-осенней и зимней межени. Также уделено внимание изменчивости гидрологического режима

реки по данным ключевых гидрологических пунктов до и после ввода в эксплуатацию Цимлянского водохранилища. В работе отмечается, что химический состав воды в нижнем течении р. Дон (по данным наблюдений в г. Аксай) характеризуется весьма повышенными значениями минерализации воды относительно других участков бассейна.

Река Дон во многом определяет состояние экосистемы Азовского моря, составляя большую часть его водосборного бассейна. В работе, посвященной гидрохимическим и гидрологическим основам продуктивности Азовского моря [15], акцентируется внимание на рассмотрении формирования водного и гидрохимического режима нижнего участка Дона под влиянием антропогенных преобразований и природных факторов с целью изучения абиотических условий местообитания промысловых видов рыб. В частности, уделено внимание ионному составу вод, а также содержанию в них азота и фосфора. Коллективом авторов установлено увеличение антропогенной нагрузки на Азовское море в результате возрастания объемов сброса загрязняющих веществ в реку Дон.

Большой интерес представляют исследования А. Д. Хованского и В. В. Приваленко, проведенные в 1990-е годы. В работах, посвященных геохимии аквальных ландшафтов, рассмотрен как ионный состав вод нижнего течения р. Дон, так и содержание в них микроэлементов. Проведен сравнительный анализ загрязнённости вод и донных отложений. В работе использованы гидрохимические данные 1980-х гг. [144].

Одной из наиболее актуальных и в то же время масштабных работ, рассматривающей пространственно-временную изменчивость солевого состава воды нижнего течения р. Дон, следует справедливо считать диссертационное исследование Е. И. Пирумовой [103]. Прежде всего, эта работа выполнена на основе гидрохимических данных с 1947 по 2001 г., полученных на 40 пунктах (55 створах) наблюдений. Использование такого большого массива информации Государственной наблюдательной сети с большой степенью достоверности отражает изменчивость химического

состава воды в рассматриваемых пунктах. В работе установлена изменчивость минерализации воды и ее основных составляющих (главных ионов) в условиях антропогенного воздействия до и после введения в эксплуатацию Цимлянского водохранилища и сети обводнительно-оросительных систем. Автором показано влияние притоков Нижнего Дона на формирование химического состава вод. Для некоторых участков реки рассмотрена внутригодовая (сезонная) изменчивость содержания главных ионов, а также оценен их сток в Азовское море. Одним из важных преимуществ данной работы следует считать высокую степень детализации отображения полученных результатов, что дает возможность актуализации некоторых аспектов проведенного исследования с учетом современных реалий.

В монографии [140], посвященной стоку биогенных веществ реки Дон в Азовское море, авторы весьма детально проанализировали содержание биогенных элементов в нижнем течении реки Дон и Таганрогском заливе Азовского моря за продолжительный период (1952-2000 гг.). В работе установлена зависимость содержания в воде биогенных веществ от параметров водного стока.

Согласно базовым принципам Водного кодекса, для бассейна р. Дон была разработана схема комплексного использования и охраны водных объектов. В данном документе приводятся отчетные материалы в т. ч. по бассейну Нижнего Дона. В частности, приводится сравнение осредненных фактических данных о химическом составе воды с предельно допустимыми концентрациями [137].

По результатам исследования химического состава вод бассейна Нижнего Дона, проведенного в Гидрохимическом институте Росгидромета, была опубликована монография, которая вошла в серию «Качество вод» [84]. В ней представлены обобщенные материалы исследования химического состава и качества воды с конца 1960-х до 2000 г. Отличительной особенностью данной работы является рассмотрение обширного перечня

гидрохимических показателей (главные ионы, биогенные вещества, органические вещества, металлы и т.д.).

В другой работе, выполненной сотрудниками Гидрохимического института Росгидромета [88], входящей в серию монографий «Реки России» рассмотрена пространственно-временная изменчивость гидрологических и гидрохимических показателей рек Приазовья с 1980 по 2010 г. Приведены расчеты и получены основные характеристики изменчивости притока растворенных веществ в Азовское море в т.ч. со стоком реки Дон. Кроме того, дана оценка антропогенной нагрузки в устьевой области Дона, рассчитанная с использованием параметров химического стока [6].

В монографии [33] детально рассмотрено распределение водных ресурсов в последние десятилетия в условиях меняющегося климата и социально-экономической развитости субъектов РФ, расположенных во всем бассейне реки Дон. Особое внимание уделено современному состоянию Цимлянского водохранилища в условиях маловодного периода. Работа во многом представляет обобщение ранее опубликованных исследований.

В последние годы регулярные наблюдения за гидрохимическим режимом нижнего течения р. Дон и его устьевой областью осуществляются в экспедициях Южного научного центра РАН на НИС «Профессор Панов» и НИС «Денеб». Особое внимание уделяется влиянию сгонно-нагонных явлений на гидролого-гидрохимический режим реки Дон и Таганрогского залива Азовского моря. Результаты проведенных исследований отражены в многочисленных научных публикациях [12, 71, 72, 135].

В 2020 г. был выпущен атлас «Гидрохимический сток рек Европейской части России» [26], который включает в себя также карты, характеризующие перенос растворенных веществ в бассейне Нижнего Дона. В связи с тем, что в данной работе рассматривается вся Европейская территория России, детализация отдельных речных бассейнов и их участков представлена в весьма мелком масштабе, что не позволяет оценить пространственно-временную изменчивость на отдельных водосборах. Несмотря на это, по представленной

в этой работе информации можно сделать вывод, что в бассейне Нижнего Дона значение минерализации воды заметно превышает этот показатель относительно всего Донского бассейна.

Качество воды и формирующих его показателей в реке Дон и его основных притоках рассматривается в Ежегоднике «Качество поверхностных вод Российской Федерации» в разделе, посвященном Азовскому гидрографическому району. В данных отчетно-аналитических материалах приводится информация по основным загрязняющим веществам. Особое внимание уделяется случаям превышения предельно допустимых концентраций, установленных в соответствии с нормативными документами. Раздел Ежегодника сопровождается картографическими материалами, отображающими актуальную информацию о химическом составе и качестве вод за предшествующий год [41]. В настоящее время наиболее обширная и в то же время актуальная 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 [142].

Таким образом, основываясь на анализе ранее опубликованных работ можно сделать вывод о том, что гидрохимический режим нижнего течения р. Дон изучен весьма подробно в некоторых аспектах. Однако важно отметить, что в современный период некоторые аспекты остаются не исследованными или изученными лишь обобщенно без привлечения большого массива современных фактических данных [62]. Ниже представлены некоторые вопросы, решение которых требует проведения дополнительных исследований:

- установление современных тенденций пространственно-временной изменчивости ионного состава воды;
- идентификация ключевых природных и антропогенных факторов формирования ионного состава воды и степень их влияния.

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

2.1 Природные условия

Природные условия оказывают комплексное влияние на формирование химического состава и гидрологических параметров речных вод, формируя их уникальные характеристики. К основным аспектам воздействия следует отнести: климатические условия, подстилающие породы, рельеф, почвенный покров и т. д. Далее рассмотрим особенности природно-климатических условий в бассейне Нижнего Дона.

Основные характеристики территории

Бассейн Нижнего Дона, согласно геоморфологическому районированию, территориально расположен в южной части Европейской территории России, простираясь от Среднерусской возвышенности на севере до Ставропольской возвышенности в южной части, а также от Приазовской равнины на западе до Ергенинской возвышенности на востоке (рисунок 3).

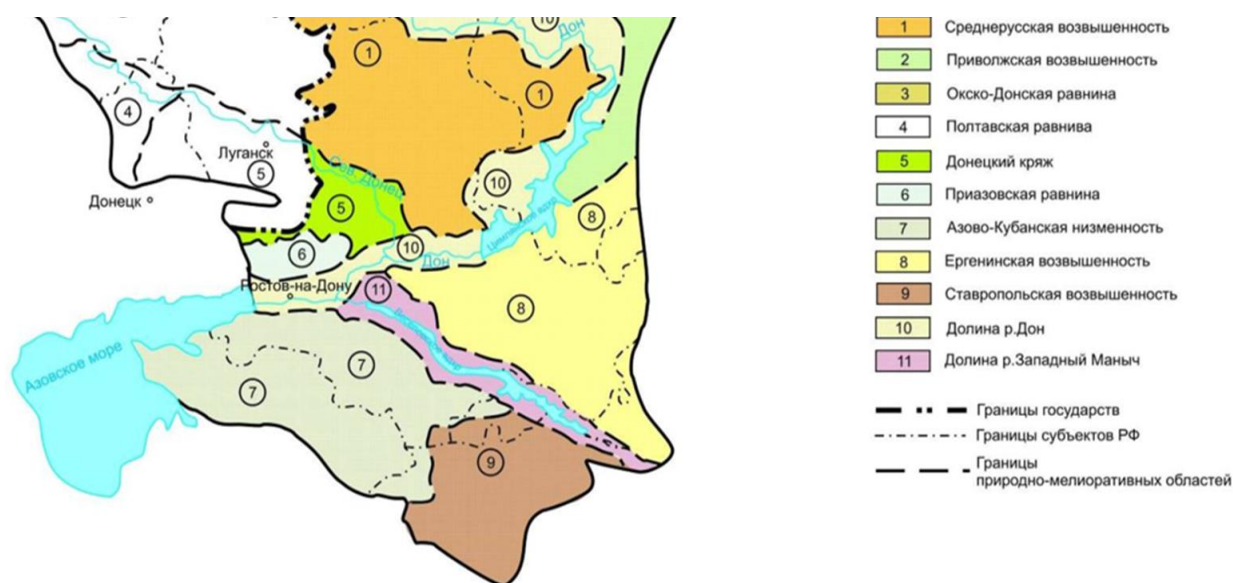


Рисунок 3 – Схема геоморфологических районов Нижнего Дона [137]

Изучаемая территория характеризуется равнинным рельефом, но в то же время для микрорельефа свойственна повышенная расчлененность густой овражной сетью, вызванной интенсивной линейной эрозией – результат вырубki естественных лесов и распашки земель. На рассматриваемом участке Дона его наиболее крупным притоком является р. Северский Донец, а также рр. Сал и Западный Маныч (таблица 1).

Таблица 1 – Основные параметры некоторых рек бассейна Нижнего Дона
[65, 67]

Река	Правый/левый, км от устья	Общая длина, км	Площадь водосбора, км ²	Средний расход, м ³ /с
Дон	-	1870	431700	660
Северский Донец	правый, 218	1053	98900	145
Сал	левый, 165	778	21300	15,4
Маныч	левый, 99	856	48450	5,1
Черкасская	левый, 66	13	-	-
Проток Аксай	правый, 61	79	-	-
Темерник	правый, 44	33	293	0,21

Абсолютные отметки водоразделов изменяются от 80-100 м до 250-300 м. На Нижнем Дону после строительства Цимлянского гидроузла (1952 г.) на участке от г. Цимлянск до г. Калач-на-Дону образовано Цимлянское водохранилище длиной 360 км, площадью 2702 км² при нормальном подпорном уровне [67, 82]. Ниже плотины Цимлянского водохранилища начинается широкая (до 20 км) пойма Нижнего Дона протяженностью 240 км и площадью 306 тыс. га, изрезанная протоками и ериками, интенсивно используемая сельским и рыбным хозяйством. Отметки поймы изменяются от 0-1 м в дельте до 15-16 м абс. у плотины Цимлянского водохранилища [67, 82].

Русло реки на Нижнем Дону обладает большой подвижностью в сравнении с Верхним и Средним Доном. Перекатов здесь меньше, глубины на плесах 4-6 м, на перекатах уменьшаются до 0,7 м, что требует проведения

дноуглубительных работ в интересах судоходства. Ниже г. Ростова-на-Дону начинается дельта с большим количеством рукавов и протоков. В нижнем течении Дон принимает слева рр. Сал и Зап. Маныч, справа – Северский Донец, который является наиболее крупным притоком р. Дон [112].

Гидрогеологические условия и грунтовые воды

Подземные воды – один из основных источников питания рек, в значительной степени поддерживающий уровень воды водотоков и водоемов в засушливые периоды. Легкорастворимые минералы, широко распространенные в бассейне Нижнего Дона, способны увеличивать общую минерализацию подземных вод. Кроме того, подземные воды могут транспортировать в реки биогенные элементы с сельскохозяйственных угодий и тяжелые металлы с промышленных зон. В рассматриваемом бассейне подземные воды представлены несколькими водоносными горизонтами, основные гидролого-гидрохимические параметры которых представлены ниже.

Водоносный горизонт эолово-делювиальных суглинков, повсеместно покрывающих водоразделы и их склоны, содержит грунтовые воды. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, а также вод поверхностного стока дождевых и талых вод. Этот горизонт дренируется долинами рек и балками. Огромное число колодцев, использующих воды суглинков в бытовых целях, создает условия для значительного искусственного дренажа водоносного горизонта. Характерной особенностью данных суглинков является региональная засоленность. По имеющимся данным засоленность суглинков до глубины 2–6 м неравномерна. Наибольшее засоление установлено в долине р. Сал. Наименее засоленные суглинки (до 0,5 %) отмечаются на южном склоне Ергеней [25, 145, 146]. Соли представлены преимущественно сульфатами, реже хлоридами кальция, магния и натрия. В тесной зависимости от этого находится и характер минерализации грунтовых вод. Преобладают сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридно-

сульфатные натриевые или магниевые, реже хлоридные натриевые воды с различной степенью минерализации (до 35 г/л) [25, 145, 146]. Наименее минерализованные воды, среди которых встречаются и гидрокарбонатные кальциевые, приурочены к верховьям балок, лощинам и другим понижениям. Как правило, наиболее минерализованные воды встречаются на ровных водораздельных участках. Небольшая глубина залегания грунтовых вод, невысокая водопроницаемость водовмещающих пород и небольшое количество атмосферных осадков при значительных величинах испарения приводят к широкому развитию процессов континентального засоления. Результатом является засоленность суглинков и региональное развитие в них грунтовых вод повышенной пестрой минерализации [25, 145, 146].

Водоносные горизонты четвертичных аллювиальных, аллювиально-морских и аллювиально-делювиальных отложений, получившие развитие в пределах долин рек и балок, приурочены к неоднородным в литолого-фациальном отношении породам: суглинкам, пескам и супесям, чередующимся с илами и глинами. Питание водоносных горизонтов осуществляется главным образом за счет атмосферных осадков и паводковых вод. В наиболее приподнятых участках территории верхние из этих горизонтов вскрываются долинами рек и балками на всю мощность, обуславливая выходы подземных вод на склонах долин в виде нисходящих родников [25, 145, 146]. На большей части территории эрозионная сеть почти не вскрывает водоносных горизонтов коренных пород, и разгрузка их осуществляется в долинах рек и балок. Водоносные горизонты дренируются в основном речной сетью. Иногда на склонах террас наблюдаются выходы грунтовых вод в виде нисходящих родников. На левобережье Маныча подземные воды описываемых водоносных горизонтов являются основным источником питания подземных вод отложений азово-кубанской серии. Частично водоносные горизонты дренируются довольно широкой сетью колодцев и скважин [25, 145, 146]. Наименее минерализованные воды гидрокарбонатного, гидрокарбонатно-сульфатного, сульфатно-

гидрокарбонатного кальциевого, реже хлоридно-сульфатного натриевого состава приурочены к северной части пойменной террасы долины Дона и к надпойменным террасам Сало-Маньчского водораздела. На остальной части долин Дона и Маныча минерализация вод превышает 10 г/л (дельта Дона, надпойменная терраса Сало-Маньчского водораздела, долина Егорлыка, долина Маныча) [25, 145, 146]. Воды чаще хлоридно-сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные натриевые. Ионный состав вод формируется здесь в условиях развития процессов континентального засоления (небольшая глубина залегания грунтовых вод, наличие суглинков в верхних частях надпойменных террас, превышение испарения над осадками). В пределах дельтовой и придельтовой частей Дона основным фактором формирования химического состава подземных вод является периодический нагон морских вод со стороны Таганрогского залива Азовского моря [25, 145, 146]. В результате подпора грунтовых вод морскими водами их сток значительно затрудняется, и в водоносные отложения временами поступают соленые морские воды. В отдельных случаях в долине р. Сал скважины вскрывают и пресные воды. В пределах этих участков отмечается повышенная засоленность покровных отложений. Среди вод хлоридно-сульфатного натриевого состава в четвертичных аллювиально-морских отложениях установлено наличие сульфатных вод с повышенной концентрацией сероводорода [25, 145, 146].

Водоносный горизонт отложений ергенинской свиты плиоцена почти повсеместно заключен между водоупорными глинами. На поверхность водоносные породы выходят вдоль южного склона Ергеней. К западу от этого водораздела водоносный горизонт дренируется гидрографической сетью Азовского бассейна. Пьезометрическая поверхность ергенинского водоносного горизонта снижается к долине Сала [25, 145, 146]. Питание ергенинского водоносного горизонта за счет инфильтрующихся атмосферных осадков и частично за счет перелива вод суглинков. Разгрузка водоносного горизонта осуществляется главным образом долинами Сала и его притоков [25, 109, 146]. Большая роль в разгрузке водоносного горизонта принадлежит,

несомненно, также долине Маныча на участке станиц Пролетарская — Буденновская. Разгрузка ергенинского водоносного горизонта осуществляется также искусственным путем при помощи многочисленных эксплуатационных скважин на воду. По химическому составу воды ергенинского водоносного горизонта неоднородны. К южному склону Ергеней приурочены гидрокарбонатно-сульфатные или сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые и натриевые воды с относительно пониженной минерализацией до 1 г/л. Нередко встречаются и сульфатно-хлоридные воды пестрого катионного состава [25, 145, 146].

Водоносный комплекс отложений азово-кубанской серии прослеживается на юге до Маныча и низовьев Дона. На поверхность они выходят узкой полосой вдоль Таганрогского залива и на отдельных небольших участках в долине Кагальника. Азово-кубанская серия представлена песчано-глинистой и песчаной толщей, залегающей под глинами. В долинах небольших рек породы водоносного комплекса залегают в днищах долин непосредственно под аллювием [25, 109, 145, 146]. В долинах Маныча и Дона полностью прорезаются отложения азово-кубанской серии. На участке долины Маныча от Веселовского водохранилища до устья абсолютные отметки пьезометрических уровней близки к отметкам уровня реки. Это обуславливает возможность поступления в азово-кубанские отложения вод из аллювиально-морских отложений. В ионном составе преобладают сульфаты, хлориды и натрий [25, 109, 145, 146].

Водоносный комплекс отложений понтического яруса распространен на значительной площади левобережья Западного Маныча и Дона и частично на правобережье Маныча. В пределах описываемой территории водоносные породы выходят сравнительно узкой полосой на небольшом участке южного склона Ергеней. Подземные воды понтического водоносного комплекса разгружаются в долину Маныча [25, 109, 145, 146]. На левобережье они переливаются в контактирующие с ними аллювиально-морские отложения. Воды понтических отложений пресные и относительно

слабоминерализованные (до 3 г/л). Преобладают сульфатно-хлоридные и хлоридно-сульфатные воды пестрого катионного состава с минерализацией. Хлоридно-сульфатные и хлоридные натриевые воды с минерализацией до 6 г/л встречаются в долине Маныча [25, 109, 145, 146].

В непосредственной близости к русловым участкам рек грунтовые воды залегают на глубинах до 5 метров, в то время как на водораздельных территориях они могут находиться на глубинах свыше 10 метров (рисунок 4).

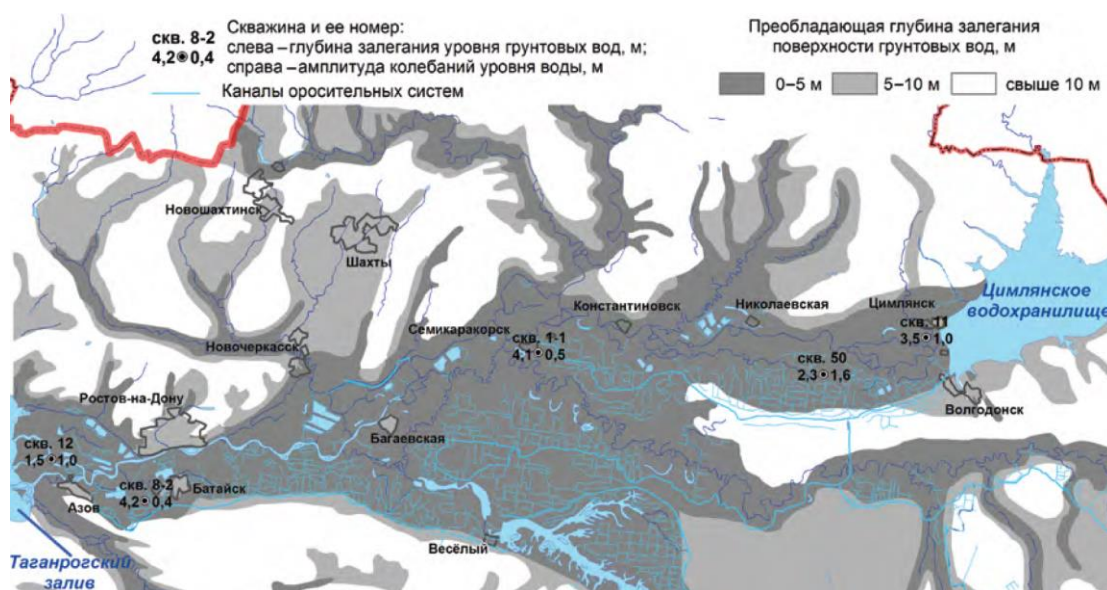


Рисунок 4 – Глубина залегания грунтовых вод [73]

Таким образом, естественные подземные водные ресурсы бассейна Нижнего Дона играют важную роли в питании его водотоков, особенно сильно выражающуюся в засушливые периоды. Подземные воды нижнего течения р. Дон дренируют засоленные легкорастворимые горные породы и могут достигать общей минерализации от 1,0 до 6,0 мг/л, а также до 35 мг/л на отдельных участках. Это может приводить к увеличению минерализации речных поверхностных вод.

Почвенный покров

Почвенный покров является важным природным компонентом, оказывающим влияние на ионный состав поверхностных вод. Прежде всего, почвы выступают в роли фильтра и буфера различных химических веществ. В процессе выщелачивания легкорастворимых почвенных веществ может происходить значительная трансформация ионного состава вод. Кроме того, именно почвенный покров служит основным источником поступления органических веществ в водные объекты [53].

В пределах рассматриваемой территории почвенный покров представлен преимущественно черноземами и каштановыми почвами, а также аллювиальными луговыми и песчаными почвами, приуроченными к долинам рек (рисунок 5). Рассмотрим по отдельности некоторые характеристики типов почв, распространенных в бассейне Нижнего Дона.

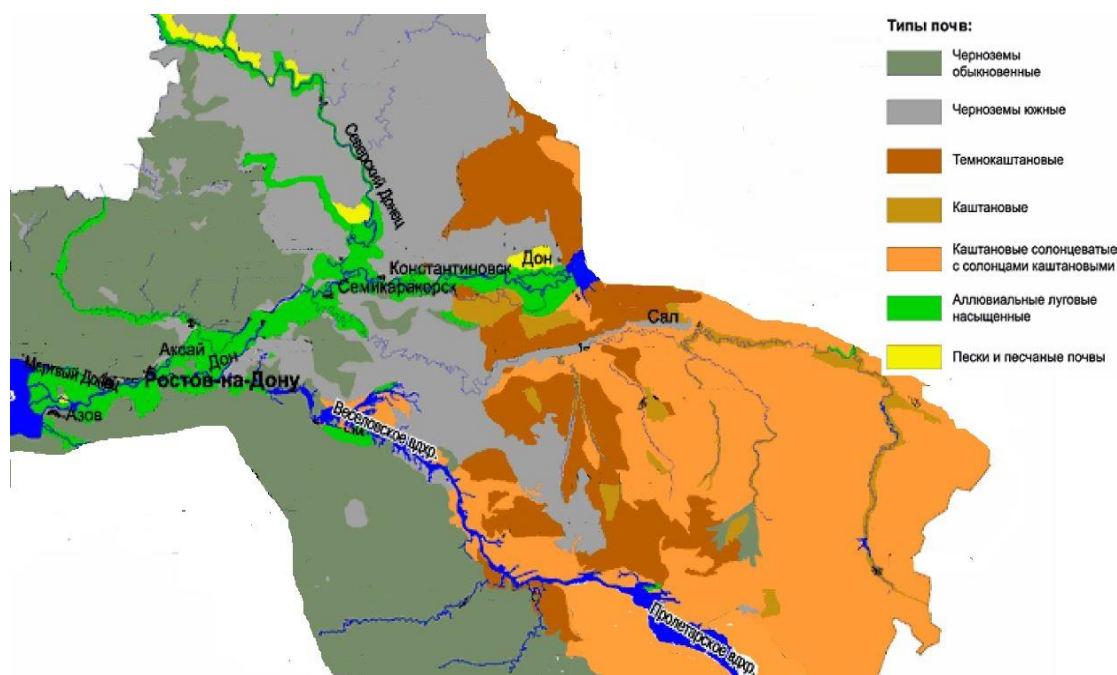


Рисунок 5 – Типы почв бассейна Нижнего Дона [150]

Подтип **черноземов обыкновенных**, распространенный на левобережной части водосбора р. Маныч и практически всем водосборе р. Тузлов. Мощность гумусового горизонта достигает 75 см. Белоглазка (соли

карбонатов кальция и магния) встречается на глубинах 90-95 см, гипс – 250-300 см. Пахотный слой данных почв представляет собой порошистую и комковато-порошистую структуру с содержанием гумуса от 5,4 до 6 %. Отличительной особенностью чернозема в пахотном слое является повышенное содержание обменного калия (30-50 мг/100 г почвы). Содержание подвижных форм фосфорной кислоты среднее – 2-3 мг/100 г почвы (кроме карбонатных почв, где наблюдается низкое содержание подвижных форм фосфора (0,5-1,5 мг/100 г почвы) [11, 18, 42]. Почвенный профиль характеризуется тем, что легкорастворимые соли из него вымыты, и до глубины 300 см их плотный остаток не превышает 0,1 %. Сульфат кальция, относящейся к труднорастворимым солям щелочноземельных катионов, чаще всего встречается на глубинах более 250 и 300 см [11, 18, 42]. В присутствии других солей, не имеющих одноименных ионов, его растворимость может повышаться. В случае повышения уровня содержания данной соли в поверхностных почвенных горизонтах повышается доступность магния, кальция, серы и фосфора, в то время как структура почвы становится мелкозернистой [11, 18, 42].

Черноземы южные, распространенные в бассейне р. Северский Донец и на водоразделе Сало-Маньчской гряды, имеют мощность гумусового горизонта порядка 63 см. Наличие в почвенном покрове свободных карбонатов отмечается на поверхности или на глубинах 40-50 см в зависимости от рода почвы. Верхняя граница залегания карбонатных новообразований находится на глубине 70-75 см, гипсовых прожилок – от 240 см [11, 18, 42]. Пахотный слой данных почв характеризуется содержанием гумуса в 4,0-4,5 %. Содержание валового калия составляет 2 %, азота – 0,2-0,3 %, фосфора – 0,14-0,20 %. Пахотный слой характеризуется низким содержанием подвижной фосфорной кислоты (1,0-1,5 мг/100 г почвы) [11, 18, 42]. Легкорастворимые соли далеко вымыты за пределы гумусового горизонта, но при этом самостоятельных солевых горизонтов не образуется. В составе поглощенных оснований отмечается преобладание кальция (80-90 %), магния (10-15 %) и

натрия (1,0-2,5 %). Гипсовые новообразования обнаруживаются в сульфатном горизонте, для которого характерен сульфатный и реже хлоридно-сульфатный тип засоления (плотный остаток составляет порядка 0,5-1,2 % – средняя и сильная степень засоления) [11, 18]. В горизонтах максимального скопления карбонатных новообразований отмечается содержание гидролитических щелочных солей, представленных в основном бикарбонатами натрия и магния. Это приводит к сульфатно-содовому и содово-сульфатному засолению на глубинах 120-150 см [11, 18].

Черноземы террасовые, сформированные в районах надпойменных террас рек, характеризуются повышенным содержанием гумуса (до 5,2 %) и наличием солонцеватых и засоленных родов. Связь с грунтовыми водами сильно ослаблена, т.к. они располагаются на глубине 5-6 м. Карбонатные новообразования встречаются на глубинах от 80 до 140 см в зависимости от мощности вида чернозема [11, 18]. Легкорастворимые соли и гипс обнаруживаются на глубине более 250 см. Зачастую характеризуются сильным сульфатным и хлоридным типами засоления [11, 18].

Каштановые почвы представляют собой большую группу почв, дифференцируемую по степени осолонения, содержания глины и другим признакам.

Темно-каштановые почвы находятся преимущественно в западной части Сало-Маньчкого и Доно-Сальского водоразделов. Мощность их гумусовых горизонтов достигает 50-52 см, а содержание гумуса в пахотном слое составляет 3,2-3,4 %. Содержание валовых форм калия находится на уровне 2,2 % азота – 0,16-0,17 %, фосфора – 0,12-0,16 %. Почвы характеризуются средней обеспеченностью подвижной формой фосфорной кислоты (1,6-2,0 мг/100 г почвы) и повышенной обеспеченностью обменного калия (40-42 мг/100 г почвы) [11, 18]. Проявление белоглазки чаще всего встречается на глубинах 59-64 см, гипса – 160-190 см в зависимости от степени осолонцевания. В темно-каштановых почвах легкорастворимые соли промыты на большую глубину. Их основная масса сосредоточена в сульфатных солевых

горизонтах (150-180 см). Встречается несколько типов засоления: сульфатный, сульфатно-содовый, содово-сульфатный и хлоридно-сульфатный. Примерно в четверти темно-каштановых почв отмечается сульфатно-содовое и хлоридно-содовое засоление в местах скопления карбонатных образований (80-100 см) [11, 18].

Каштановые почвы характеризуются меньшей мощностью гумусового горизонта (44-46 см). Белоглазка встречается уже на глубинах 54-56 см, гипс – 150-160 см. Содержание гумуса в пахотном слое составляет 2,7-2,8 %, валовых форм калия – 2,0-2,5 %, фосфора – 0,12-0,15 %, азота – 0,15-0,17 %. Для почвы характерна средняя обеспеченность подвижной фосфорной кислотой – 1,5-2,0 мг/100 г почвы и повышенная обеспеченность обменным калием – 38-42 мг/100 г почвы [11, 18]. Верхний горизонт профиля каштановых почв промыт от карбонатов, а легкорастворимые соли находятся преимущественно в местах нахождения новообразований гипса (140-150 см) [11, 18]. Повышенное содержание данных солей отмечается также в надсолевом горизонте, начиная с глубины 120-130 см. Наиболее часто встречаемый тип засоления – сульфатный, иногда – сульфатно-хлоридный и хлоридно-сульфатный. В некоторой части данного типа почв в горизонте характеризующимся интенсивным накоплением карбонатных новообразований (60-80 см), встречается повышенное содержание гидролитически-щелочных солей, в связи с тем наблюдается содово-сульфатный и сульфатно-содовый тип засоления при значении плотного остатка 0,16-0,23 %. В составе поглощенных оснований в поверхностном почвенном горизонте большая часть приходится на долю кальция (72-77 %), магния (22-23 %), а также натрия (3,3-3,4 %). Вниз по профилю количество магния и натрия заметно возрастает [11, 18].

Каштановые почвы речных террас характеризуются большой распространенностью в их числе солонцеватых и засоленных почв. Мощность гумусового горизонта достигает всего лишь 40-65 см. Гипс и легкорастворимые соли вымыты в большинстве случаев на глубину 150-

200 см. Тип засоления солевых горизонтов в основном сульфатный и хлоридно-сульфатный [11, 18].

Отдельного внимания заслуживают **солонцы** в почвенном покрове бассейна Нижнего Дона. Наибольшее их развитие наблюдается в зоне каштановых почв, а к отличительным особенностям следует отнести низкое содержание гумуса, сильную степень засоления и небольшую глубину залегания солевых горизонтов. По типу засоления отмечается преобладание хлоридного и сульфатно-хлоридного типов. Важным признаком солонцов является высокое содержание в почвенном поглощающем комплексе катионов магния и натрия [11, 18].

В более засушливых условиях в поймах рек и по берегам озер развитие получили **солончаки**, главной особенностью которых является обильное выделение солей на поверхность почвы вплоть до образования соляной корочки. В зависимости от солевого состава выделяют несколько видов солончаков, встречающихся в бассейне Нижнего Дона: мокрые (засоление хлоридами кальция и магния), пухлые (засоление сульфатами натрия) и черные (содовое засоление) [11, 18].

Таким образом, влияние почвенного покрова на ионный состав вод нижнего течения р. Дон – сложный многофакторный процесс, который протекает под действием множества природных и антропогенных факторов. Черноземы и каштановые почвы, распространенные на территории Ростовской области, способны увеличивать минерализацию воды, выпадающих и фильтрующихся через них атмосферных осадков. И особенно сильно воздействуют на минерализацию воды солончаковые почвы, которые широко представлены в левобережной части Нижнего Дона.

В наиболее засушливые периоды, характеризующиеся интенсивным испарением, может происходить засоление почвенного покрова в результате вертикальной миграции солей по почвенному профилю в направлении к поверхностным горизонтам. В результате последующего интенсивного

выпадения атмосферных осадков будет происходить смыв накопившихся легкорастворимых солей в водные объекты.

Важно отметить, что при протекании противоположного процесса – промывании почвенного покрова в направлении к коренным горизонтам – будет происходить увеличение минерализации и трансформация ионного состава грунтовых вод, что зависит, прежде всего как от интенсивности выпадения атмосферных осадков, так и от степени засаленности почвенного покрова.

В связи с этим целесообразно рассмотреть современные климатические условия, так как они являются основополагающим природным фактором миграции легкорастворимых солей в системе «погодные условия – почвенный покров – грунтовые воды».

Климатические условия: изменчивость, влияние на гидрологический режим рек и прогноз

Климатические условия во многом определяют гидрологический и гидрохимический режим поверхностных вод. В данном контексте наиболее важно рассмотрение таких базовых параметров как температура воздуха и выпадение атмосферных осадков. Их значение и сезонность могут во многом определять гидролого-гидрохимический режим рек. Температура воздуха определяет процесс испарения влаги с поверхности водосбора, а интенсивность выпадения атмосферных осадков – ключевой фактор водной эрозии, которая может приводить к смыву взвешенных и растворенных веществ с поверхностного горизонта почвенного покрова. Кроме того, атмосферные осадки также являются источником поступления растворенных веществ в водные объекты [4].

Бассейн Нижнего Дона по климатическому районированию относится к Атлантико-континентальной степной зоне, для которой характерно значительное увеличение засушливости с запада на восток, а также неустойчивое увлажнение [67]. Рассматриваемый район характеризуется

относительно однородным температурным режимом с отчетливо выраженной сезонностью. Среднегодовая температура северной части района составляет 8,5 °С, южной и юго-западной – 10,8-10,9 °С. Устойчивые положительные температуры отмечаются, как правило, с марта по ноябрь. Рассматриваемая территория бассейна Нижнего Дона отличается засушливостью климата, которая в наибольшей степени выражена в его южной и юго-восточной части (рисунок 6). Годовая сумма атмосферных осадков изменяется в диапазоне от 336 до 510 мм. По условиям влагообеспеченности рассматриваемая территория разделена на два района: засушливый (в западной части) и очень засушливый (в восточной части) [28, 99].

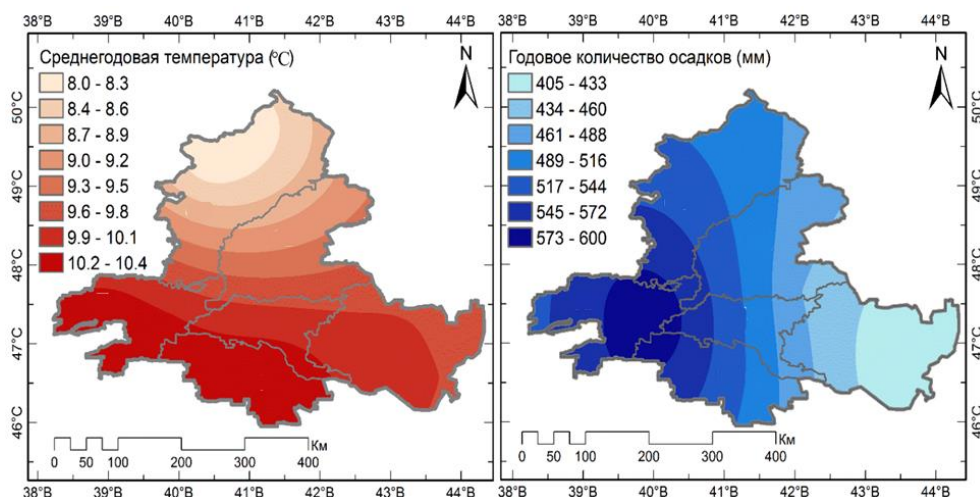


Рисунок 6 – Пространственное распределение среднегодовой температуры воздуха и количества осадков за период 1961-2020 гг. [28]

На настоящий момент имеется ряд масштабных исследований, посвященных изучению климатических изменений и их влиянию на гидрологический режим водных объектов Нижнего Дона.

По данным исследования, проведенного научным коллективом Санкт-Петербургского государственного университета за период 1966-2019 гг. выявлено статистически значимое увеличение среднегодовой температуры воздуха, которое составило 0,38°С/10 лет. Наиболее существенное увеличение температуры во внутригодовом разрезе пришлось на январь (0,68°С/10 лет)

[136]. За период с 1990-2019 гг. выявлено уменьшение годовой суммы осадков ($-24,9$ мм/10 лет), наиболее выраженное в юго-западных и южных районах рассматриваемой территории. Из-за снижения увлажненности наблюдалось снижение среднегодовых расходов и уровней водных объектов бассейна, а в р. Дон – перераспределение внутригодового стока (возрастание его доли в холодный период года, вызванное увеличением температуры воздуха и частыми оттепелями). Расходы воды в р. Дон ниже плотины Цимлянского водохранилища снижаются. Из климатических факторов авторы исследования выделяют повышение температуры воздуха и, как следствие, увеличение испарения. Для других рек региона в многолетнем разрезе характерно сокращение расходов воды в период зимней межени и весеннего половодья. В то же время на спаде половодья (в мае), напротив, отмечалась тенденция к увеличению расходов воды, что связано с увеличением количества атмосферных осадков в это время года [136].

В приложении к Распоряжению Правительства Ростовской области от 11.05.2022 № 285 «Об утверждении регионального плана адаптации к изменениям климата в Ростовской области» в части описания климатических рисков отмечается, что за период с 1991 по 2021 г увеличение среднегодовой температуры воздуха составляло $0,77^{\circ}\text{C}/10$ лет. На фоне этого происходило сокращение морозных дней и увеличение дней с высокими и аномально высокими температурами. В рамках данного временного интервала было отмечено уменьшение дней со снежным покровом и увеличение засух. В водных объектах области, как и в ранее упомянутом исследовании, наблюдалось уменьшение среднегодовых расходов и уровня воды, а также аналогичное перераспределение внутригодового стока [95].

В работе, посвященной влиянию изменчивости гидротермических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур [28], также отмечается увеличение температуры воздуха и неоднозначное изменение годового количества атмосферных осадков (рисунок 7). В частности, уменьшение атмосферных выпадений наблюдалось в западной части

Ростовской области. Скачкообразное повышение температуры воздуха также отмечалось в среднем течении р. Дон с 1951 по 2020 г. [36]. Стоит отметить, что наблюдаемые климатические изменения приводят к деградации весенней ручейковой сети и сокращению водного стока малых водотоков в бассейне Верхнего Дона [34, 35]. Все это говорит о том, что влияние масштабных климатических изменений на гидрологический режим рек охватывает весь Донской бассейн.

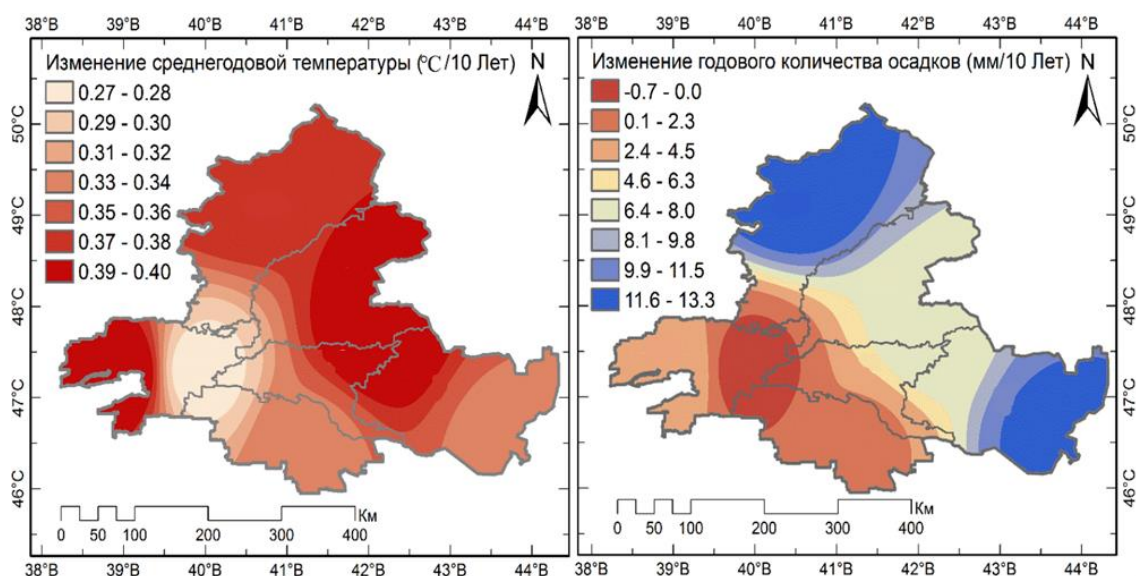


Рисунок 7 – Пространственно-временная динамика изменения температуры воздуха и атмосферных осадков (за период 1961-2020 гг.) [28]

Согласно результатам климатических исследований, проведенных в Институте географии РАН, для последних десятилетий характерна фаза увеличения температуры воздуха в бассейнах Дона и Волги (рисунок 8). Это подчеркивает тот факт, что наблюдаемые изменения происходят на весьма обширных территориях.

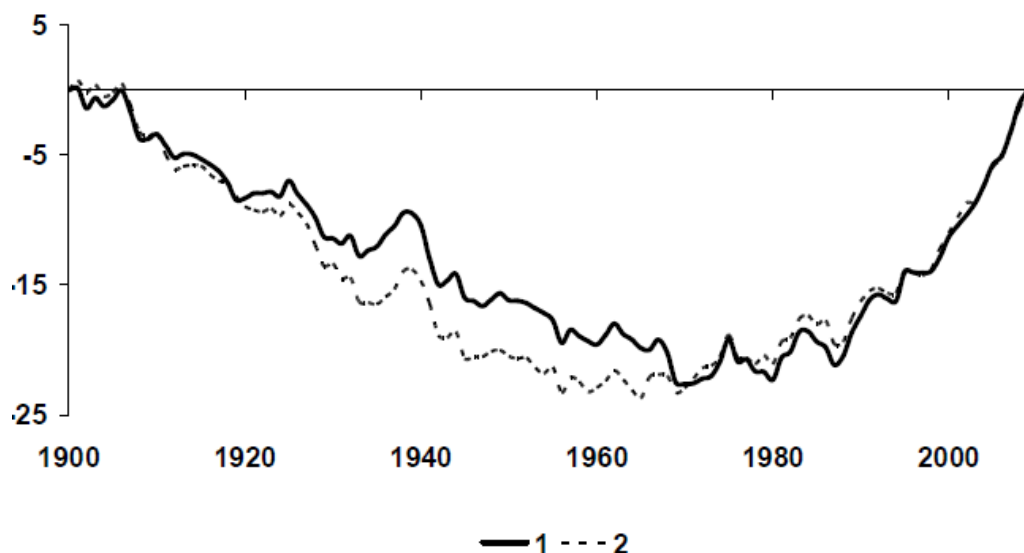


Рисунок 8 – Разностно-интегральная кривая многолетних изменений среднегодовой температуры воздуха в бассейне Волги (1) и Дона (2) [23]

Для прогнозирования изменчивости гидрологического режима рек в будущем базовым основанием служат климатические прогнозы. На данный момент в этом контексте бассейн Дона (в т.ч. Нижнего Дона) и Ростовская рассмотрены достаточно детально.

По данным Росгидромета в Ростовской области в 2041-2060 гг. ожидается интенсивное повышение температуры приземного воздуха в сравнении с базовым периодом (1981-2000 гг.). В зависимости от того или иного климатического сценария значение повышения температуры достигнет 2,7-3,7 °С. Как было сказано выше, за последние десятилетия существенных изменений количества атмосферных осадков не наблюдалось. По оценкам климатологов отсутствие значимой тенденций сохранится и в прогнозном периоде. Однако, стоит отметить, что продолжительность засух без выпадения атмосферных осадков может увеличиться (на 3-7 дней) [91].

Также в настоящий момент для бассейна Дона выделяют несколько групп сценарных изменений климатических параметров, полученных в рамках программ МГЭИК/ИРСС СМIP3 и СМIP5. Данные программы основаны на изучении изменчивости природных факторов и эффективности климатической политики. На основе этих сценариев учеными Института географии РАН

проведен прогноз годового объема водного стока на замыкающем гидрологическом створе в р. Дон (ст-ца Раздорская) для периода 2010-2039 гг., полученного на основе уравнения среднего многолетнего водного баланса. За базовый период был принят временной диапазон с 1931 по 1980 г. (таблица 2) [24].

Таблица 2 – Прогноз изменения климатических и гидрологических параметров в бассейне Дона на 2010-2039 гг. [24]

Параметр	Базовый период	Сценарные изменения параметров			
		СМIP3		СМIP5	
		B1	A2	RCP 2.6	RCP 8.5
Сумма осадков, мм	462	13	9,7	26	31
Температура воздуха, °C	6,3	1,5	1,3	1,8	2,0
Слой речного стока в ст-це Раздорской, мм	67	0,5	1,4	2,0	3,0

По итогам расчетов, полученных на основе водобалансовых уравнений и климатических сценариев сделан вывод, что среднемноголетний сток Дона, по всей вероятности, не будет значительно отличаться от базового периода независимо от расчета различных контрастных климатических прогнозов. Предполагаемое увеличение водного стока может находиться в диапазоне от <1 до 4,5 %. В то же время исследователи допускают сценарий незначительного снижения водного стока на 3,5-5 % [24].

По результатам климатических и гидрологических исследований можно сделать вывод о том, что в последние десятилетия в бассейне Нижнего Дона наблюдалось увеличение температуры воздуха, которое наиболее интенсивно проявлялось в зимний период. В период с 1990-2019 гг. сокращалась годовая сумма осадков, наиболее выраженная в юго-западных и южных районах рассматриваемой территории. Согласно современным прогнозным оценкам, основанным на нескольких климатических сценариях, сток Дона в ближайшие 15 лет значительно не изменится, что свидетельствует о продолжении периода маловодья в ближайшем будущем.

Выводы

По результатам рассмотрения природно-климатических условий как первичного фактора, влияющего на гидролого-гидрохимический режим Нижнего Дона, можно сделать следующие обобщения.

Подземные и грунтовые воды бассейна значительно минерализованы и характеризуются высоким содержанием сульфатных и хлоридных ионов. Почвенный покров на отдельных участках имеет достаточно высокую степень хлоридного, сульфатного и содового (карбонатного) засоления.

Рассматриваемая территория отличается засушливыми климатическими условиями, которые наиболее выражены в его южной и юго-восточной части бассейна. Прогнозируется повышение среднегодовой температуры воздуха и увеличение количества дней без атмосферных осадков.

2.2 Антропогенные факторы

В настоящее время гидролого-гидрохимические параметры водных объектов, как правило, находятся в зоне влияния различных источников загрязнения вод и их перераспределения в результате межбассейновой и внутриводоемной переброски водного стока [83, 86]. При оценке воздействия тех или иных антропогенных воздействий на количественные и качественные параметры речных вод весьма целесообразно классифицировать источники в целях их более подробного рассмотрения.

Специфику воздействия сфер хозяйственной деятельности на водные объекты можно условно подразделить на прямое и косвенное. Прямой вид воздействия будет характеризоваться непосредственным влиянием на водный объект (забор и сброс воды, регулирование стока, дноуглубление и т.д.). В процессе косвенного влияния будет происходить трансформация параметров водосборной площади (преобразование почв, обезлесение и т.д.).

В последнее время данный подход к рассмотрению антропогенных источников обрел широкое распространение среди отечественных и

зарубежных исследователей. Способы поступления загрязняющих веществ в реки принято разделять на две большие группы: точечные и диффузные [31, 81]. Важно отметить принципиальный момент, объясняющий связь между сосредоточенными и площадными источниками поступления воды и растворенных в ней веществ: формирование химического состава сточных вод в некоторых местах их сброса происходит за счет изначального диффузного поступления. Например, состав вод на локализованном участке сброса мелиоративных систем сформирован под влиянием диффузного поступления веществ, в то время как на отдельном промышленном предприятии изменение концентраций веществ в стоках будет зависеть от контролируемых производственных процессов.

Ниже будет представлено распространение точечных источников поступления загрязняющих веществ воды в бассейн Нижнего Дона. Влияние диффузных источников оценить достаточно сложно, поэтому они будут рассмотрены в контексте механизма поступления веществ с водосборной площади в речную сеть с учетом антропогенной преобразованности территории и природно-климатических условий.

Точечные источники поступления загрязняющих веществ

Точечные (локальные, сосредоточенные) источники могут быть довольно точно идентифицированы, поскольку они локализованы на сравнительно небольших территориях. Кроме того, объем поступления загрязняющих веществ в данном случае находится под контролем и нормативно регламентирован [32]. Это дает возможность дать сравнительно более детальную оценку их влияния на поверхностные воды. К таким источникам воздействия следует отнести:

- сбросы сточных вод населенных пунктов;
- сбросы сточных вод производственных предприятий;
- сбросы сточных вод сельхозпредприятий;

- сбросы и перераспределение мелиоративных дренажных, оросительных и других вод.

Анализ локализованных источников, влияющих на гидролого-гидрохимические параметры Нижнего Дона, стоит начать, прежде всего, с наиболее важного устойчивого фактора антропогенного воздействия – Цимлянского водохранилища. Этот крупнейший искусственный водный объект был заполнен в 1953 г. После его постройки гидрологический режим нижнего участка р. Дон претерпел радикальную трансформацию. Значительно сократился годовой водный сток (рисунок 9) и особенно его весенняя доля. Водный сток Дона, рассчитываемый по данным расходов в замыкающем гидропосте в ст-це Раздорской, определяется сбросом вод в нижнем бьефе Цимлянского водохранилища. Сброс вод в створе гидроузла – ключевой источник, определяющий гидрологический режим нижнего течения р. Дон.

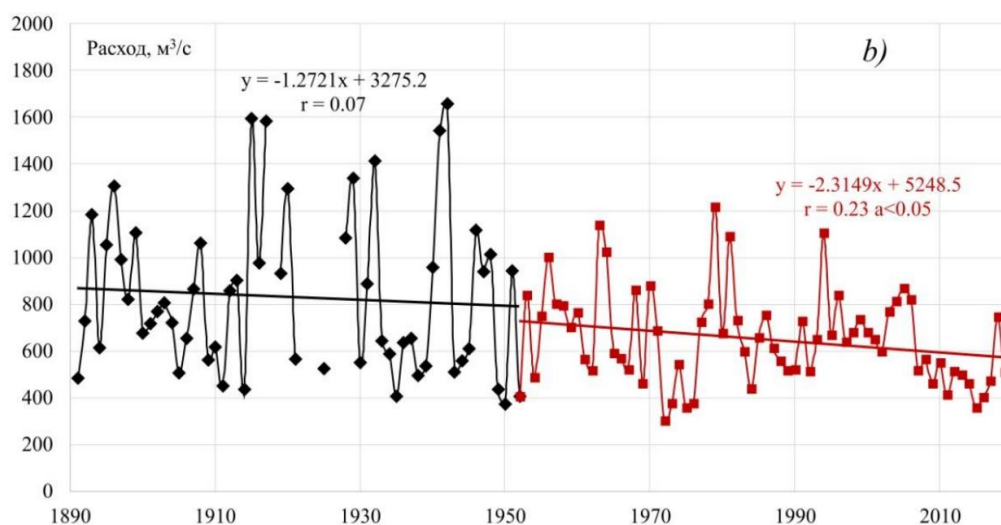


Рисунок 9 – Изменчивость среднегодовых расходов воды по данным гидропоста ст-це Раздорская после ввода в эксплуатацию Цимлянского водохранилища [63]

В бассейне Нижнего Дона находится много городов и населенных пунктов [3]. На территории Ростовской области, в частности расположено 12 городских округов и более 2000 населенных пунктов [96]. В направлении вниз

по течению непосредственно на р. Дон и на сравнительно небольшом от нее расстоянии расположены города Константиновск, Семикаракорск, Новочеркасск, Аксай, Ростов-на-Дону, Батайск и Азов. Вниз по течению р. Северский Донец расположены города Донецк (Ростовская область), Каменск-Шахтинский и Белая Калитва. Городское население значительно преобладает над сельским и составляет 66-67 %, что свидетельствует о высокой степени урбанизации [116].

На 2024 г. население региона составляло 4 152 518 человек. Плотность населения равна 41,13 чел./км², что в 4,8 раза превышает данный показатель на территории РФ и почти в 2 раза – ее густонаселенной европейской части, что уже является предпосылками относительно высокой антропогенной нагрузки [51, 116]. Распределение населения неравномерно, что связано с особенностью месторасположения крупных городских округов (рисунок 10).

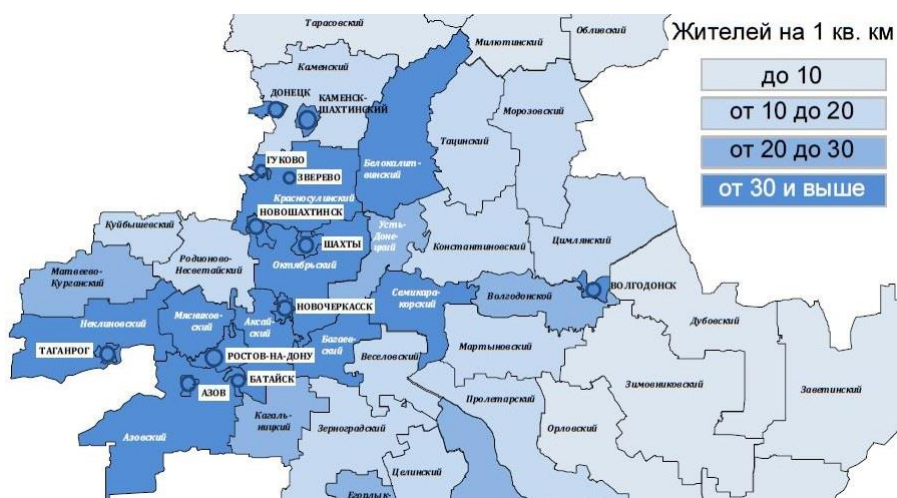


Рисунок 10 – Плотность населения на рассматриваемой территории [98]

Из этого следует, что наибольшая численность и соответственно плотность населения характерны для бассейнов правобережных притоков Нижнего Дона (рр. Северский Донец и Тузлов) и непосредственно для приустьевого участка Дона.

В контексте рассмотрения сбросов сточных вод населенных пунктов в поверхностные водные объекты как точечного источника загрязнения более

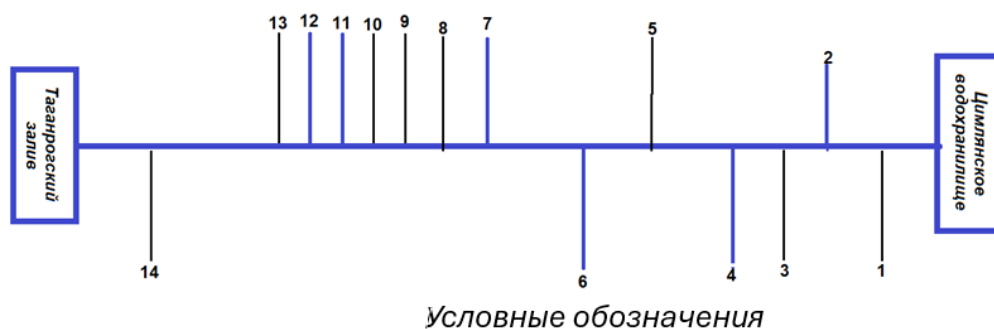
пристальное внимание следует уделить городским поселениям. В таблице 3 представлена информация об объемах сброса сточных вод в городах, расположенных в бассейне Нижнего Дона.

Таблица 3 – Объем сброса сточных вод водоканалами городов Ростовской области, млн м³ в 2020 г. [151]

Город	Объем сброса сточных вод, млн м³	Водный объект
г. Ростов-на-Дону	94,2	р. Дон
г. Волгодонск	11,9	р. Дон
г. Новочеркасск	6,90	рр. Тузлов, прот. Аксай
г. Каменск-Шахтинский	4,40	р. Северский Донец

В связи с функционированием крупнейшей в области тепловой электростанции в микрорайоне Донском города Новочеркасск происходит круглогодичное интенсивное водопотребление [17]. Высокий показатель сброса нормативно чистой воды (более 95% от суммарного сброса) свидетельствует об отсутствии значительного загрязнения вод при проведении теплоэнергетических мероприятий, так как вода используется преимущественно для функционирования производственных установок. Стоит отметить, что по обобщенным оценкам более 90 % всех сточных вод Ростовской области сбрасывается непосредственно в р. Дон [78, 141].

Ниже на рисунке 11 представлены точечные источники поступления растворенных веществ в воду нижнего течения р. Дон.



Обозначение на схеме	Точечные источники поступления веществ и притоки	Расстояние от устья р. Дон, км
1	Семикаракорский филиал ФГУ «Ростовмелиоводхоз»	203
2	р. Северский Донец	185
3	Семикаракорский филиал ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» (центральный сброс)	174
4	р.Сал	165
5	Теплый канал Новочеркасской ГРЭС	133
6	р.Маныч	99
7	прот. Аксай	61
8	Аксайский филиал ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»	57
9	АО «Водоканал Ростова-на-Дону» (вып. 5)	54
10	АО «Водоканал Ростова-на-Дону» (вып. 3)	47
11	р. Темерник	44
12	р. Мертвый Донец	40
13	АО «Водоканал Ростова-на-Дону» (вып. 1)	38
14	АО «Водоканал г. Азов»	15

Рисунок 11 – Линейная схема точечных источников поступления растворенных веществ в р. Дон (составлено по [137])

Так как сбросы сточных вод других отдельных предприятий Ростовской области также приурочены к относительно крупным городам, производственные сбросы целесообразно рассматривать в совокупности со сточными водами городов. Важно отметить, что сточные воды в зависимости от целей их использования и степени очистки могут значительно различаться по своему химическому составу, поэтому их влияние на гидрохимический режим поверхностных вод может иметь разнонаправленное воздействие [126]. Они могут как повышать, так и снижать содержание отдельных веществ в воде.

Рассмотрим более детально перечисленные точечные источники поступления растворенных веществ в р. Дон.

«Отправной точкой» в контексте данного исследования является сравнительно малонаселенный г. Константиновск, а котором проживают около 17 тыс. человек [116]. Учитывая отсутствие в городе крупных промышленных предприятий и его относительно небольшое население, сброс сточных вод г. Константиновск не будет оказывать значительного влияния на ионный состав воды р. Дон в сравнении с другими локализованными источниками. Однако стоит отметить, что выше города расположен сброс высокоминерализованных мелиоративных вод Нижне-Донской оросительной системы. Выпуск вод производится в малую реку Солоная (Соленая), которая впадает в р. Дон. Согласно результатам исследований, проведенных с 2008 по 2020 гг., минерализация воды р. Солоная составляла в среднем 1164 мг/л, достигая в отдельных случаях показателя свыше 3000 мг/л (таблица 4). Важно отметить, что годовой водный сток р. Солоная относительно р. Дон весьма незначителен и составляет около 5 тыс. м³ в год [38]. При этом среднегодовое количество стока р. Дон с 2008 по 2020 г. составлял 18 км³ [2].

Таблица 4 – Минерализация и содержание главных ионов в воде р. Солоная, мг/л (по данным [38])

Вещество	Среднее, мг/л	Годовой сток, кг
Минерализация	1164	582
Сульфаты	724	362
Натрий	229	114
Хлориды	175	87,5
Кальций	107	53,5
Магний	48	24,0

Выше г. Константиновск, 210 км от устья р. Дон, расположен низконапорный Константиновский гидроузел, который начал функционировать в 1982 г. (рисунок 12).

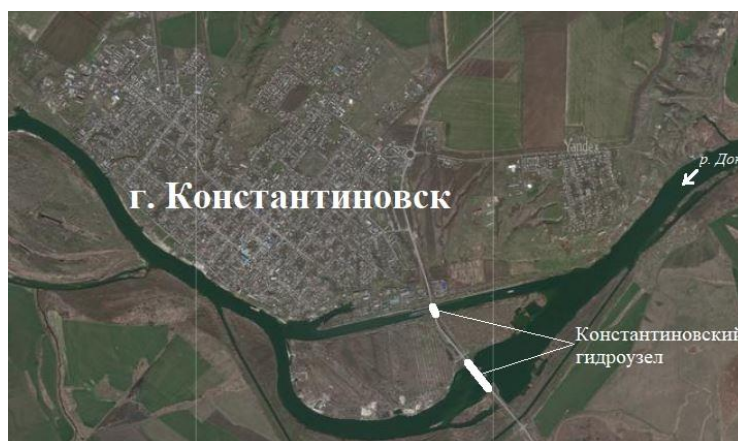


Рисунок 12 – Месторасположение г. Константиновск
(составлено автором по [110])

Гидроузел построен с целью увеличения судоходных глубин. В его конструкцию входит двухниточный шлюз и водосливная плотина, расположенная у левого берега [29]. Влияние подобных гидротехнических сооружений проявляется в изменении гидрологических параметров на отдельных участках реки (скорость течения, уровень и расход воды) [64]. В контексте изучения химического состава вод стоит отметить, что подобные гидротехнические сооружения способствуют интенсификации процессов смешивания вод. Так как р. Солоная расположена выше этого сооружения, гидроузел может выступать в роли фактора увеличивающего степень разбавления вод этого притока с водой р. Дон.

В 18 км ниже г. Константиновска с правого берега в р. Дон впадает его самый крупный приток – р. Северский Донец, на которой расположены города Донецк (Ростовская обл.), Каменск-Шахтинский и Белая Калитва. Территория бассейна характеризуется большим количеством предприятий угледобычи, машиностроения, химического производства, электроэнергетики и других [67,

129]. Ниже на рисунке 13 представлена информация о сбросе загрязняющих веществ в бассейн р. Северский Донец.

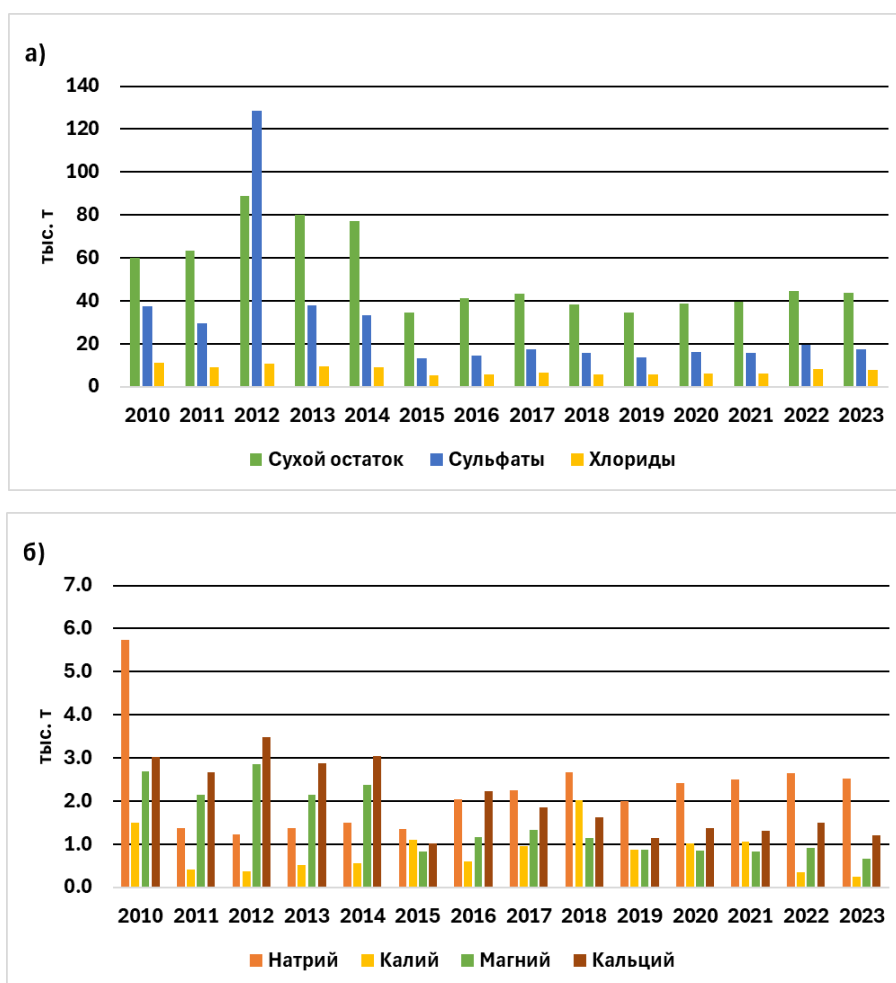


Рисунок 13 – Суммарный сброс загрязняющих веществ в бассейн р. Северский Донец, тыс. т (составлено по [2])

Отмечается относительно высокое поступление из антропогенных источников сульфатных ионов (в среднем 29 тыс. т в год), которое объясняется, прежде всего, воздействием угледобывающей промышленности [48]. Ниже в таблице 5 представлена информация о поступлении растворенных веществ в р. Северский Донец в р. Дон.

Таблица 5 – Сток главных ионов с водой р. Северский Донец (г. Белая Калитва) в р. Дон в 2019 г., тыс. т

Вещество	Сток, тыс. т	
	р. Северский Донец	р. Дон
Главные ионы (по сумме)	5386	15223
Сульфаты	1529	3089
Гидрокарбонаты	1138	4525
Хлориды	1094	3378
Кальций	497	1828
Магний	271	1100

Из таблицы следует, что р. Северский Донец является значимым источником поступления растворенных веществ в р. Дон. Так, в 2019 г. приток главных ионов (по сумме) с водой р. Северский Донец составил 28 %, сульфатов – 49 %, хлоридов – 32 % от значений стока данных веществ в р. Дон.

В 7 км ниже впадения Северского Донца на р. Дон находится низконапорный Кочетовский гидроузел, построенный в 1920 г. (рисунок 14). Он обеспечивает необходимую судоходную глубину не только на участке Дона, но и в нижнем течении р. Северский Донец, что расширяет возможности судоходного потенциала [30, 148].

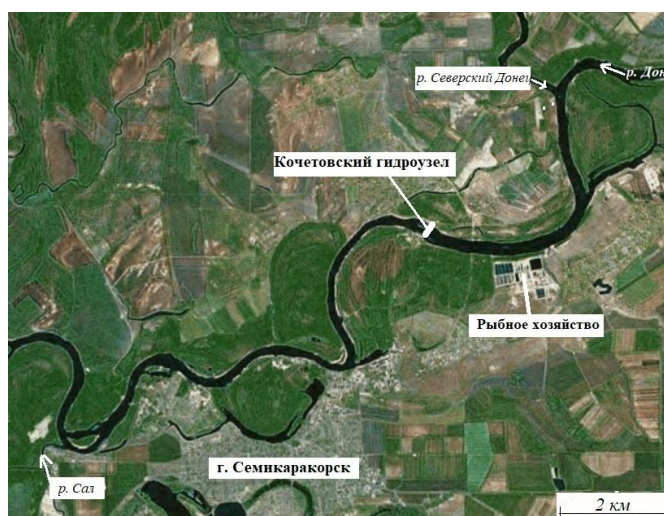


Рисунок 14 – Участок р. Дон от впадения р. Северский Донец до впадения р. Сал (составлено автором по [110])

Как и в случае с Константиновским гидроузлом, данное гидротехническое сооружение может способствовать увеличению интенсивности процесса перемешивания вод. В данном случае на данном участке в результате замедления скорости течения р. Дон происходит смешение воды р. Северский Донец с донской водой.

На относительно небольшом расстоянии ниже по течению Дона на левом берегу реки расположен г. Семикаракорск с численностью населения около 21 тыс. человек. Для экономики города характерно наличие нескольких небольших предприятий сельского хозяйства, перерабатывающей промышленности и строительных организаций.

На расстоянии 2 км ниже г. Семикаракорск в р. Дон впадает ее левобережный приток р. Сал. В связи с отсутствием городов и больших локализованных предприятий какие-либо крупные сосредоточенные источники загрязнения поверхностных вод в бассейне этой реки отсутствуют. Плотность населения значительно ниже среднерегионального показателя и составляет до 10 чел/км². Ниже на рисунке 15 представлена информация об объеме контролируемого сброса загрязняющих веществ в бассейне обсуждаемого притока.

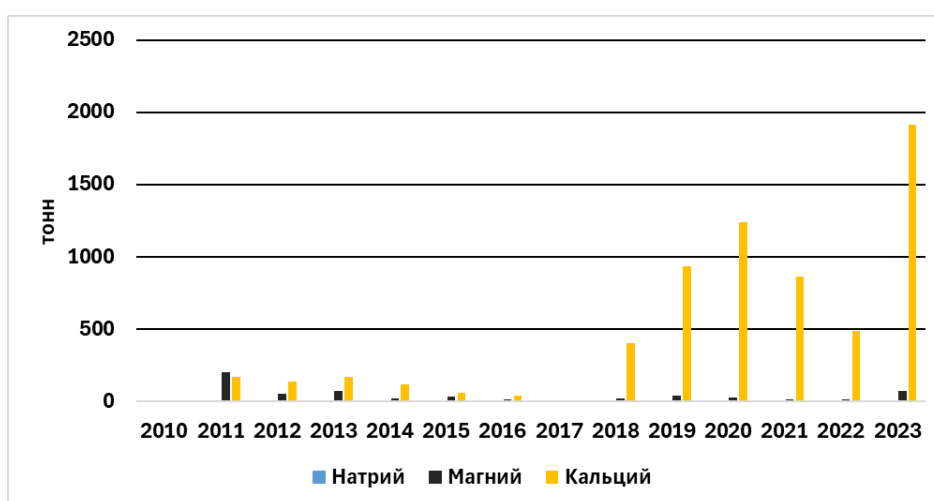


Рисунок 15 – Суммарный сброс загрязняющих веществ в бассейн р. Сал
(составлено по [2])

Несмотря на отсутствие каких-либо крупных населенных пунктов, бассейн реки подвергается значительному воздействию в результате межбассейновой переброски водного стока с целью функционирования обводнительно-оросительных систем [133]. По анионному составу в сточных водах р. Сал в рамках рассматриваемого периода преобладали как сульфаты, так и хлориды [2]. В таблице 6 представлена информация о поступлении растворенных веществ с водой р. Сал в р. Дон.

Таблица 6 – Сток растворенных веществ с водой р. Сал (х. Балабинка) в р. Дон в 2019 г., тыс. т

Вещество	Сток, тыс. т	
	р. Сал	р. Дон
Главные ионы (по сумме)	291	15223
Сульфаты	82	3089
Хлориды	67	3378
Гидрокарбонаты	54	4525
Кальций	27	1828
Магний	16	1100

Как видно из таблицы, доля привноса веществ с водой р. Сал в р. Дон составляет порядка 1-2 %, т.е. ее потенциальный вклад в загрязнение донской воды ничтожно мал. Несмотря на повышенную минерализацию воды притока, ее водный сток составляет около 1-2 % от стока р. Дон.

На весьма протяженном участке от г. Семикаракорск до ст-цы Мелиховской локализованные источники антропогенного воздействия выражены в наличии периодических сбросов вод рыбных хозяйств. Однако стоит отметить, что данные хозяйства функционируют эпизодически [45]. В связи с этим влияние этих потенциальных источников поступления загрязняющих веществ будет малозначительным и краткосрочным.

Ниже станицы Мелиховской в р. Дон по правому берегу впадает Теплый канал, по которому осуществляется сброс сточных вод Новочеркасской ГРЭС [117] (рисунок 16).



Рисунок 16 – Участок впадения Теплого канала и прот. Сусат в р. Дон
(составлено автором по [110])

Теплый канал, в отличие от других локализованных источников поступления загрязняющих веществ, характеризуется непрерывным стоком. В связи с этим его можно считать условным притоком нижнего течения р. Дон наряду с другими. В канал производится сброс преимущественно нормативно чистых вод, поэтому воздействие данного источника потенциально незначительное [2]. В случаях высокого уровня загрязненности воды р. Дон, данный канал, напротив, может снижать степень загрязненности донской воды в результате процесса разбавления.

Протока Сусат, расположенная ниже по течению Дона, является частью сложной системы староречий левого побережья Дона, соединяя его с вышерасположенным притоком р. Сал [30]. Протяженность протоки составляет 63 км. Водный объект принимает сточные воды Семикаракорского филиала ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» - крупной мелиоративной системы (см. Таблица 1 в Приложении 1). По данным ранее проведенных

исследований, минерализация воды протоки Сусат может составлять более 900 мг/л, а поступающих в нее вод из оросительного канала – более 2000 мг/л. Однако объем поступления вод в р. Дон очень мал и составляет менее 1 % от стока р. Дон [30].

От протоки Сусат до впадения р. Маныч среди локализованных источников спуска вод можно отдельно выделить предприятия прудового рыбоводства с нерегулярным и малообъемным сбросом сточных вод (рисунок 17).

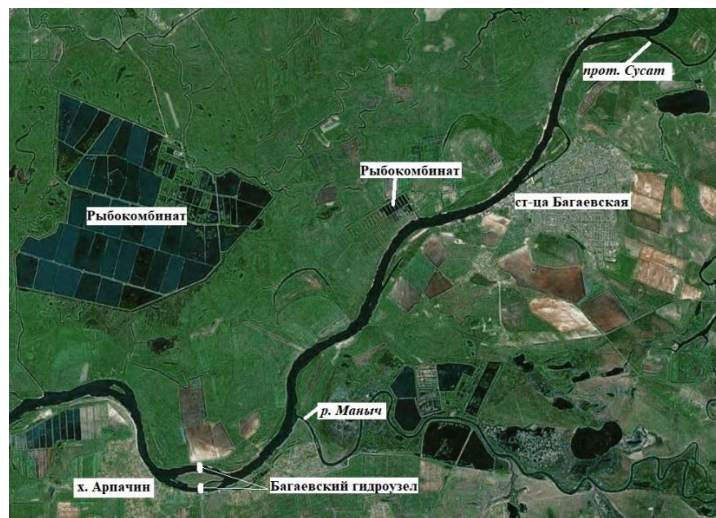


Рисунок 17 – Участок р. Дон от впадения прот. Сусат до впадения р. Маныч (составлено автором по [110])

Для искусственных прудов в бассейне Нижнего Дона, созданных с целью разведения рыб, свойственны значительные межгодовые и внутригодовые изменения площади водного зеркала вплоть до полного осушения в отдельные периоды длительностью от нескольких месяцев до нескольких лет [76].

Вода р. Маныч характеризуется относительно повышенным уровнем минерализации в сравнении с р. Дон. По результатам экспедиционных исследований, проведенных в летний период 2023 г., концентрация главных ионов (по сумме) на устьевом участке р. Маныч составила 1730 мг/л [54]. В то же время минерализация донской воды в 2 км выше впадения р. Маныч

находилась на уровне 1020 мг/л. В связи с отсутствием гидрологических данных об объеме стока р. Маныч, оценить объем привноса растворенных веществ с водой этой реки в Дон не представляется возможным. Однако, согласно литературным данным, расход воды р. Маныч составляет порядка 5 м³/с, что сотни раз меньше, чем в р. Дон [67]. Важно отметить, что состав воды р. Маныч определяется множеством факторов: «Было выяснено, что разделить роль влияния климатических изменений и антропогенного воздействия на состояние данных рек крайне затруднительно, что осложнено выявлением причинно-следственных связей. С большой уверенностью можно утверждать, что на фоне климатических изменений степень влияния антропогенного воздействия на изменчивость химического состава вод исследуемых рек только увеличивается. Климатические изменения приводят не только к ухудшению качества вод и сокращению их объема, но и к увеличению потребности населения в водных ресурсах» [122, с. 35].

Одним из самых крупных и загрязненных притоков р. Маныч является р. Большой Егорлык: «Бассейн реки Большой Егорлык (Егорлык) является уникальной природно-антропогенной системой, характеризующейся высокой степенью антропогенной преобразованности водосбора в условиях аридизации климата. На его территории ведется интенсивная сельскохозяйственная деятельность, осуществляется межбассейновая переброска стока, функционируют многочисленные ирригационные системы. Кроме того, в пределах речного бассейна находятся промышленные предприятия и многочисленные населенные пункты, что влечет за собой значительное антропогенное воздействие на водные ресурсы реки [119, с. 119].

В настоящее время ниже впадения р. Маныч завершается строительство низконапорного Багаевского гидроузла, расположенного в окрестностях х. Арпачин. Его введение в эксплуатацию запланировано в 2025-2026 гг. [111]. Так как он будет замыкающим гидроузлом в нижнем течении р. Дон, то зона влияния нагонных явлений Азовского моря на участке ниже гидроузла увеличится в результате функционирования этого гидротехнического

сооружения: соленые морские воды смогут распространяться вплоть до г. Ростов-на-Дону, поднимется уровень грунтовых вод, замедлится скорость течения, увеличится роль боковых притоков в формировании гидролого-гидрохимического режима р. Дон и т. д. [74, 75].

Следующий участок течения Дона можно ограничить впадением протоки Аксай (рисунок 18). В протоку впадает р. Тузлов, водосбор которой испытывает значительное антропогенное воздействие [60, 115, 121, 138]. В ранее опубликованных нами результатах исследований было показано, что минерализация воды р. Тузлов регулярно превышает 2000 мг/л, а содержание сульфатов – 1000 мг/л [120, 123]. Кроме того, прот. Аксай принимает сточные воды г. Новочеркаска и некоторых предприятий в связи с чем является потенциальным источником привноса загрязняющих веществ в р. Дон. Показатель электропроводности воды протоки Аксай, измеренный нами в ходе экспедиционных исследований в 2024 г., указывал на высокий уровень минерализации воды относительно р. Дон [124].



Рисунок 18 – Участок р. Дон от впадения прот. Аксай
(составлено автором по [110])

В целом на территории этого района также распространены искусственно обводненные и осушенные территории. Перед слиянием относительно широкой протоки Аксай с Доном впадает небольшая

периодически пересыхающая р. Черкесская, расположенная в зоне влияния рыбоводства и орошения сельскохозяйственных земель [67]. В связи с этими характерными особенностями ее влияние на изменчивость химического состава воды р. Дон можно принять как малозначительное.

В нижнем течении р. Дон наиболее мощным локализованным источником сброса сточных вод является г. Ростов-на-Дону, представляющий собой весьма длинный урбанизированный участок, который наиболее развит на правом берегу реки (рисунок 19).



Рисунок 19 – Приустьевой участок р. Дон (составлено автором по [110])

На 44 км в р. Дон в пределах г. Ростов-на-Дону впадает малая р. Темерник, на водосборе которой расположено более 50 предприятий [8, 67]. По данным исследования, проведенного в 2019 г. сотрудниками Гидрохимического института Росгидромета, минерализация воды этого правобережного притока на разных участках достигала от 2168 до 5152 мг/л. При этом проводились исследования химического состава донской воды, которые показали, что выше впадения р. Темерник минерализация находилась на уровне 804 мг/л, ниже ее впадения – 1130 мг/л [57]. Это свидетельствует о том, что р. Темерник потенциально может оказывать воздействие на изменение гидрохимического состава воды р. Дон на участке впадения.

В пределах города расположено несколько выпусков сточных вод, расположенных относительно равномерно на всем его протяжении. Объем сброса сточных вод города многократно превышает суммарный показатель сброса остальных крупных городов бассейна Нижнего Дона. В таблице 7 представлена информация об объеме сброса загрязняющих веществ в 34 км от устья р. Дон (городской водоканал).

Таблица 7 – Объем сброса загрязняющих веществ со сточными водами водоканала г. Ростов-на-Дону в 2009 г. [92, 131].

Вещество	Масса сброса, тыс. т
Сухой остаток	108
Сульфаты	26,7
Хлориды	19,5
Кальций	9,00
Магний	4,19

Ниже по течению р. Дон отделяется рукав Мертвый Донец, впадающий в Таганрогский залив Азовского моря. Для рукава характерно отсутствие какой-либо определенной направленности течения (скорость течения составляет порядка 3 см/с [13]). Однако в период нагонных явлений при условии установления северо-западного ветра, его сток может быть направлен в р. Дон, т.е. рукав периодически может выступать в качестве условного притока [67]. Как и в сложившейся ситуации с р. Темерник, данный рукав расположен в условиях относительно высокой плотности населения и в зоне влияния различных производственных предприятий, поэтому может влиять на изменение химического состава воды р. Дон.

Таким образом, обобщив информацию о точечных источниках поступления растворенных веществ можно предположить, что в наибольшей степени гидролого-гидрохимический режим нижнего течения р. Дон будет

зависеть от доли стока растворенных веществ из Цимлянского водохранилища и правобережного притока р. Северский Донец.

Диффузные источники

Диффузные (площадные) источники, напротив, рассредоточены на обширных территориях и не поддаются точной локальной идентификации. Потоки поступления загрязняющих веществ из таких источников можно проследить лишь в общих чертах, как правило, на основе косвенных данных [31]. К диффузным источникам воздействия следует отнести следующие виды освоённости водосбора [59, 81]:

- сельскохозяйственные угодья;
- атмосферные осадки;
- обширные участки добычи полезных ископаемых;
- склоновый сток с городских территорий;
- объекты накопленного экологического вреда и другие.

Рассмотрим подробнее наличие и специфику перечисленных источников рассредоточенного поступления веществ в речную сеть бассейна Нижнего Дона.

Сельскохозяйственные ландшафты по данным [147] занимают более 80 % площади Ростовской области в их числе пашни и пастбища – 58,3 и 25,4 % соответственно, что свидетельствует о кардинальной преобразованности поверхностного водосбора, которая может приводить к увеличению доли эродированных земель. По оценкам [10] доля дефлированных почв составляет более 70 %, смытых и агроистощенных – более 30 %. Интенсивный уровень развития растениеводства в регионе требует внесения питательных веществ в пахотный слой почвы для поддержания и запланированного повышения плодородия воспроизводимых сельскохозяйственных культур. В почвенный покров региона в рамках рассматриваемого периода вносилось в среднем 350 тыс. тонн органических и 155 тыс. тонн минеральных удобрений в год. При

этом доля минеральных удобрений в последние десятилетия заметно увеличивалась [40] (рисунок 20).

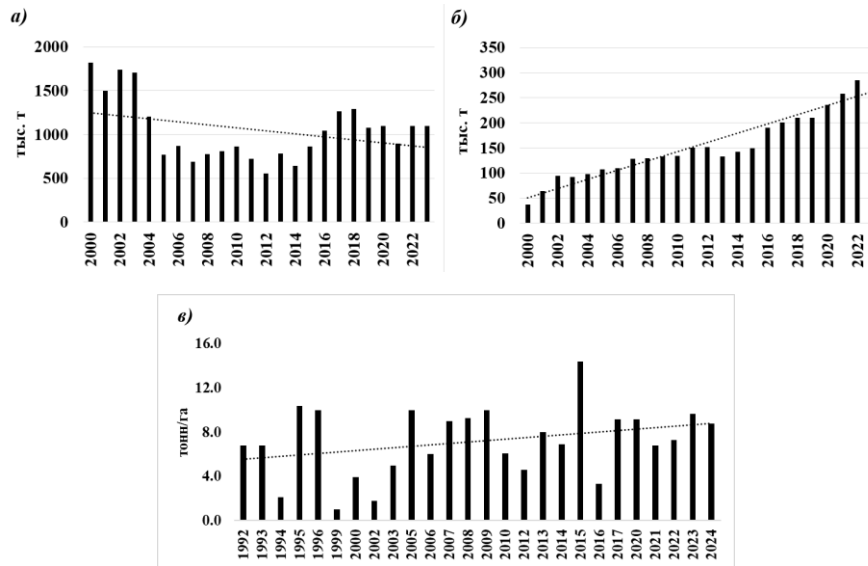


Рисунок 20 – Количество внесенных удобрений в Ростовской области: органических (а), минеральных (б), фосфогипса и других гипсосодержащих пород (в) (составлено по [40])

В целях обеспечения нужд сельского хозяйства – в частности растениеводства и рыбоводства – во второй половине XX века были созданы водохранилища и крупнейшие обводнительно-оросительные системы, которые наиболее широко представлены в левобережной части бассейна (рисунок 21). На Нижнем Дону расположено около 85% орошаемого массива от общей площади всего бассейна р. Дон. Относительно других субъектов РФ, расположенных в бассейне Дона, подавляющая доля сбросов оросительных сточных вод приходится на Ростовскую область (рисунок 22). В среднем за год в бассейн Нижнего Дона сбрасывается порядка 0,1 км³ сточных вод [137]. Выпуск вод производится преимущественно в весенне-летний период и в значительной степени зависит от выраженности половодья и особенностей выпадения атмосферных осадков [67]. Информация о наиболее крупных оросительных каналах представлена в Приложении 1 (таблица 1).

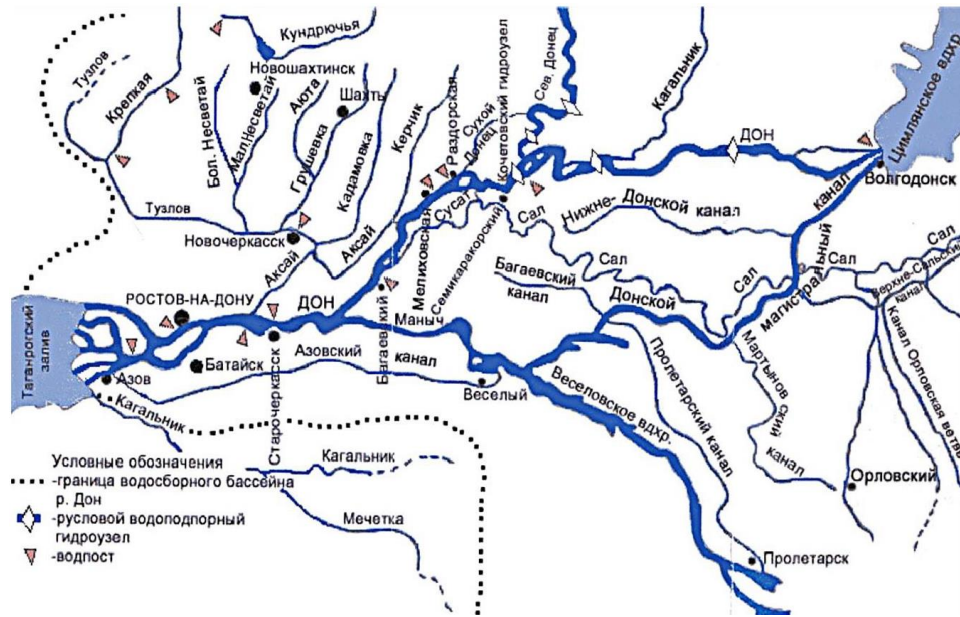


Рисунок 21 – Карта-схема естественной гидрографической сети и ирригационных систем в нижнем течении р. Дон [29]

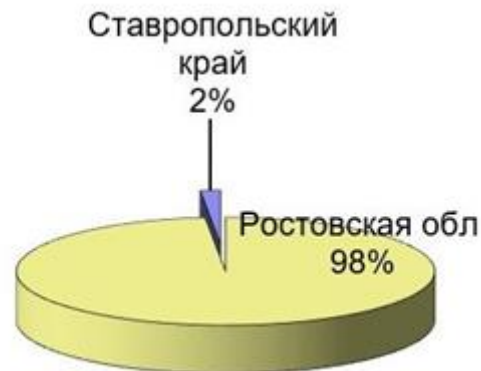
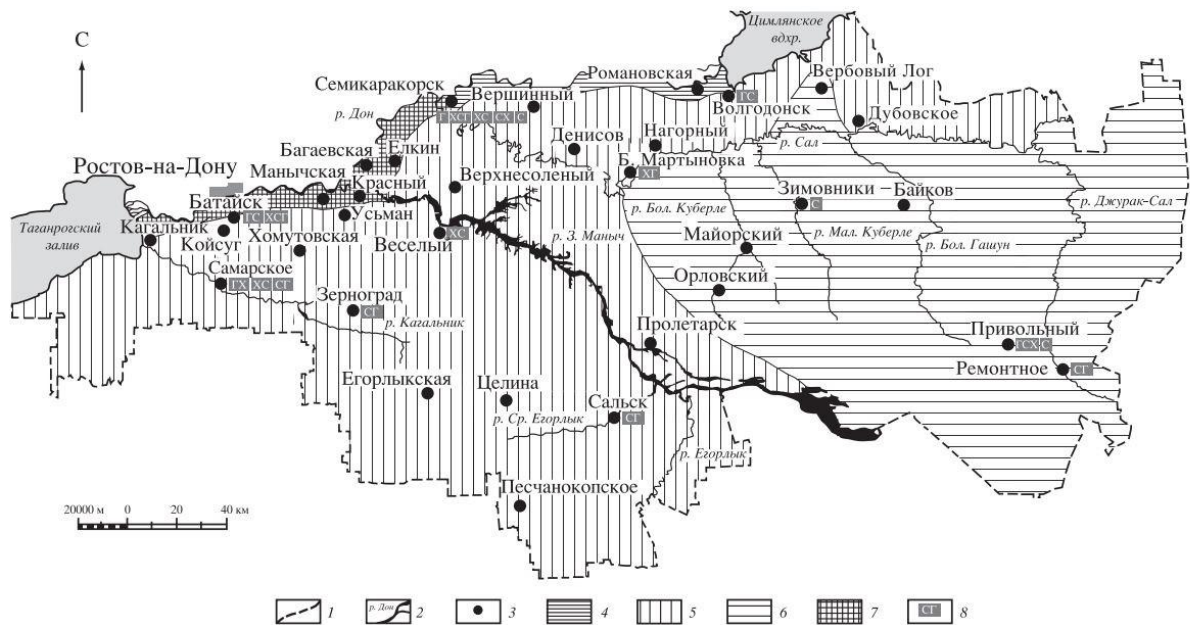


Рисунок 22 – Доля регионов РФ в сбросе сточных оросительных вод в бассейне Нижнего Дона [137]

Механизм деградации почвенного покрова в засушливых условиях в результате функционирования обводнительно-оросительных систем изучен достаточно подробно. Прежде всего, мелиорация на обширных площадях приводит к нарушению водно-солевого баланса естественного 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 [14, 27, 104]. На рисунке 23 представлена карта-схема об ионном составе высокоминерализованных грунтовых вод на левом берегу р. Дон.



Гидрохимическая зональность грунтовых вод юга Ростовской области: 1 – административная граница области; 2 – водные объекты; 3 – ключевые участки; 4 – зона гидрокарбонатно-сульфатного или сульфатно-гидрокарбонатного типа грунтовых вод; 5 – зона сульфатного типа грунтовых вод; 6 – зона хлоридно-сульфатного или сульфатно-хлоридного типа грунтовых вод; 7 – зона смешанного типа грунтовых вод; 8 – присутствие нехарактерных по химическому составу грунтовых вод: СГ – сульфатно-гидрокарбонатные; Г – гидрокарбонатные; ХСГ – хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатные; ХС – хлоридно-сульфатные; СХ – сульфатно-хлоридные; С – сульфатные; ГХ – гидрокарбонатно-хлоридные; ГС – гидрокарбонатно-сульфатные; ГСХ – гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные воды разного катионного состава

Рисунок 23 – Ионный состав грунтовых вод левобережной части бассейна Нижнего Дона [85]

Авторы проведенных исследований отмечали, что уровень грунтовых вод на данной территории изменялся в достаточно широком диапазоне от 0,1 до 3,0 м, а площадь фактического подтопления в некоторые периоды могла превышать 250 км² [49]. Исследователями Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А. К. Кортунова был также детально изучен химический состав грунтовых вод, отобранных в непосредственной близости к каналам распределения оросительных вод в р. Дон. По их данным, минерализация воды из скважин превышала 2000 мг/л. При этом содержание сульфатов составляло более 1000 мг/л, гидрокарбонатов – более 600 мг/л, натрия и калия (по сумме) – более 250 мг/л [39]. В ранее проведенных нами

исследованиях отмечалось негативное воздействие оросительных каналов на состав воды р. Сал: «Острой экологической проблемой является интенсивное изъятие грунтовых вод на водосборной площади. Это также влияет на водность реки, так как в естественном состоянии (без изъятия вод) подземные воды находятся выше уровня воды в реке в меженный период, т. е. подземные источники могут компенсировать маловодье в наиболее напряженный засушливый период. Стоит отметить, что антропогенное воздействие проявляется не только в уменьшении объема стока, но и в его увеличении в летний период. Это связано с тем, что реку Сал пересекает Донской магистральный канал, по которому происходит переброска стока реки Дон в весенний и летний периоды. Как правило, остатки воды сбрасываются в реку Сал и ее крупные притоки. Переброска стока практически не улучшает проблему маловодья, так как ее недостаточно, и она происходит в течение кратковременного периода» [128, с. 250].

Повышение уровня высокоминерализованных грунтовых вод приводит к засолению почвенного покрова вплоть до его поверхностных горизонтов. В результате выпадения атмосферных осадков или снеготаяния на склонах, происходит вымывание образовавшихся легкорастворимых солей в водные объекты в процессе водной эрозии. Это может приводить к значительному увеличению минерализации воды. Несмотря на все предпринимаемые меры борьбы с эрозией почв Ростовской области, данный процесс практически не поддается контролю [9].

Стоит отметить, что фактический физический износ мелиоративных систем, производящих сброс сточных вод в р. Дон, иногда достигает 90 % [52]. Основные причины потери воды при транспортировке – испарение, фильтрация и поддержка рабочих горизонтов [92, 151]. Более подробная информация о функционировании действующих обводнительно-оросительных систем представлена в Приложении 1 (таблица 1). Другим немаловажным фактором сельского хозяйства, оказывающим влияние на антропогенную нарушенность водосбора, является пастбищное

животноводство. Четверть территории Ростовской области занята пастбищами, зачастую приуроченными к водным объектам, используемым в качестве водопоя. Распространение пастбищ приводит к деградации естественной степной растительности. В результате этого нарушается устойчивость почвенного покрова к водной и ветровой эрозии.

Как и левобережная часть бассейна Нижнего Дона, его правобережная территория характеризуется наличием диффузных источников поступления загрязняющих веществ в бассейны рек. Крупные мелиоративные системы здесь отсутствуют, но при этом может происходить поступление высокоминерализованных вод через овражно-балочную сеть в результате поверхностного склонового стока в периоды снеготаяния или интенсивного выпадения атмосферных осадков.

В контексте настоящего исследования отдельного внимания заслуживает ионный состав непосредственно самих атмосферных осадков. Формирование химического состава атмосферных осадков представляет собой сложный процесс и происходит под влиянием морских акваторий, почвенно-геологических условий, антропогенных факторов и многих других. Одним из основных источников минеральной части химического состава атмосферных осадков являются аэрозоли – пылевые минеральные частицы, природа которых весьма разнообразна как по происхождению, так и по составу. В особой степени атмосфера снабжается растворимыми аэрозолями от солончаков и солонцовых почв, в которых присутствуют хлоридные и сульфатные соли. Эти вещества способны поступать в атмосферу и переноситься на большие расстояния, возвращаясь с дождем на поверхность земли [90].

Важно отметить, что в одном и том же пункте наблюдений минерализация и особенности ионного состава атмосферных осадков могут значительно изменяться за короткий промежуток времени в зависимости от ветровой активности, суммы выпадения осадков, пылевой нагрузки и других факторов. В связи с этим целесообразно рассматривать многолетние данные [61, 90].

В таблице 8 представлена информация о химическом составе атмосферных осадков по данным метеопоста, расположенного в г. Цимлянск.

Таблица 8 – Концентрация и суммарное выпадение растворенных веществ и сухого остатка в составе атмосферных осадков по данным метеопоста в г. Цимлянск (среднее за 2011-2020 гг.) (составлено по [102, 132])

Вещество	Концентрация, мг/л	Суммарное выпадение, т/км² в год
Сульфаты	3,15	1,34
Хлориды	1,78	0,64
Гидрокарбонаты	1,93	0,73
Натрий	1,24	0,43
Калий	0,41	0,17
Кальций	1,51	0,59
Магний	0,35	0,14
Сухой остаток	14,0	–

Как видно из таблицы, среди анионов в составе осадков преобладали сульфаты, среди катионов – кальций. Стоит отметить, что в отдельные годы в катионном составе осадков отмечалось преобладание натрия. Данные по суммарному выпадению этих веществ также свидетельствуют об их преобладании. Минерализация осадков в 2011-2020 гг. составляла в среднем 14,0 мг/л. В то же время по данным пункта гидрохимических наблюдений, расположенного в г. Волгодонск и находящегося в непосредственной близости от г. Цимлянск, минерализация донской воды составляла в среднем 487 мг/л за этот же период. Содержание сульфатов в донской воде составляло в среднем 116 мг/л, в атмосферных осадках – 3,15 мг/л. Это говорит о том, что минерализация осадков и содержание сульфатов составляют около 3 % от значения минерализации и содержания сульфатов в воде р. Дон.

Несмотря на значительные отличия содержания главных ионов в атмосферных осадках и поверхностных водах, стоит отметить, что преобладание в их ионном составе сульфатов и хлоридов согласуется с преобладанием этих веществ во многих водных объектах бассейна Нижнего Дона. Также сульфатный и хлоридный тип засоления почв весьма часто встречается на территории Ростовской области. Это дает основание предположить распространенность процесса активного переноса главных ионов между атмосферной, почвенной и водной средами.

Диффузный сток загрязняющих веществ с урбанизированных участков представлен Ростовской агломерацией, к которой относятся города Аксай, Ростов-на-Дону, Батайск и Азов. Суммарная площадь территории этих городов превышает 500 км². Преобладание твердого покрытия водосбора в пределах города создает условия поступления загрязняющих взвешенных и растворенных веществ в реку с поверхностным склоновым стоком [130]. Рельеф местности способствует формированию миграционных потоков (рисунок 24).

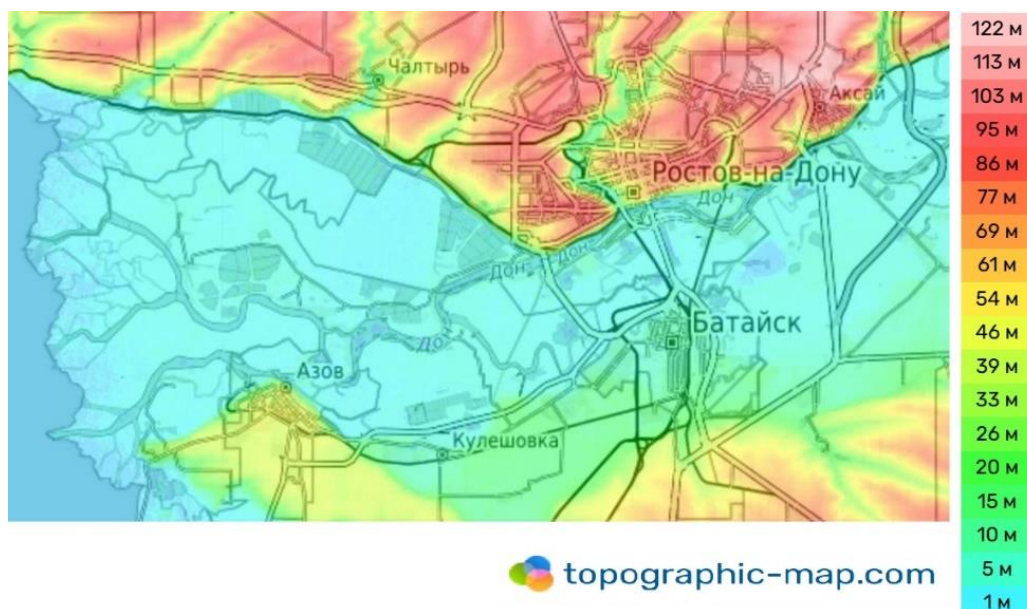


Рисунок 24 – Карта высот над уровнем моря в приустьевом участке р. Дон
(составлено по [139])

Выводы

Результаты идентификации источников антропогенного воздействия как фактора влияющего на гидролого-гидрохимический режим нижнего течения р. Дон позволили сделать следующие обобщения.

Среди локализованных источников поступления главных ионов в нижнее течение р. Дон следует выделить сброс вод с Цимлянского водохранилища и их поступление со стоком р. Северский Донец. Влияние других локализованных источников на состав воды р. Дон потенциально незначительно, что объясняется как малым объемом водного стока, так и эпизодическим характером поступления вод в р. Дон из этих источников.

Диффузные источники поступления главных ионов в нижнее течение р. Дон выражены в нарушенности почвенного покрова территории водосбора в результате интенсивной сельскохозяйственной деятельности в засушливых климатических условиях. В дополнении к этому весомым фактором антропогенной трансформации ионного состава вод являются последствия угледобывающей промышленности в правобережной части бассейна Нижнего Дона.

Таким образом, учитывая специфику факторов антропогенного воздействия в наблюдаемых климатических условиях, можно сделать вывод о потенциальной интенсификации процессов трансформации ионного состава речной воды в последние десятилетия под действием антропогенных факторов.

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

В предыдущих разделах, посвященных природно-климатическим условиям и антропогенному воздействию, было выдвинуто предположение, что обсуждаемые факторы потенциально могут оказывать воздействие на формирование неоднородности химического состава воды нижнего течения р. Дон и определять особенности ее распределения в современный период.

Было установлено, что наблюдалась тенденция сокращения годовой суммы атмосферных осадков, увеличение температуры воздуха и как следствие трансформация гидрологического режима рек (возрастание доли водного стока в холодный период и его сокращение в теплый период). Происходило увеличение испаряемости и продолжительности засушливого периода. На фоне наблюдаемых изменений роль антропогенных факторов, выраженная по большей части в сбросе сточных вод, также может изменяться.

Для проверки выдвинутых предположений в настоящем разделе рассмотрена пространственная и временная изменчивость минерализации воды нижнего течения р. Дон.

3.1 Хронологическая изменчивость

Содержание и количественное соотношение главных ионов в природных водах изменяется в зависимости от физико-географических условий и, как правило, характера антропогенного воздействия [4]. Сумма главных ионов в контексте рассмотрения химического состава речных вод соответствует минерализации воды и представляет собой суммарную массовую концентрацию анионов (SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-) и катионов (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}). Для оценки пространственной неоднородности содержания суммы главных

ионов в нижнем течении р. Дон целесообразно рассматривать изменчивость их содержания в воде вниз по течению реки.

В исследованиях, аналогичных этому, пространственная изменчивость химического состава воды оценивается, как правило, по фоновому пункту наблюдений. В данном случае его выбор затруднен тем, что на всем протяжении нижнего течения р. Дон ниже Цимлянского водохранилища наблюдается наличие факторов антропогенного воздействия (выпуски сточных вод мелиоративных систем и сбросы сточных вод городских водоканалов). Изучение современного химического состава донской воды в сравнении с водой водохранилища не будет являться целесообразным, поскольку вода водохранилищ имеет отличные физико-химические параметры, характерные для искусственно созданных водных объектов [1]. Тем не менее, формирование водного стока и химического состава воды происходит преимущественно за счет поступления воды с вышерасположенной территории бассейна Дона. На рисунке 25 представлена доля объема сброса воды нижнего бьефа Цимлянского водохранилища в расходе воды в ст-це Раздорской, где расположен замыкающий гидрост.

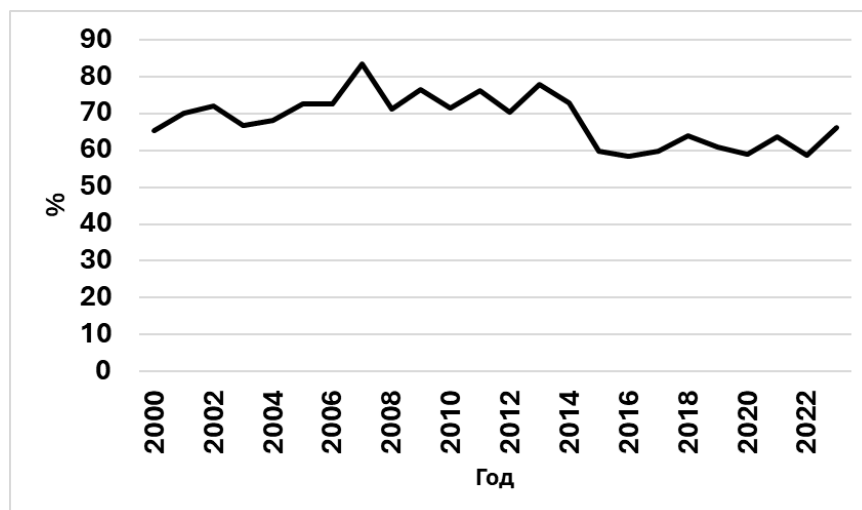


Рисунок 25 – Доля расхода воды в нижнем бьефе Цимлянского водохранилища в расходе в ст-це Раздорской, % (составлено по [2])

Как видно из выше представленного графика, расход воды в ст-це Раздорской во многом определяется объемом сброса вод на нижнем бьефе Цимлянского водохранилища (в среднем на 69 %). Это подкрепляет утверждение о том, что вышерасположенная территория бассейна Дона оказывает влияние на формирование гидролого-гидрохимических условий бассейна Нижнего Дона.

Рассмотрение Цимлянского водохранилища и вышерасположенного участка р. Дон не входило в задачи настоящего исследования, однако дать общую характеристику временной изменчивости химического состава их вод необходимо для того, чтобы ограничить исследуемый участок бассейна Нижнего Дона от других факторов, присущих другим территориям, которые выходят за рамки настоящего исследования. Так, по данным пункта наблюдений г. Калач-на-Дону (501 км) увеличения минерализации воды не отмечалось ($p > 0,05$), но в то же время в г. Волгодонск, напротив, был отмечен положительный тренд – 57,1 мг/л в десятилетие (рисунок 26).

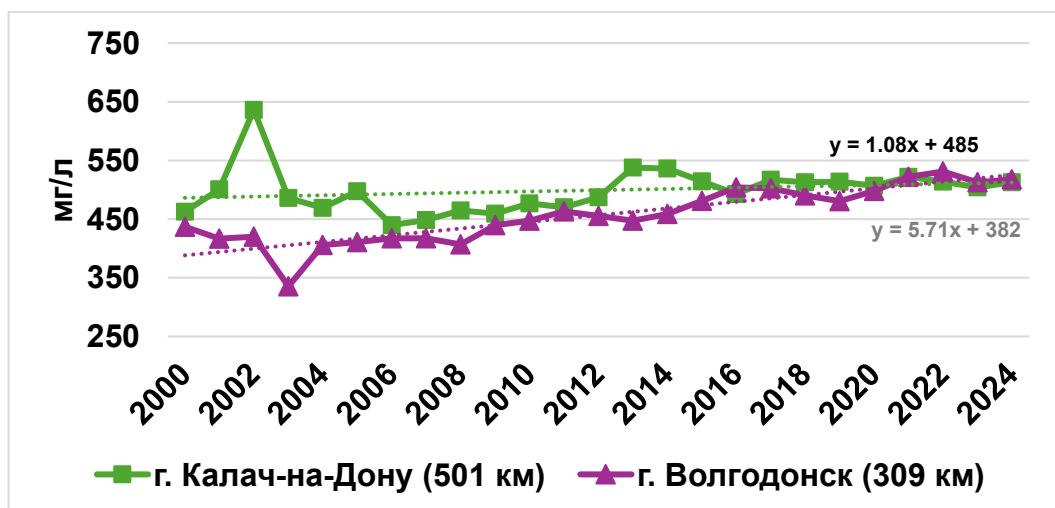


Рисунок 26 – Минерализация воды р. Дон по данным пунктов г. Калач-на-Дону и г. Волгодонск

Это говорит о том, что на акваторию, расположенную ниже Цимлянского водохранилища, поступал приток воды, минерализация которой увеличивалась во временном разрезе.

В таблице 9 представлена информация об изменчивости минерализации воды в нижнем течении р. Дон. Статистически значимый тренд увеличения содержания в воде главных ионов (по сумме) наблюдался по данным всех пунктов наблюдений. Для всего рассматриваемого участка р. Дон увеличение показателя минерализации составляло в среднем 117 мг/л в десятилетие (14 % в десятилетие от среднемноголетнего значения). Наибольшие значения скорости изменения среднегодовой концентрации (205 мг/л в десятилетие – 30 % в десятилетие) были характерны для пункта наблюдений г. Константиновск, наименьшие – для пунктов наблюдений, расположенных в г. Ростов-на-Дону и ниже него – в дельтовом участке (52,0-74,6 мг/л в десятилетие – 6,1-9,0 % в десятилетие). Это свидетельствует о снижении скорости изменения минерализации воды вниз по течению реки во временном разрезе и позволяет выделить два характерных участка по интенсивности хронологического изменения минерализации воды: участок 1 (от г. Константиновск до ст-цы Багаевской) и участок 2 (от г. Ростов-на-Дону до г. Азов и х. Дугино).

Таблица 9 – Среднемноголетняя минерализация воды в р. Дон ($C \pm \sigma$) и скорость ее среднегодового изменения за период 2000-2024 гг.

на рис. 1	Пункт (створ) (км от устья)	$C \pm \sigma^1$ мин.-макс., мг/л	Скорость изменения, мг/л в десятилетие ²
1	г. Константиновск (203)	677 ± 187 380-1130	205
2а	г. Семикаракорск, выше города (178)	776 ± 191 390-1090	175
2б	г. Семикаракорск, ниже города (165)	830 ± 193 425-1181	184
3	ст-ца Раздорская (151)	837 ± 208 396-1238	163
4а	ст-ца Багаевская, выше ст-цы (117)	810 ± 195 418-1139	167
4б	ст-ца Багаевская, ниже ст-цы (97)	877 ± 212 420-1267	189

на рис. 1	Пункт (створ) (км от устья)	$\underline{C \pm \sigma^1}$ мин.-макс., мг/л	Скорость изменения, мг/л в десятилетие ²
5а	г. Ростов-на-Дону, выше города (62)	$\underline{871 \pm 66,9}$ 771-985	60,0
5б	г. Ростов-на-Дону, в черте (52)	$\underline{870 \pm 75,1}$ 720-1023	61,8
5в	г. Ростов-на-Дону, ниже города (34)	$\underline{859 \pm 72,1}$ 748-997	52,0
6	х. Колузаево (32)	$\underline{877 \pm 71,7}$ 779-1012	59,8
7	х. Дугино (21)	$\underline{868 \pm 86,5}$ 707-1032	74,6
8а	г. Азов, выше города (18)	$\underline{872 \pm 71,6}$ 753-1027	68,9
8б	г. Азов, ниже города (15)	$\underline{863 \pm 72,9}$ 722-983	59,8
Примечания. ¹ Представлены среднегодовое значения \pm стандартное отклонение (σ). ² Показаны только статистически значимые изменения: $p < 0,05$.			

В целом же в пространственном отношении в рамках всего рассматриваемого временного периода среднегодовые значения минерализации воды статистически значимо увеличивались от г. Константиновск до г. Азов в среднем на 27 %. Обращает на себя внимание значительный разброс среднегодовых значений на данном отрезке, который, напротив, в меньшей степени характерен для нижерасположенных участков. Подтверждением тому может являться анализ полученных результатов по классификации О.А. Алекина, согласно которой речные воды можно разделить по признаку минерализации на 4 группы: малая минерализация (до 200 мг/л); средняя минерализация (200–500 мг/л); повышенная минерализация (500–1000 мг/л); сильная минерализация (свыше 1000 мг/л) [4].

Так, в пунктах наблюдений г. Константиновск, г. Семикаракорск, ст-ца Раздорская и ст-ца Багаевская, среднегодовое значение показателя уровня минерализации вод говорит об ее изменчивости от «средней» до «сильной». В то же время вода других нижерасположенных по течению реки пунктов

наблюдений характеризуются «повышенной» и «сильной» минерализацией. В таблице 10 представлена повторяемость лет по признаку минерализации вод за период 2000-2024 гг.

Таблица 10 – Повторяемость лет (в %) по признаку минерализации воды согласно классификации О.А. Алекина [4]

Пункт (расстояние от устья)	Признак минерализации			
	Малая	Средняя	Повышенная	Сильная
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

Исходя из таблицы можно сделать вывод о том, что на всех рассматриваемых участках р. Дон значительно преобладали воды повышенной минерализации. Также обращает на себя внимание тот факт, что воды сильной минерализации чаще отмечались на участке от г. Семикаракорск до ст-цы Багаевской и лишь иногда на других участках.

Ниже на рисунке 27 представлены графики, более детально отражающие временную изменчивость минерализации воды нижнего течения р. Дон. По результатам отображения данных можно сделать вывод, что от г. Константиновск до ст-цы Багаевской наблюдалось резкое возрастание минерализации воды с 2013 г. В г. Ростов-на-Дону (62 км) суммарное содержание в воде главных ионов было наиболее стабильным – среднегодовые значения минерализации изменялись от 771 до 985 мг/л, в то время как для других пунктов наблюдений разброс значений был более выражен.

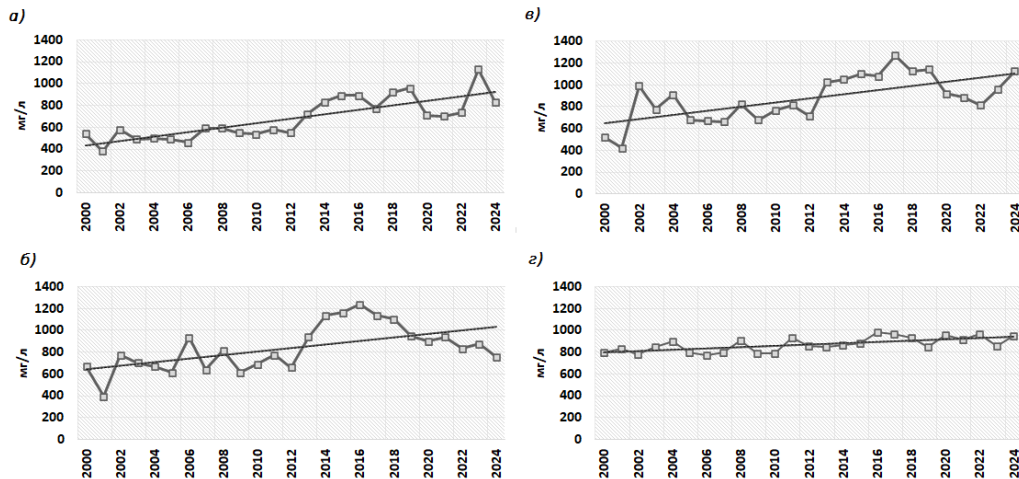


Рисунок 27 – Среднегодовая минерализация воды по данным пунктов г. Константиновск (а), ст-ца Раздорская (б), ст-ца Багаевская (в), г. Ростов-на-Дону (г)

Несмотря на наличие таких крупных притоков как рр. Северский Донец, Сал и Маныч, роль которых будет рассмотрена далее, минерализация воды в г. Семикаракорск, ст-це Раздорской и ст-це Багаевской в значительной степени определялась данным показателем в пункте наблюдений в г. Константиновск. Обращает на себя внимание сокращение среднегодовой минерализации в пункте наблюдений, расположенном выше ст-цы Багаевской, начавшиеся с 2016 г. Оно может свидетельствовать об ослаблении роли влияния притоков на минерализацию воды. В пункте наблюдений, расположенном в пределах г. Ростов-на-Дону, минерализация воды находилась на относительно стабильном уровне. Данный участок важен с точки зрения потенциального влияния Багаевского гидроузла, запуск которого запланирован на 2025-2026 гг. Согласно экспертным прогнозным оценкам, начало работы этого гидротехнического сооружения может привести подъему уровня грунтовых вод в пределах прилегающей к нему вышерасположенной территории. [73]. Процесс увеличения уровня залегания грунтовых вод на территории водосборов в связи с гидротехническим строительством достаточно хорошо изучен зарубежными исследователями, что подтверждается обзорными работами, посвященными данной тематике [152].

Как было показано выше в разделе «2.1 Природные условия» настоящей работы, грунтовые воды имеют достаточно высокий уровень минерализации вдоль нижнего течения р. Дон и залегают на относительно небольшой глубине (рис. 4). В связи с этим можно предположить, что после запуска Багаевского гидроузла их роль в питании р. Дон на данном участке возрастет, что приведет к увеличению минерализации воды. На данный момент информация, представленная выше на рисунке 27 (б), свидетельствует о снижении минерализации в пункте наблюдений, расположенном выше ст-цы Багаевской. Если прогнозные оценки верны, после ввода гидроузла в эксплуатацию отмеченный тренд может измениться в сторону увеличения или стабилизации показателя минерализации воды. Важно отметить, что в нескольких километрах выше Багаевского гидроузла в р. Дон впадает р. Маныч, минерализация воды которой значительно превышает данный показатель в донской воде. Водный сток р. Маныч зарегулирован Усть-Манычским гидроузлом. В связи с этим минерализация воды на данном участке будет также определяться функционированием данного сооружения.

Как правило во многих аналогичных исследованиях оценка изменения химического состава воды проводилась на основе соотнесения осредненных данных многолетних периодов, т.е. весь период наблюдений разделялся на равные временные отрезки, чтобы проследить происходящие изменения в более широком масштабе (пятилетия, десятилетия и пр.) [101, 103, 144]. В контексте данного исследования также был применен аналогичный подход. По итогу такого сравнительного анализа, представленного ниже на рисунках 28 и 29, было выделено два характерных участка.

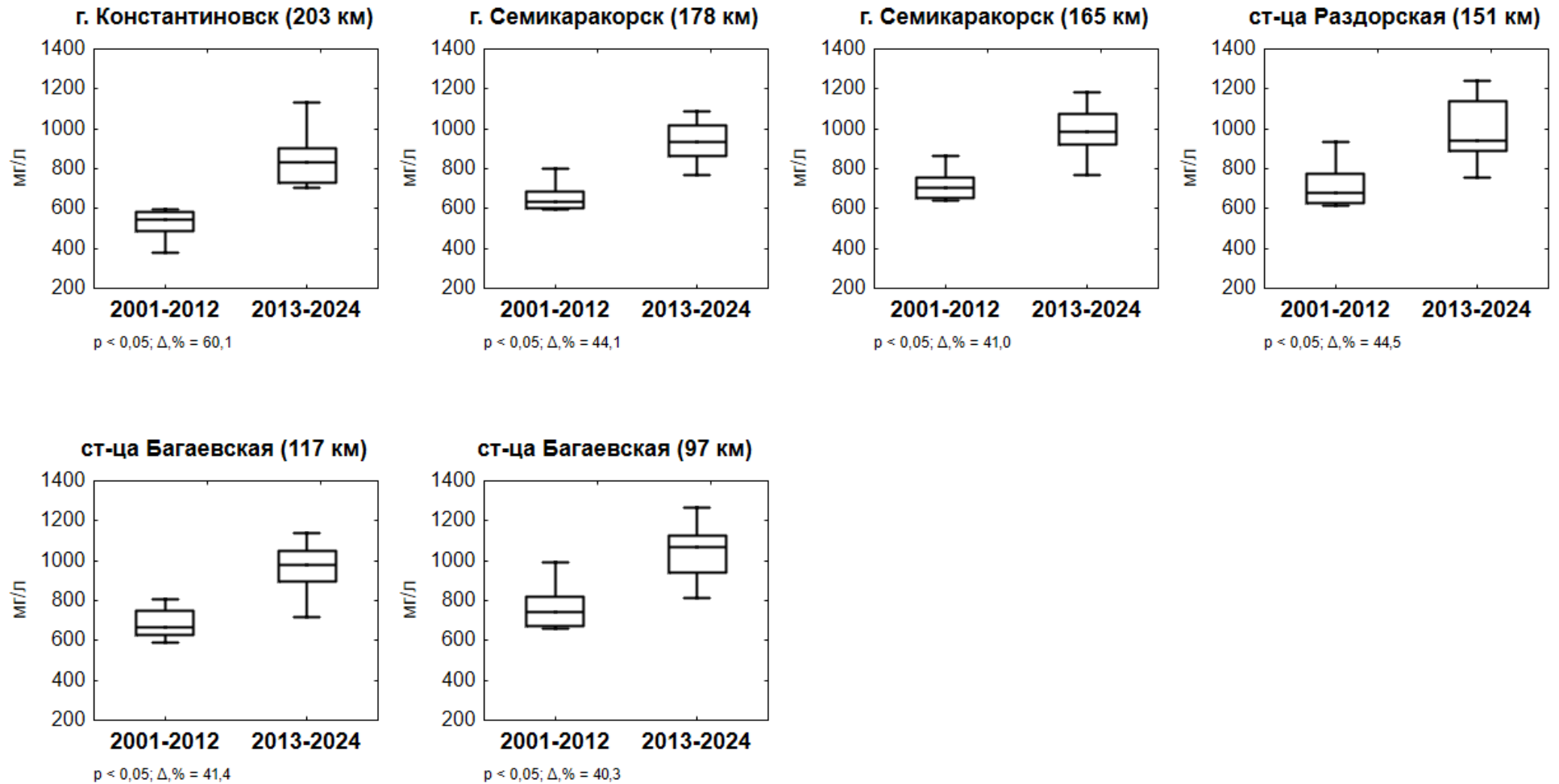


Рисунок 28 – Диаграммы размаха среднегодовых значений минерализации воды на участке 1 за периоды 2001-2012 и 2013-2024 гг. с указанием Δ (%) относительно исходного периода

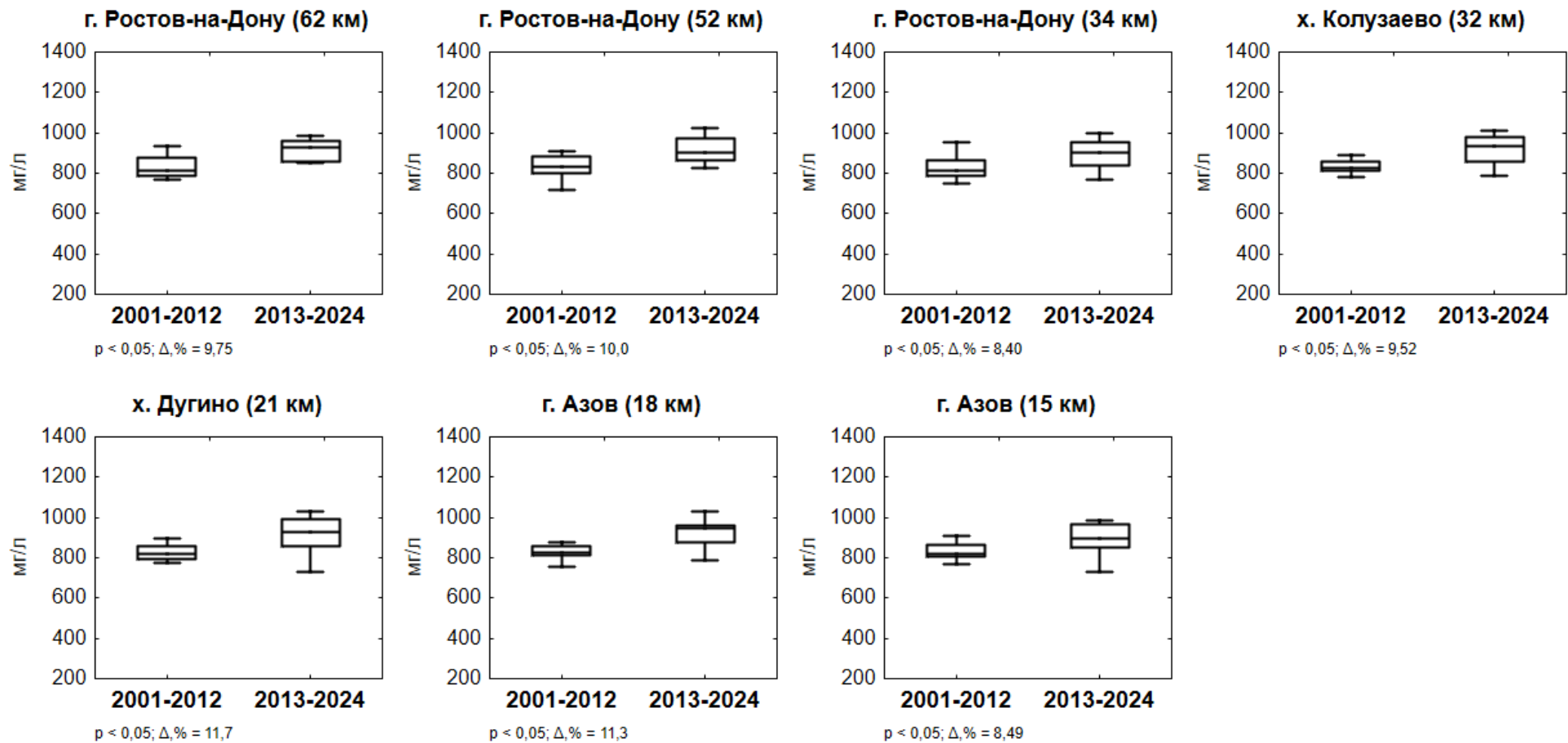


Рисунок 29 – Диаграммы размаха среднегодовых значений минерализации воды на участке 2 за периоды 2001-2012 и 2013-2024 гг. с указанием Δ (%) относительно исходного периода

При сравнении двух периодов отмечался статистически значимый рост среднегодовых концентраций на всех рассматриваемых участках р. Дон. В среднем минерализация воды увеличилась на 23 %, при этом в наибольшей степени в г. Константиновске (на 60 %), в наименьшей – в г. Ростове-на-Дону и ниже (на 9-12 %). Наблюдаемая закономерность является свидетельством значительного увеличения минерализации вод, поступающих в нижнее течение рассматриваемого участка р. Дон, поскольку в г. Константиновск отмечался максимальный хронологический рост содержания суммы главных ионов. Кроме того, стоит уделить внимание тому, что вариабельность значений минерализации в периоде 2001-2012 гг. была менее выражена относительно периода 2013-2024 гг. Это может говорить о том, что в первом периоде воздействие факторов, оказывающих влияние на изменчивость минерализации воды, прослеживалось в меньшей степени.

3.2 Пространственная изменчивость

При рассмотрении пространственной неоднородности минерализации воды следует отметить, что в рамках первого временного периода (2001-2012 гг.) содержание в воде суммы главных ионов было на 23-60 % больше, чем по данным пункта наблюдений г. Константиновск. Во втором периоде данный показатель был значительно ниже (от 6 до 24 %). Это свидетельствует о том, что в рамках периода 2001-2012 гг. пространственное изменение минерализации воды было более выраженным, чем в 2013-2024 гг.

Выявленная неоднородность концентрации главных ионов (по сумме) в воде р. Дон ставит вопрос об установлении факторов, вызывающих наблюдаемые явления. В этой связи стоит уделить внимание основным источникам, вызывающим пространственную неоднородность состава воды. В первую очередь к ним относятся притоки первого порядка.

Самый крупный из них – р. Северский Донец – впадает в р. Дон на 185 км от устья с правого берега между пунктами гидрохимических наблюдений

г. Константиновск (203 км) и г. Семикаракорск (178 км), что позволяет оценить влияние притока на минерализацию донской воды на данном локализованном отрезке.

Выше было показано, что доля сброса Цимлянского водохранилища в расходе в ст-це Раздорской составляла в среднем 69 %. Река Северский Донец впадает в р. Дон на участке от водохранилища до ст-цы Раздорской. На рисунке 30 представлен график, характеризующий долю расхода воды р. Северский Донец в расходе воды в ст-це Раздорской.

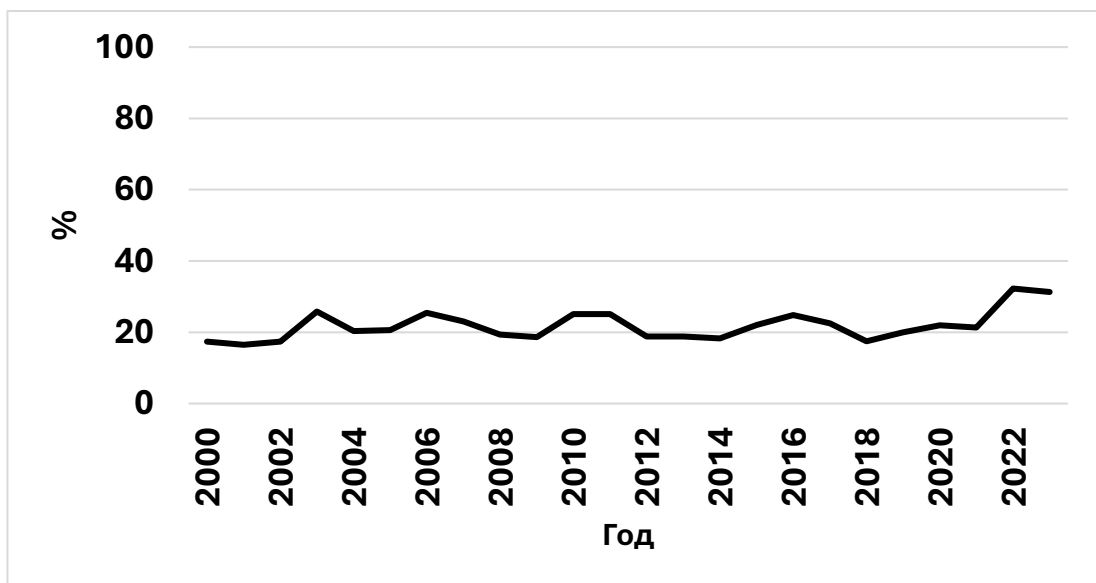


Рисунок 30 – Доля расхода воды р. Северский Донец (г. Белая Калитва) в расходе в ст-це Раздорской, % (составлено по [2])

За рассматриваемый временной период сток р. Северский Донец составлял в среднем 22 % от водного стока р. Дон. В 2022-2023 гг. этот показатель достигал наибольших значений (31-32 %). Стоит учесть, что данная оценка является несколько заниженной, поскольку ниже гидропоста в г. Белая Калитва в р. Северский Донец впадают несколько притоков. Однако даже полученного результата достаточно для утверждения о том, что этот правобережный приток является важным фактором формирования гидрологических условий нижнего течения р. Дон.

В ранее опубликованной работе [103] для изучения влияния р. Северский Донец на трансформацию солевого состава донской воды был применен сравнительный анализ рядов гидрохимических данных пунктов наблюдений г. Волгодонск и г. Семикаракорск. По результатам проведенного исследования, в 1993-2000 гг. ниже впадения этого притока минерализация воды р. Дон увеличивалась в 1,2 раза. При этом в исследовании отмечалось, что в 1970-е годы влияние р. Северский Донец было значительно выше – минерализация воды после смешения вод увеличивалась в 2 раза.

В настоящее время доступна возможность сравнения вышеописанных выводов с более современным периодом (2000-2024 гг.) по данным пунктов наблюдений г. Константиновск и г. Семикаракорск. Проведен сравнительный анализ, основанный на соотнесении временных рядов гидрохимических данных этих пунктов наблюдений. На рисунке 31 представлен график, характеризующий изменение минерализации воды в р. Дон выше и ниже впадения р. Северский Донец. Согласно полученным данным, ниже впадения данного притока минерализация воды р. Дон увеличивалась в среднем на 20 %, что соизмеримо с результатами раннего исследования для периода 1993-2000 гг. [103].

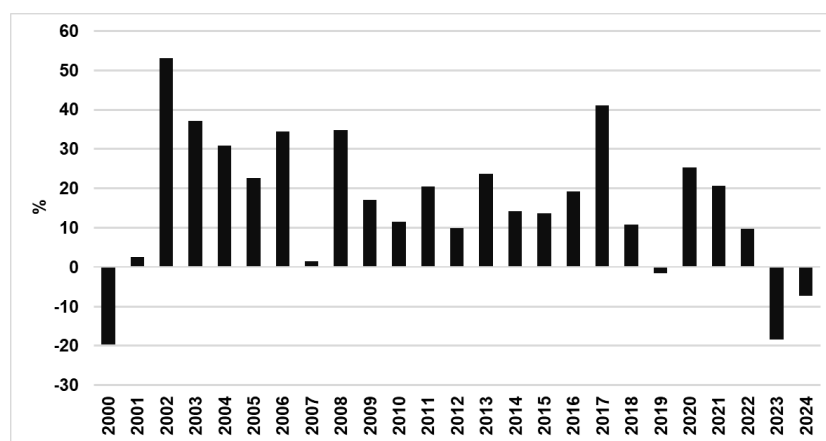


Рисунок 31 – Изменение минерализации воды р. Дон в пункте г. Семикаракорск (178 км) относительно пункта г. Константиновск (203 км)

Наличие необходимых гидрологических и гидрохимических данных позволило рассчитать ионный сток р. Северский Донец в р. Дон (таблица 11).

Таблица 11 – Сток главных ионов (по сумме) с водой р. Северский Донец (г. Белая Калитва)

Период	Сток (среднее), тыс. т/в год
2000-2004	4899
2005-2009	6274
2010-2014	4748
2015-2019	5358
2020-2024	5056

Согласно представленным данным, за рассматриваемый период ионный сток реки составлял в среднем 5286 тыс. в год. В то же время ионный сток р. Дон, рассчитанный по данным пункта наблюдений ст-ца Раздорская, составлял порядка 14500 тыс. т. Это говорит о том, что доля стока главных ионов (по сумме) с водой р. Северский Донец может достигать 1/3 части от их стока в реке Дон.

Как и в случае с расчетом водного стока важно отметить, что полученные данные могут быть несколько занижены так как г. Белая Калитва находится выше некоторых притоков в нижнем течении р. Северский Донец. Кроме того, по данным современных исследований известно, что эти притоки (рр. Быстрая, Кундрючья и др.) характеризуются высоким уровнем минерализации воды относительно р. Северский Донец [48]. Это позволяет сделать предположение, что ионный сток р. Северский Донец в р. Дон был несколько больше представленных выше значений.

В рамках изучаемого периода среднегодовые концентрации вещества в воде притока варьировали в диапазоне 826-1760 мг/л (среднегодовое содержание – 1363 мг/л). Это больше, чем в р. Дон до впадения р. Северский

Донец (г. Константиновск), где среднегодовая концентрация изменялась от 380 до 1130 мг/л, составляя в среднем 677 мг/л.

Причинами таких относительно высоких показателей минерализации воды р. Северский Донец являются как природные, так и антропогенные факторы. По данным [46] минерализация воды в бассейне этой реки в отдельные периоды могла превышать более 2500 мг/л. Авторы данного и аналогичных исследований объясняют такие высокие показатели влиянием техногенно-нарушенных загрязненных шахтных вод Восточного Донбасса, регулярно поступающих в бассейн реки в связи с нарушением уровня их залегания в результате интенсивной угледобычи. Минерализация шахтных вод может превышать более 5000 мг/л. В отдельных случаях наблюдался их выход на поверхность, который вызывал подтопления территорий [21, 134]. В случаях увеличения роли питания поверхностных вод бассейна р. Северский Донец подземными водами может происходить значительное увеличение минерализации воды и соответственно повышенный привнос главных ионов (по сумме) в р. Дон.

От впадения р. Северский Донец до впадения р. Сал какие-либо крупные точечные источники поступления вод в р. Дон отсутствуют. Из известных антропогенных источников можно лишь отдельно выделить Семикаракорский филиал ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» (174 км), который может периодически производить выпуск сточных вод в р. Дон. Оценить подробно его влияние на минерализацию донской воды не представляется возможным, так как сброс вод подобных предприятий происходит, как правило, кратковременно и нерегулярно [122, 125]. Несмотря на это стоит подчеркнуть, что минерализация сточных мелиоративных вод может быть значительно выше, чем в р. Дон. Содержание главных ионов (по сумме) в воде Нижнедонского магистрального мелиоративного канала (вып. 4, Канал Центральный сброс) в отдельные периоды достигало более 2000 мг/л. Отмечается, что такой относительно высокий уровень содержания вещества в воде вызван нарушением уровня высокоминерализованных (до 2500 мг/л)

грунтовых вод в результате функционирования обводнительно-оросительных систем на орошаемых массивах [39, 49].

Следующим притоком, впадающим в р. Дон, является р. Сал, расположенная на расстоянии 165 км от устья р. Дон. В таблице 12 представлена информация, характеризующая объем поступления суммы главных ионов с водой данного притока в р. Дон. В ранее проведенном исследовании отмечалось сокращение водного стока реки в последние годы [122, 127].

Таблица 12 – Сток главных ионов (по сумме) р. Сал (х. Балабинка)

Период	Сток (среднее), тыс. т/в год
2000-2004	587
2005-2009	615
2010-2014	524
2015-2019	336
2020-2024	303

За период 2000-2024 гг. с водой этой реки в р. Дон привносилось в среднем 458 тыс. тонн главных ионов в год. Это примерно в 30 раз меньше, чем транспорт этих веществ в р. Дон через пункт наблюдений в ст-це Раздорской (151 км). Также стоит отметить, что наблюдалось снижение ионного стока р. Сал.

По данным пунктов, расположенных выше и ниже впадения р. Сал можно судить о влиянии этого левобережного притока на ионный состав воды р. Дон.

В этой связи стоит отдельно рассмотреть наиболее актуальные на данный момент характерные особенности состава воды р. Сал. В ранее опубликованных нами результатах исследований среднемноголетний показатель минерализации воды этого притока на устьевом участке в 2001-2007 гг. составлял 1137 мг/л, в 2011-2017 гг. – 1556 мг/л [122]. В то время как в

пункте наблюдений, расположенной на р. Дон выше впадения р. Сал (г. Семикаракорск, 178 км) среднемноголетний показатель минерализации воды был примерно в 2 раза меньше этих значений.

Результаты сравнения среднемноголетних данных о минерализации воды р. Дон по данным пунктов наблюдений г. Семикаракорск (178 км) и ст-ца Раздорская (151 км) указывают на отсутствие статистически значимого влияния р. Сал на минерализацию донской воды (рисунок 32).

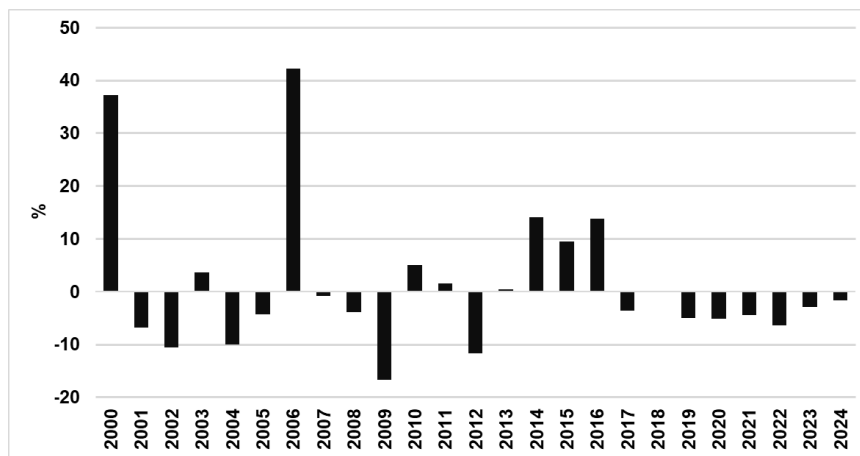


Рисунок 32 – Изменение минерализации воды р. Дон в пункте ст-ца Раздорская (151 км) относительно пункта г. Семикаракорска (178 км), %

Лишь в отдельные годы было отмечено увеличение минерализации ниже впадения притока. Максимальное отличие по суммарному содержанию солей в пунктах наблюдений г. Семикаракорск и ст-ца Раздорская отмечалось в 2000 и 2006 г. – в 1,5 раза. В 2006 г. минерализация воды р. Сал составляла максимальное значение – 2595 мг/л, что с большой степенью вероятности оказало влияние на резкое возрастание концентрации вещества на данном участке р. Дон. В этом же году среднегодовое содержание компонента в воде р. Дон выше впадения притока было в 4,2 раза меньше – 623 мг/л.

Сопоставление полученных результатов с ранее опубликованным исследованием говорит о том, что влияние р. Сал на минерализацию донской

воды в значительной степени снизилось и перестало носить какой-либо статистический значимый характер.

Река Маныч впадает в р. Дон с левого берега на расстоянии 99 км от устья. Согласно опубликованным нами ранее результатам исследований, минерализация воды на устьевом участке р. Маныч в 2001-2007 гг. составляла 1755 мг/л, в 2011-2017 гг. – 1929 мг/л. Стоит отметить, что бассейн р. Маныч в целом характеризуется сильноминерализованной водой. Это объясняется как природно-климатическими особенностями, так и интенсивным развитием на данной территории орошаемого земледелия [37, 55, 70, 119]. Оценить объем поступления растворенных веществ с водой р. Маныч в р. Дон не представляется возможным в связи с отсутствием необходимой гидрологической информации.

Однако оценка влияния данного притока на солевое загрязнение нижнего течения р. Дон может быть проведена при сравнении гидрохимических данных пунктов наблюдений, расположенных выше и ниже ст-цы Багаевская (соответственно 117 и 97 км).

За период с 2000 по 2024 г. минерализация воды на участке между сравниваемыми пунктами наблюдений изменялась неоднозначно, статистически значимой зависимости установлено не было (рисунок 33). Лишь в отдельные годы пространственная неоднородность минерализации воды после впадения притока выражалась в увеличении концентрации более чем на 10 %.

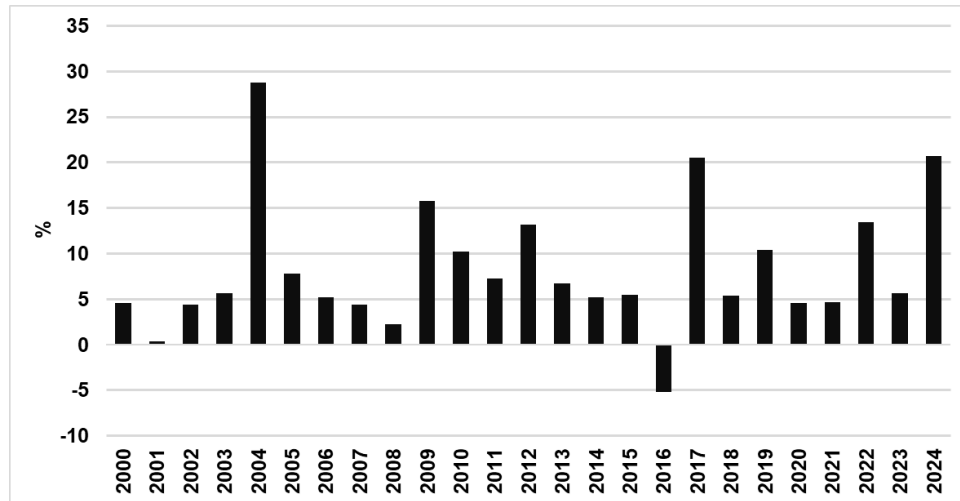


Рисунок 33 – Изменение минерализации воды р. Дон в створе ст-ца Багаевская (97 км) относительно створа ст-ца Багаевская (117 км), %

Стоит отметить, что поступление воды из р. Маныч в р. Дон может быть в значительной степени лимитировано функционированием Усть-Манычского гидроузла, который находится в 2 км от устья данного притока [67]. В связи с этим количество поступаемых высокоминерализованных вод в р. Дон может сильно варьироваться в зависимости от режима функционирования данного гидротехнического сооружения.

Проследить неоднородность химического состава речной воды также представляется возможным благодаря использованию инструментальных методов, одним из которых является измерение удельной электрической проводимости, зависящей от концентрации ионов и их соотношения между собой. Контрастные отличия показателей электропроводности будут свидетельствовать о наличии факторов, влияющих на поступление и распределения ионов в речных водах [155].

Влияние впадающих в р. Дон притоков было оценено нами в ранее проведенных экспедиционных исследованиях, которые проходили в весенний, летний и осенний периоды на НИС «Профессор Панов». На рисунке 34 представлены данные об электропроводности воды р. Дон, полученные при использовании гидрологического зонда CTD48M.

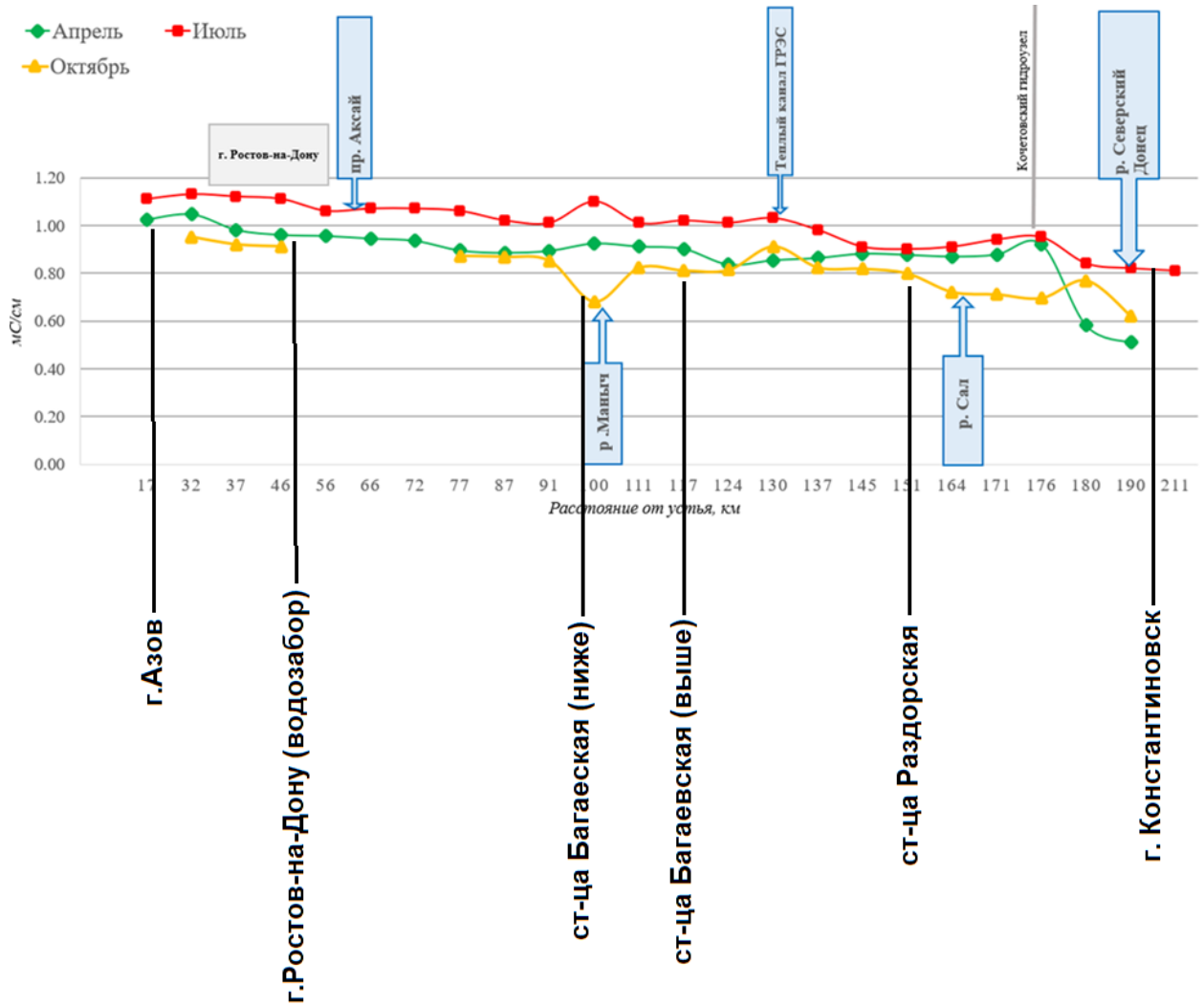


Рисунок 34 – Удельная электропроводность воды р. Дон в 2024 г., мС/см [124]

Стоит отметить, что в отдельные периоды влияние притоков на минерализацию воды было не всегда однозначным. Например, в осенней экспедиции на участке впадения р. Маныч электропроводность воды в р. Дон снижалась, а потом через несколько километров стабилизировалась; в весенний и летний периоды – в разной степени повышалась, но потом вскоре также стабилизировалась. Влияние р. Северский Донец на электропроводность воды р. Дон было более однозначным, т.к. в ходе всех трех экспедиционных рейсов нами было отмечено увеличение данного показателя в воде р. Дон. Ниже в таблице 13 приводятся данные об электропроводности воды притоков р. Дон на устьевых участках (100-500 м выше устья). Согласно результатам инструментальных наблюдений, электропроводность воды

притоков была примерно в 2 раза выше, чем на всем протяжении исследуемого участка р. Дон. При этом в наибольшей степени эта кратность достигала в летний период (2,6 раза), что, вероятно, связано с высокой испаряемостью в условиях высоких июльских температур на фоне отсутствия выпадения атмосферных осадков.

Таблица 13 – Удельная электропроводность воды притоков р. Дон, мС/см [124]

<i>Приток</i>	<i>Апрель</i>	<i>Июль</i>	<i>Октябрь</i>	<i>Среднее</i>
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

В протоке Аксай, расположенной в нескольких километрах выше г. Ростова-на-Дону, также отмечались относительно повышенные значения электропроводности во время проведения экспедиционных исследований (1,15-1,79 мС/см). Вода этой протоки принимает водный сток р. Тузлов, испытывающей мощную антропогенную нагрузку [113]. Так, согласно результатам ранее опубликованных нами исследований, минерализация воды р. Тузлов в 2000-2019 гг. в большинстве лет превышала 1500 мг/л [Сазонов, Закруткин, 2024]. В связи с этим несмотря на то, что протока Аксай является составляющей частью р. Дон, состав ее вод значительно отличается. Это связано как с поступлением высокоминерализованных вод р. Тузлов, так и влиянием г. Новочеркаска, который характеризуется высокой степенью антропогенной нагрузки [143].

Как известно, протекающие в пределах крупных городов реки могут испытывать воздействие этих урбанизированных территорий в результате сброса сточных вод, а также склонового стока во время снеготаяния и выпадения атмосферных осадков (диффузное загрязнение) [31]. Город Ростов-на-Дону имеет протяженность вдоль русла р. Дон порядка 20 км. Результаты ранее проведенных гидрохимических и токсикологических исследований

свидетельствуют о загрязненности поверхностных вод в пределах г. Ростов-на-Дону [8, 107, 108].

Оценить его влияние на минерализацию воды представляется возможным по данным нескольких пунктов гидрохимических наблюдений, расположенных в его черте и окрестностях.

В данном случае пункт наблюдений, расположенный выше города, будет выступать в качестве условно фоновой, так как находится выше влияния перечисленных факторов, а также протоки Аксай, поскольку расположен выше ее впадения в р. Дон.

Согласно таблице, сравнение показателя минерализации воды р. Дон не свидетельствует о ее каком-либо значительном изменении: содержание главных ионов (по сумме) выше г. Ростова-на-Дону за период 2000-2024 гг. составляло в среднем 871 мг/л, ниже г. Ростов-на-Дону (х. Колузаево) – 877 мг/л. Более детальная информация представлена на рисунке 35.

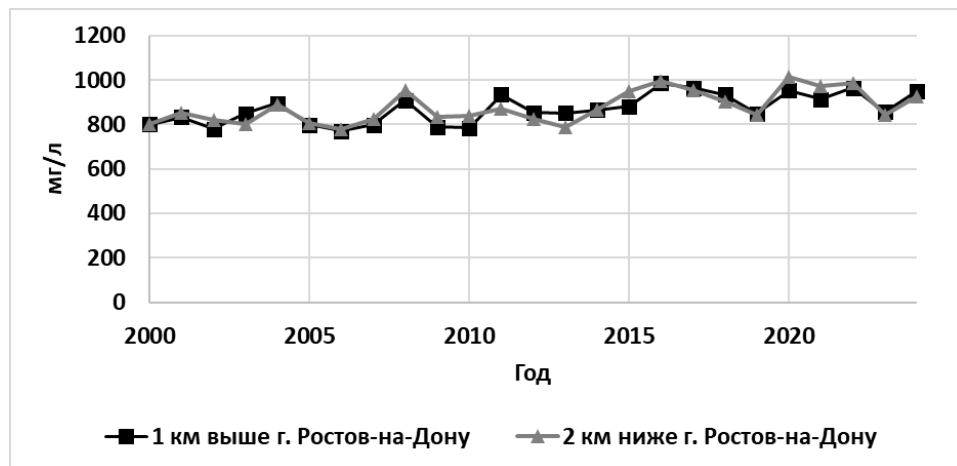


Рисунок 35 – Среднегодовая минерализация воды р. Дон выше и ниже г. Ростова-на-Дону

Как видно на графике, минерализация воды выше и ниже города практически не отличалась. Это свидетельствует об отсутствии значительного вклада урбанизированной территории в загрязнение р. Дон главными ионами (по сумме).

Это связано, прежде всего, с выпуском сточных вод, которые способствуют процессам разбавления. В целом полученные результаты позволяют сделать вывод, что самый крупный урбанизированный участок Нижнего Дона – г. Ростова-на-Дону – не оказывает значительного воздействия на пространственную изменчивость содержания в воде суммы главных ионов. Подобная ситуация наблюдалась также в г. Азов, где минерализация воды ниже сброса сточных вод практически не отличалась от той, которая находится на уровне водозабора города (рисунок 36).

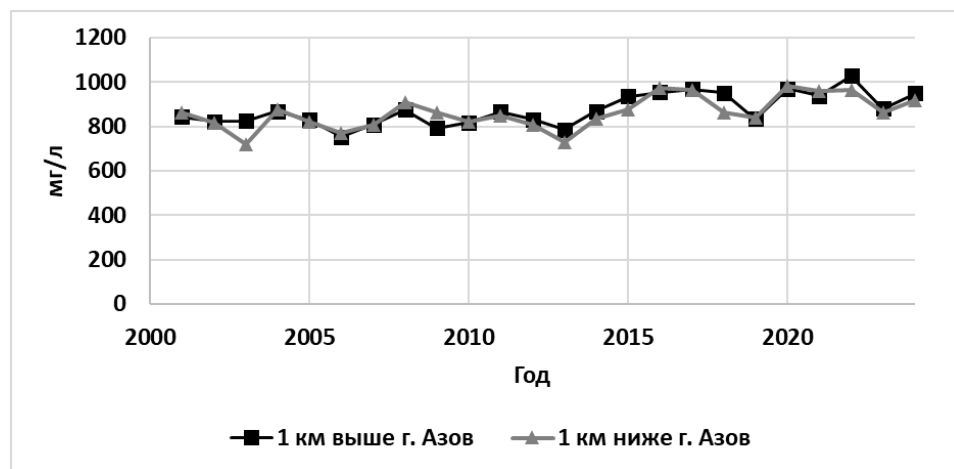


Рисунок 36 – Среднегодовая минерализация воды р. Дон выше и ниже г. Азов

Важным фактором, определяющим степень минерализации воды, является объем водного стока [90]. В результате анализа гидрологических данных об объеме водного стока по данным гидропоста в ст-це Раздорской были выделены группы лет по признаку величины объема водного стока (см. раздел 1.1 Материалы и методы исследования).

На рисунке 37 представлена информация о минерализации воды в нижнем течении р. Дон в годы разного объема водного стока. В изменчивости содержания в воде главных ионов (по сумме) выделяются два характерных участка, первый из которых локализован между пунктами наблюдений г. Константиновск (203 км) и ст-ца Багаевская (97 км), второй – от пункта

наблюдений г. Ростов-на-Дону (62 км) до замыкающих по дельтовым рукавам пунктов: х. Дугино (21 км) и г. Азов (15 км).

На обоих участках наблюдались статистически значимые отличия минерализации воды в годы максимального и минимального водного стока. На участке 1 концентрация в воде главных ионов (по сумме) в периоды маловодья составляла в среднем 927 мг/л, в наиболее многоводные годы – 657 мг/л (на 41 % меньше).

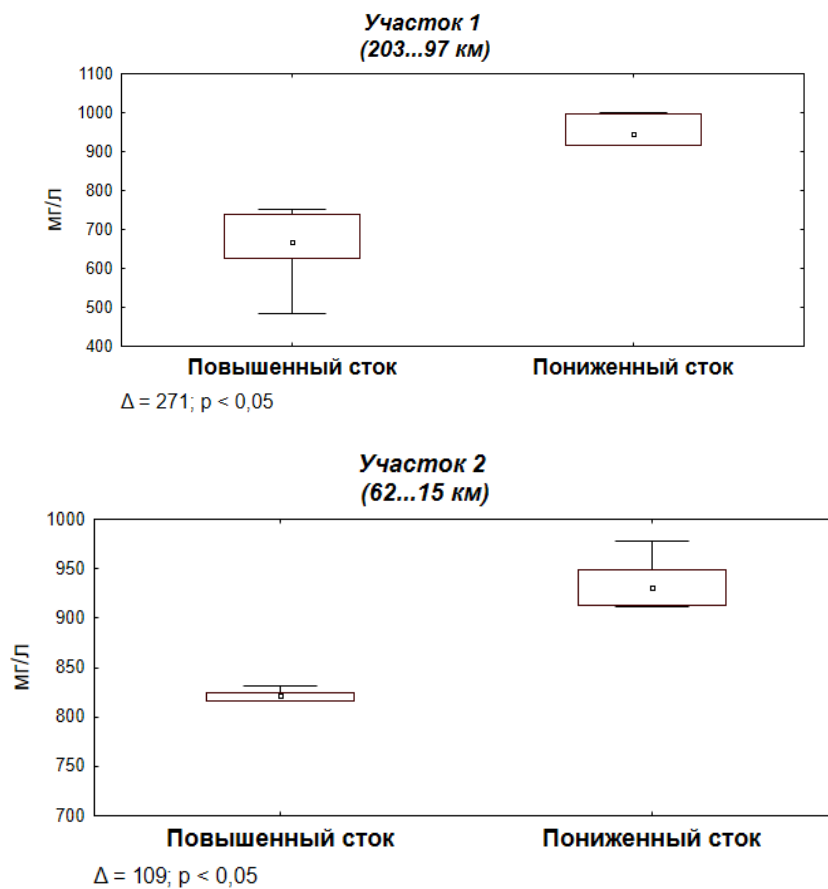


Рисунок 37 – Диаграммы размаха минерализации воды при повышенном и пониженном водном стоке на характерных участках

В то же время, на участке 2 в годы максимально пониженного стока минерализация составляла 934 мг/л, максимально повышенного стока – 820 мг/л (на 14 % ниже). Обращает на себя внимание тот факт, что вариабельность среднегодовых значений минерализации воды в зависимости от водного стока на участке 2 была значительно менее выражена, чем на

участке 1. Это может быть объяснено тем, что на вышерасположенном локализованном отрезке находятся наиболее значимые источники формирования условий пространственной неоднородности донской воды.

В самые засушливые периоды, приводящие к сокращению объема водного стока, минерализация воды может возрастать в рр. Северский Донец, Маныч, Сал, а также в обводнительно-оросительной системе каналов и искусственно созданных прудов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что минерализация воды в бассейне Нижнего Дона может значительно возрастать в наиболее маловодные периоды. Это подтверждает результаты ранее проведенных исследований, посвященных изучению минерализации воды р. Дон во второй половине XX века [103, 144].

В контексте настоящего исследования важно отметить, что за последние десятилетия в бассейне Нижнего Дона отмечалось сокращение суммы выпадения атмосферных осадков (см. раздел «2.1 Природные условия»). В классических работах, посвященных природно-климатическим условиям Донского бассейна, указывается, что р. Дон относится к водным объектам с преобладающей долей снежного питания (до 70 %) [68, 112]. В последние десятилетия количество снеготалых вод стремительно сократилось, сезонность их накопления и таяния трансформировалась. Это привело к резкому уменьшению доли снегового питания нижнего течения р. Дон. Уровень минерализации воды атмосферных осадков и соответственно снеговых талых вод значительно ниже, чем в донской воде (см. таблицу 8 в разделе «2.2 Антропогенные факторы»). В связи с этим в самые маловодные годы с пониженным количеством выпадения твердых атмосферных осадков минерализация донской воды заметно выше, что подтверждается полученными результатами (рисунок 37). Это связано с увеличением доли питания нижнего течения р. Дон подземными и грунтовыми водами повышенной минерализации.

В связи с тем, что изменчивость объема водного стока рек зависит, прежде всего, от климатических условий, последний фактор будет играть одну из главных ролей в изменчивости минерализации воды в нижнем течении р. Дон. Несмотря на высокую степень зарегулированности стока нижнего течения р. Дон посредством функционирования Цимлянского водохранилища и крупных обводнительно-оросительных систем, водность рек рассматриваемого бассейна все же подчиняется климатическим факторам. Это связано с тем, что режим работы гидротехнических сооружений определяется актуальной и прогнозируемой изменчивостью водности рек, согласно нормативным документам [94, 149].

Выводы

1. При изучении многолетней изменчивости минерализации воды нижнего течения р. Дон на всех участках реки было выявлено ее статистически значимое увеличение (в среднем на 117 мг/л в десятилетие – 14 % в десятилетие). В наибольшей степени хронологический рост показателя отмечался на участке от г. Константиновск до ст-цы Багаевской (163-205 мг/л в десятилетие – 20-30 % в десятилетие). На участке г. Ростов-на-Дону и ниже, хронологическое нарастание концентрации суммы главных ионов было выражено относительно слабее (59,8-74,6 мг/л в десятилетие – 6,0-9,1 % в десятилетие). Данный сравнительный анализ позволил выделить два характерных участка отличных по степени интенсивности увеличения минерализации воды за рассматриваемый период 2000-2024 гг.

2. Отмечена тенденция сокращения минерализации донской с 2016 по 2024 г. на участке, где возведен Багаевский гидроузел, запуск которого запланирован на 2025-2026 гг. Полученные результаты могут быть использованы при оценке влияния этого гидротехнического сооружения на изменение минерализации воды р. Дон.

3. При сравнении двух многолетних периодов (2000-2012 и 2013-2024 гг.) было отмечено статистически значимое возрастание минерализации в среднем

на 23 % на всем протяжении нижнего течения р. Дон. Во втором периоде отмечались среднегодовые концентрации суммы главных ионов, приближенные к показателю «сильной» минерализации воды (около 1000 мг/л).

4. Влияние р. Северский Донец на минерализацию воды р. Дон оценено по пунктам наблюдений г. Константиновск (203 км) и г. Семикаракорск (178 км), р. Сал – по пунктам г. Семикаракорск (178 км) и ст-ца Раздорская (151 км), р. Маныч – по пунктам, находящимся выше и ниже ст-цы Багаевская (соответственно 117 и 97 км). При сравнительном анализе было выявлено, что ниже впадения р. Северский Донец минерализация возрасла (в 1,2 раза), рр. Сал и Маныч – не изменялась. Существенного влияния протяженного урбанизированного участка г. Ростов-на-Дону и г. Азов на изменчивость минерализации воды также не было выявлено.

5. В самые маловодные годы суммарное содержание главных ионов достигало максимальных значений. Так как объем водного стока определяется климатическими факторами, можно судить о том, что риск увеличения минерализации воды будет определяться ими же. В связи с резким сокращением доли снегового питания р. Дон в последние десятилетия влияние подземных и грунтовых вод стало играть более значимую роль в формировании минерализации воды в нижнем течении реки.

В нижеизложенных разделах настоящей главы приведены результаты рассмотрения пространственно-временной изменчивости составных компонентов минерализации – главных ионов: сульфатов, хлоридов, гидрокарбонатов, ионов магния, кальция, а также натрия и калия (по сумме).

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

В предшествующем разделе, посвященном пространственно-временной изменчивости минерализации воды нижнего течения р. Дон была проведена оценка направленности и интенсивности наблюдаемых изменений, а также выявлено влияние ключевых природных и антропогенных факторов. Так как минерализация воды представляет собой суммарное количество главных ионов, в настоящем разделе рассмотрены особенности изменчивости концентрации этих веществ в воде изучаемого участка реки.

4.1 Гидрокарбонаты

Одна из основных особенностей гидрокарбонатов в контексте данного исследования заключается в повышенной стабильности их содержания в речных водах, которая вызвана медленным и непрерывным процессом растворения карбонатных пород, устойчивостью гидрокарбонатов к осаждению и другими природными процессами, слабо подвергающимся антропогенному влиянию [69, 80].

Уровень содержания гидрокарбонатов в воде регулирует кислотно-щелочной баланс. Повышенные концентрации гидрокарбонатов буферизируют рН в диапазоне 6,5-8,5 [154]. За период 2020-2024 гг. вода нижнего течения р. Дон находилась на уровне от нейтральной до щелочной среды, показатель рН составлял от 7,2 до 8,7. В подавляющем большинстве случаев пробы воды характеризовались слабощелочной средой. При рН = 7,0-7,5 концентрация гидрокарбонатов составляла в среднем 248 мг/л, рН = 7,6-8,0 – 227 мг/л, рН = 8,0-8,7 – 230 мг/л.

Итоги статистической обработки гидрохимической информации свидетельствуют о положительном тренде содержания гидрокарбонатов в воде

нижнего течения р. Дон в среднем на 22,2 мг/л в десятилетие (10 % в десятилетие). В ст-це Раздорской был отмечен наиболее интенсивный рост (15 % в десятилетие), в районе г. Ростова-на-Дону – наименьший (7 % в десятилетие) (таблица 14).

Таблица 14 – Основные параметры содержания гидрокарбонатов в воде за период 2000-2024 гг.

на рис. 1	Пункт (створ) (км от устья)	$C \pm \sigma^1$ мин.-макс., мг/л	Скорость изменения, мг/л в десятилетие ²
1	г. Константиновск (203)	199 ± 31 142-246	30,8
2а	г. Семикаракорск, выше города (178)	212 ± 31 143-266	25,9
2б	г. Семикаракорск, ниже города (165)	240 ± 35 146-285	30,1
3	ст-ца Раздорская (151)	218 ± 34 142-281	33,6
4а	ст-ца Багаевская, выше ст-цы (117)	215 ± 32 141-270	20,4
4б	ст-ца Багаевская, ниже ст-цы (97)	223 ± 36 145-303	26,5
5а	г. Ростов-на-Дону, выше города (62)	222 ± 26 157-272	18,0
5б	г. Ростов-на-Дону, в черте (52)	219 ± 22 156-255	14,1
5в	г. Ростов-на-Дону, ниже города (34)	215 ± 22 158-271	16,2
6	х. Колузаево (32)	218 ± 24 157-278	17,2
7	х. Дугино (21)	217 ± 25 157-289	19,3
8а	г. Азов, выше города (18)	220 ± 25 156-274	19,4
8б	г. Азов, ниже города (15)	216 ± 23 157-270	17,2
Примечания. ¹ Представлены среднегодовые значения \pm стандартное отклонение (σ). ² Показаны только статистически значимые изменения ($p < 0,05$).			

При сравнении данных пунктов гидрохимических наблюдений г. Константиновск и г. Азов статистически значимой пространственной изменчивости содержания гидрокарбонатов в воде обнаружено не было, что говорит об отсутствии значительной пространственной изменчивости содержания вещества в воде.

В результате сравнительного анализа периодов (2001-2012 и 2013-2024 гг.), отображение которого представлено на рисунках 38 и 39, было выявлено статистически значимое увеличение содержания вещества в воде на участке 1 по данным всех пунктов гидрохимических наблюдений. Увеличение составило в среднем 20 %. Больше всего концентрация гидрокарбонатов возросла в пункте наблюдений г. Константиновск (на 26 %). Данный факт свидетельствует о том, что положительный временной тренд увеличения концентрации гидрокарбонатов в воде нижнего течения р. Дон был по большей части сформирован особенностями вод, поступающими с вышележащего участка реки и Цимлянского водохранилища. При рассмотрении диаграмм размаха концентраций на участке 1 обращает на себя внимание более выраженная вариабельность значений в периоде 2013-2024 гг. в сравнении с предшествующим периодом 2001-2012 гг. Это в свою очередь может свидетельствовать об интенсификации влияния факторов, которые воздействуют на изменение концентрации вещества в воде.

На участке 2, ограниченном пунктами наблюдений от г. Ростов-на-Дону до г. Азов, статистически значимое изменение содержания в воде гидрокарбонатов при сравнении двух периодов не было выраженным и не носило однозначного характера. Стоит отметить, что в отличие от участка 1, на участке 2 вариабельность среднегодовых концентраций гидрокарбонатов в обоих сравниваемых периодах значительно не отличалась. Это свидетельствует об относительно более стабильном содержании вещества в воде на данном участке.

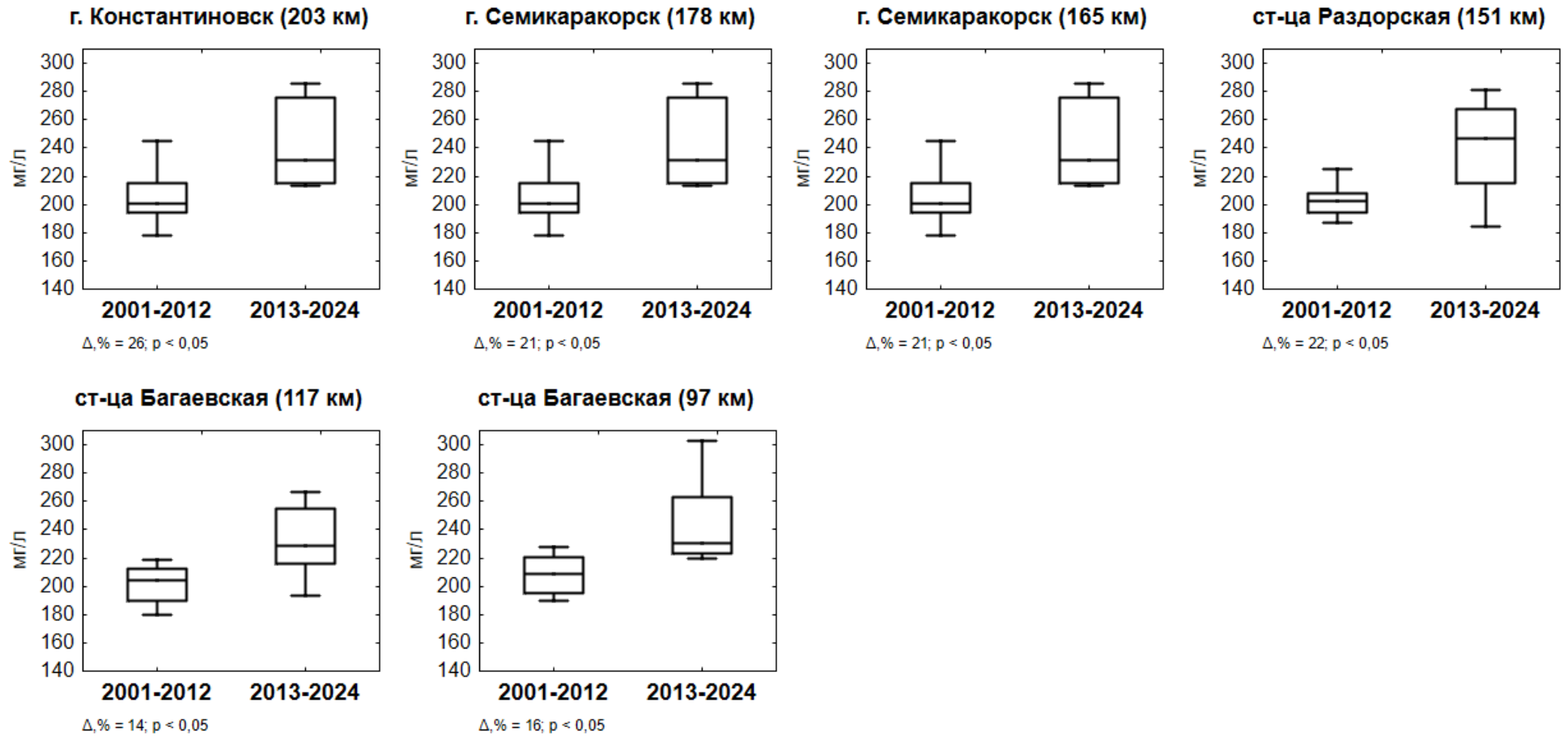


Рисунок 38 – Диаграммы размаха среднегодовых концентраций гидрокарбонатов в воде на участке 1 за периоды 2001-2012 и 2013-2024 гг. с указанием Δ (%) относительно исходного периода

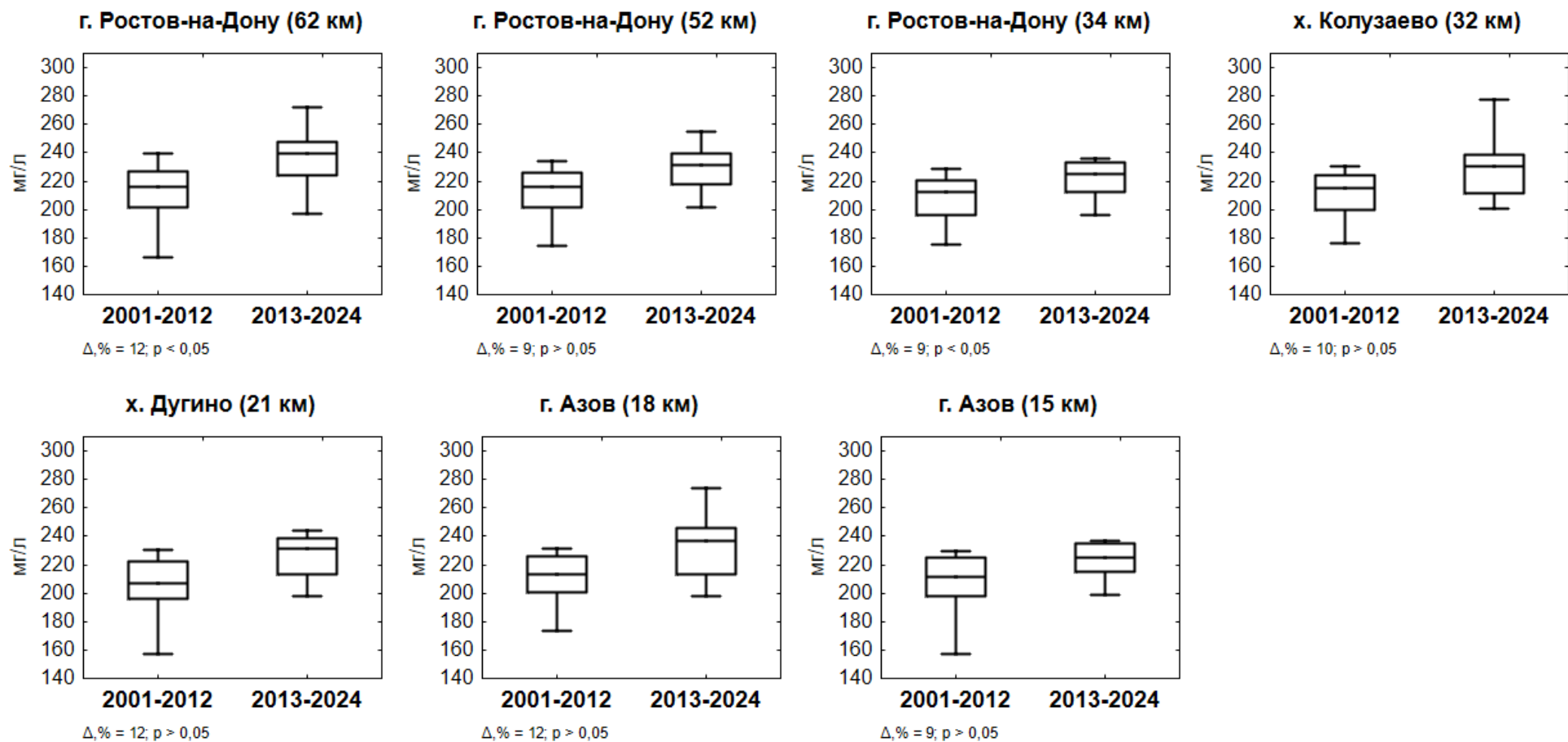


Рисунок 39 – Диаграммы размаха среднегодовых концентраций гидрокарбонатов в воде на участке 2 за периоды 2001-2012 и 2013-2024 гг. с указанием Δ (%) относительно исходного периода

Также была проведена оценка влияния притоков на пространственную изменчивость содержания в воде гидрокарбонатов. В таблице 15 представлена информация о стоке гидрокарбонатов р. Северский Донец.

Таблица 15 – Сток гидрокарбонатов с водой р. Северский Донец (г. Белая Калитва), тыс. т.

Период	Сток (среднее), тыс. т/в год
2000-2004	1233
2005-2009	1301
2010-2014	990
2015-2019	1087
2020-2024	1229

В период с 2000 по 2024 гг. с водой р. Северский Донец в р. Дон поступало в среднем 1150 тыс. т гидрокарбонатов в год. За этот же период транспорт вещества в р. Дон по данным пункта наблюдений в ст-це Раздорской составлял в среднем 3799 тыс. т в год. Из этого можно сделать вывод, что доля привноса гидрокарбонатов с водой р. Северский Донец в р. Дон может составлять более 30 % от общего стока этого вещества.

Влияние р. Северский Донец на содержание гидрокарбонатов в воде р. Дон было оценено по данным пунктов наблюдений, расположенных выше и ниже ее впадения (рисунок). Основываясь на полученных данных, можно судить о том, что статистически значимых изменений в содержании гидрокарбонатов в воде ниже впадения р. Северский Донец не выявлено (рисунок 40). Только в 2002-2004 гг. концентрация гидрокарбонатов ниже впадения притока заметно увеличивалась (на 21-54 %).

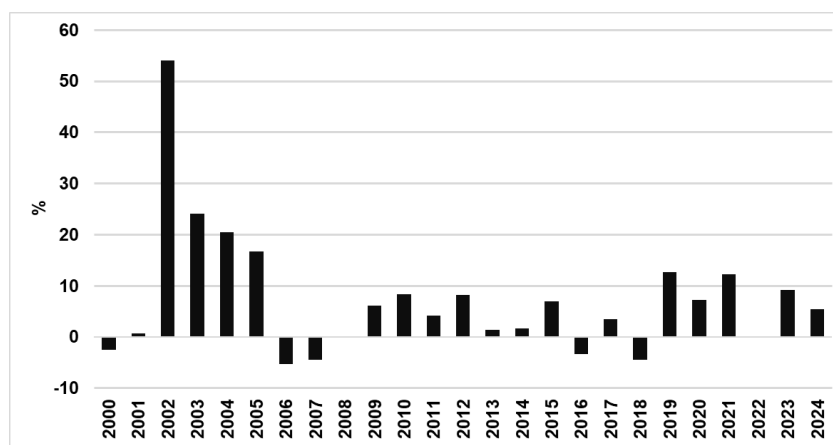


Рисунок 40 – Изменение содержания гидрокарбонатов в воде р. Дон в г. Семикаракорск (178 км) относительно г. Константиновск (203 км), %

Ниже представлен сток гидрокарбонатов с водой р. Сал. Сравнительно с р. Северский Донец, приток гидрокарбонатов с водой этой реки в р. Дон весьма незначителен (таблица 16). Обращает на себя внимание сокращение стока гидрокарбонатов, наблюдавшееся с 2000 по 2024 г.

Таблица 16 – Сток гидрокарбонатов с водой р. Сал (х. Балабинка), тыс. т.

Период	Сток (среднее), тыс. т/в год
2000-2004	104
2005-2009	89,4
2010-2014	69,7
2015-2019	53,5
2020-2024	40,1

Ниже на рисунке 41 представлена информация, отражающая изменчивость концентрации гидрокарбонатов в донской воде по данным пунктов наблюдений, расположенных выше и ниже р. Сал.

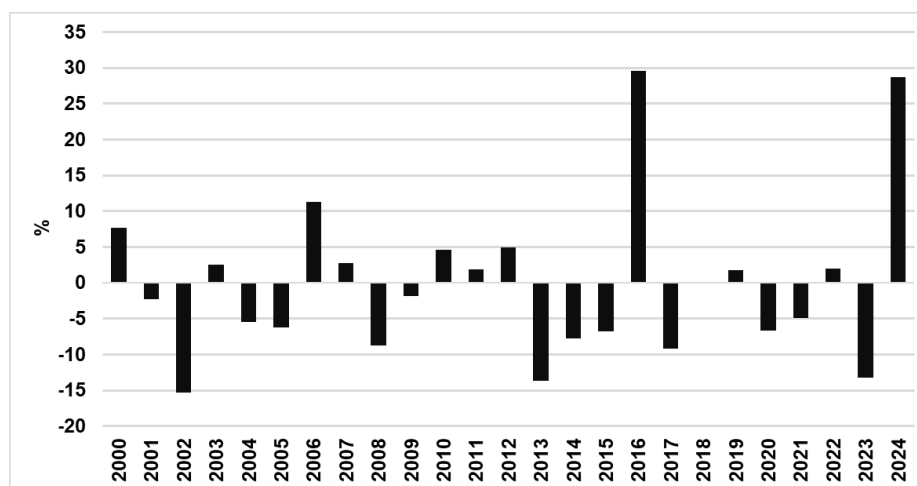


Рисунок 41 – Изменение содержания гидрокарбонатов в воде р. Дон в пункте ст-ца Раздорская (151 км) относительно пункта г. Семикаракорск (178 км), %

Анализ полученных данных свидетельствует об отсутствии статистически значимого влияния данного притока на изменчивость содержания вещества в воде р. Дон. С 2000 по 2024 г. наблюдалось как увеличение, так и сокращение концентрации гидрокарбонатов в воде ниже впадения притока от 1 до 27 %.

Ниже впадения р. Маныч наблюдалась иная ситуация (рисунок 42). Привлекает внимание отсутствие сильно выраженных разнонаправленных изменений концентрации вещества ниже впадения притока. Влияние р. Маныч на изменение содержания гидрокарбонатов в донской воде не было статистически значимым в рамках рассматриваемого временного периода.

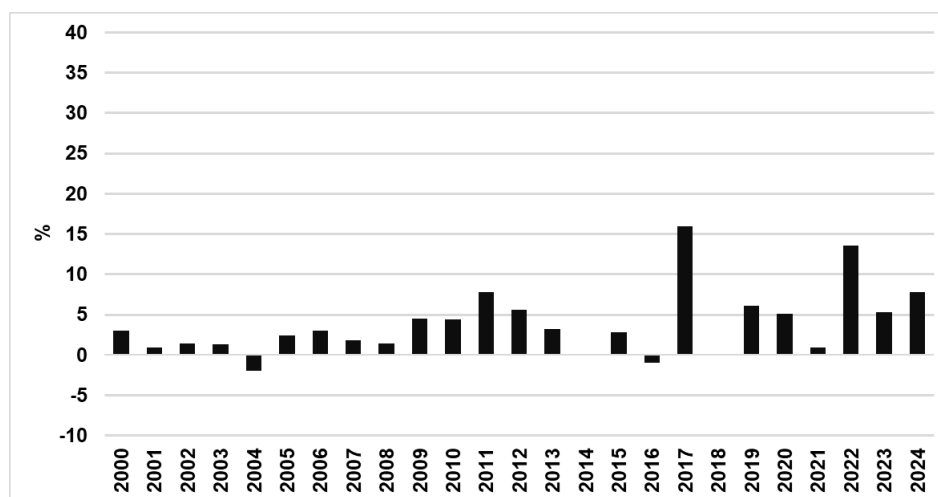


Рисунок 42 – Изменение содержания гидрокарбонатов в воде р. Дон в створе ст-ца Багаевская (97 км) относительно створа ст-ца Багаевская (117 км), %

В предыдущем разделе, посвященном минерализации воды, была проведена оценка влияния водного стока р. Дон на содержание суммы главных ионов. Аналогичным образом данный подход был применен по отношению к гидрокарбонатам для двух характерных участков (рисунок 43).

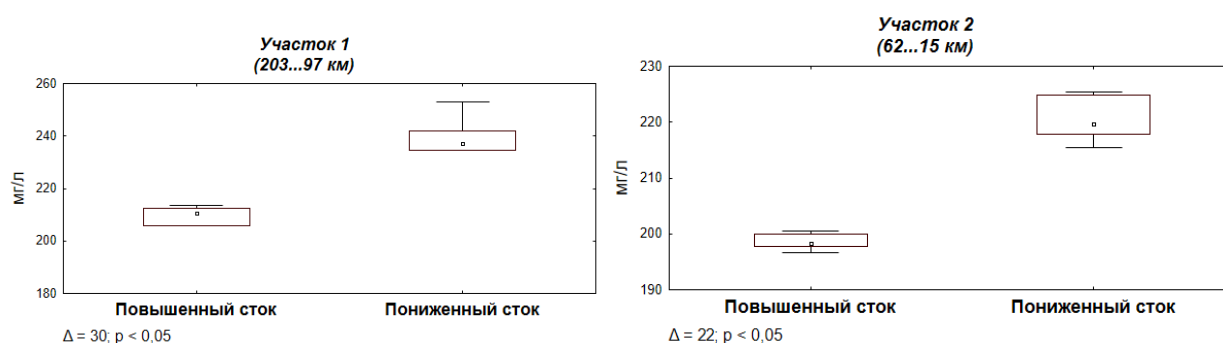


Рисунок 43 – Диаграммы размаха концентрации в воде гидрокарбонатов при повышенном и пониженном водном стоке на характерных участках

На участке 1, который простирается от г. Константиновск (203 км) до ст-цы Багаевской (97 км) в годы наиболее повышенного водного стока медиана концентрации вещества составляла 207 мг/л, в годы минимального водного стока – 237 мг/л. Для участка 2, расположенного на отрезке от пункта

наблюдений г. Ростов-на-Дону (62 км) до г. Азов (15 км), в годы наиболее повышенного стока медиана концентрации вещества находилась на уровне 199 мг/л, в годы минимального водного стока – 221 мг/л. Оба участка характеризовались значимыми различиями содержания гидрокарбонатов в воде в периоды максимального и минимального объема водного стока.

Выводы

1. Скорость изменения содержания гидрокарбонатов в воде нижнего течения р. Дон составляла в среднем 22,2 мг/л в десятилетие (10 % в десятилетие). На участке (1) от г. Константиновск до ст-цы Багаевской рост концентрации вещества был наиболее выражен – 28 мг/л в десятилетие (13 % в десятилетие), на участке (2) от пункта наблюдений г. Ростов-на-Дону и ниже – в меньшей степени (17 мг/л в десятилетие – 8 % в десятилетие).

2. Результат сравнительного анализа двух многолетних периодов (2000-2012 и 2013-2024 гг.) показал статистически значимое возрастание содержания в воде гидрокарбонатов в среднем на 14-26 % на участке от г. Константиновск до ст-цы Багаевской. При этом именно в г. Константиновск было отмечено наибольшее увеличение концентрации.

3. Воздействие рр. Северский Донец, Сал и Маныч на изменение пространственной неоднородности содержания гидрокарбонатов в донской воде не было статистически значимым.

4. При сравнении концентрации гидрокарбонатов в воде нижнего течения р. Дон в зависимости от водного стока было выявлено, что в самые маловодные годы содержание вещества достигало максимальных значений, в самые многоводные годы – минимальных значений.

4.2 Сульфаты

Одними из основных источников поступления сульфатов в поверхностные воды являются как различные осадочные породы, так и

процессы окисления широко распространённых в земной коре сульфидных соединений [106]. Как было выше показано в разделе о природных условиях формирования состава поверхностных вод, на обширной правобережной части бассейна Нижнего Дона (Восточный Донбасс) распространены горные породы, включающие в себя сульфидные соединения [20]. В то же время левобережная часть бассейна представлена преимущественно каштановыми почвами, для которых зачастую характерен сульфатный тип засоления [11]. Данные обстоятельства во многом определяют повышенное содержание сульфатов в речных водах региона относительно других территорий.

В результате обработки многолетних данных было установлено, что на всех рассматриваемых участках нижнего течения р. Дон от г. Константиновска до ст-цы Багаевской наблюдалось увеличение содержания в воде сульфатов (таблица 17). Прослеживалось хронологическое увеличение содержания сульфатов в воде, поступающей в нижнее течение р. Дон с вышерасположенных территорий, так как именно в г. Константиновск временное возрастание содержания вещества проявлялось наиболее заметно (61,7 мг/л в десятилетие – 35 % в десятилетие).

На всем участке, где был отмечен рост, концентрация в среднем возрастала на 43,4 мг/л в десятилетие (21 % в десятилетие). В то же время в черте г. Ростова-на-Дону и ниже до впадения р. Дон в Таганрогский залив статистически значимого увеличения содержания вещества не было обнаружено. От пункта наблюдений, расположенной на 6,5 км выше г. Ростов-на-Дону, вплоть до впадения р. Дон в Таганрогский залив по обоим рукавам (Старый Дон и Рукав Каланча) пространственная изменчивость содержания веществ в воде варьировалась малозначительно (255-262 мг/л). Это говорит об отсутствии каких-либо весомых источников поступления сульфатов в поверхностные воды на данной территории, которые смогли бы повлиять на пространственную неоднородность. Также стоит отметить, что по данным этих же пунктов наблюдений, содержание сульфатов в воде здесь было

максимальным (на 44 % больше в сравнении с пунктом наблюдений г. Константиновск).

Таблица 17 – Основные параметры среднегодовых значений содержания сульфатов в воде за период 2000-2024 гг.

на рис. 1	Пункт (створ) (км от устья)	$C \pm \sigma^1$ мин.-макс., мг/л	Скорость изменения, мг/л в десятилетие ²
1	г. Константиновск (203)	$178 \pm 73,9$ 79,0-361	61,7
2а	г. Семикаракорск, выше города (178)	$191 \pm 52,2$ 80,0-285	39,0
2б	г. Семикаракорск, ниже города (165)	$204 \pm 53,3$ 94,0-298	41,8
3	ст-ца Раздорская (151)	$210 \pm 67,9$ 84,0-351	39,7
4а	ст-ца Багаевская, выше ст-цы (117)	$204 \pm 60,3$ 92,0-317	37,7
4б	ст-ца Багаевская, ниже ст-цы (97)	$226 \pm 60,9$ 91,0-309	40,7
5а	г. Ростов-на-Дону, выше города (62)	$255 \pm 25,3$ 211-333	—
5б	г. Ростов-на-Дону, в черте (52)	$257 \pm 26,7$ 219-351	—
5в	г. Ростов-на-Дону, ниже города (34)	$258 \pm 31,5$ 202-349	—
6	х. Колузаево (32)	$262 \pm 25,8$ 214-337	—
7	х. Дугино (21)	$259 \pm 34,2$ 185-357	—
8а	г. Азов, выше города (18)	$256 \pm 26,4$ 212-312	—
8б	г. Азов, ниже города (15)	$255 \pm 29,0$ 195-329	—
Примечания. ¹ Представлены среднемноголетние значения \pm стандартное отклонение (σ). ² Показаны только статистически значимые изменения ($p < 0,05$).			

При сравнении данных пунктов гидрохимических наблюдений г. Константиновск и г. Азов обнаруживалась статистически значимая

пространственная изменчивость содержания сульфатов в воде: концентрация вещества в воде увеличивалась в среднем на 43 %.

На рисунках 44 и 45 представлены диаграммы размаха, характеризующие содержание вещества в нижнем течении р. Дон за два периода: 2001-2012 и 2013-2024 гг. При сравнении этих двух 12-летних периодов отмечался статистически значимый рост сульфатов на участке 1 (от г. Константиновск до ст-цы Багаевской) на 37-108 %. В г. Константиновск увеличение концентрации в воде сульфатов было максимальным (более чем в 2 раза). Это говорит о том, что рост концентрации вещества в нижнем течении р. Дон во многом определялся химическим составом воды, поступающей с вышерасположенной части Донского бассейна. Согласно полученным результатам по участку 2 (г. Ростов-на-Дону и ниже), статистически значимого увеличения содержания в воде сульфатных ионов не прослеживалось. Также обращает на себя внимание небольшой разброс значений в сравнении с участком 1. Это говорит о более стабильном характере поведения сульфатов в воде на участке 2.

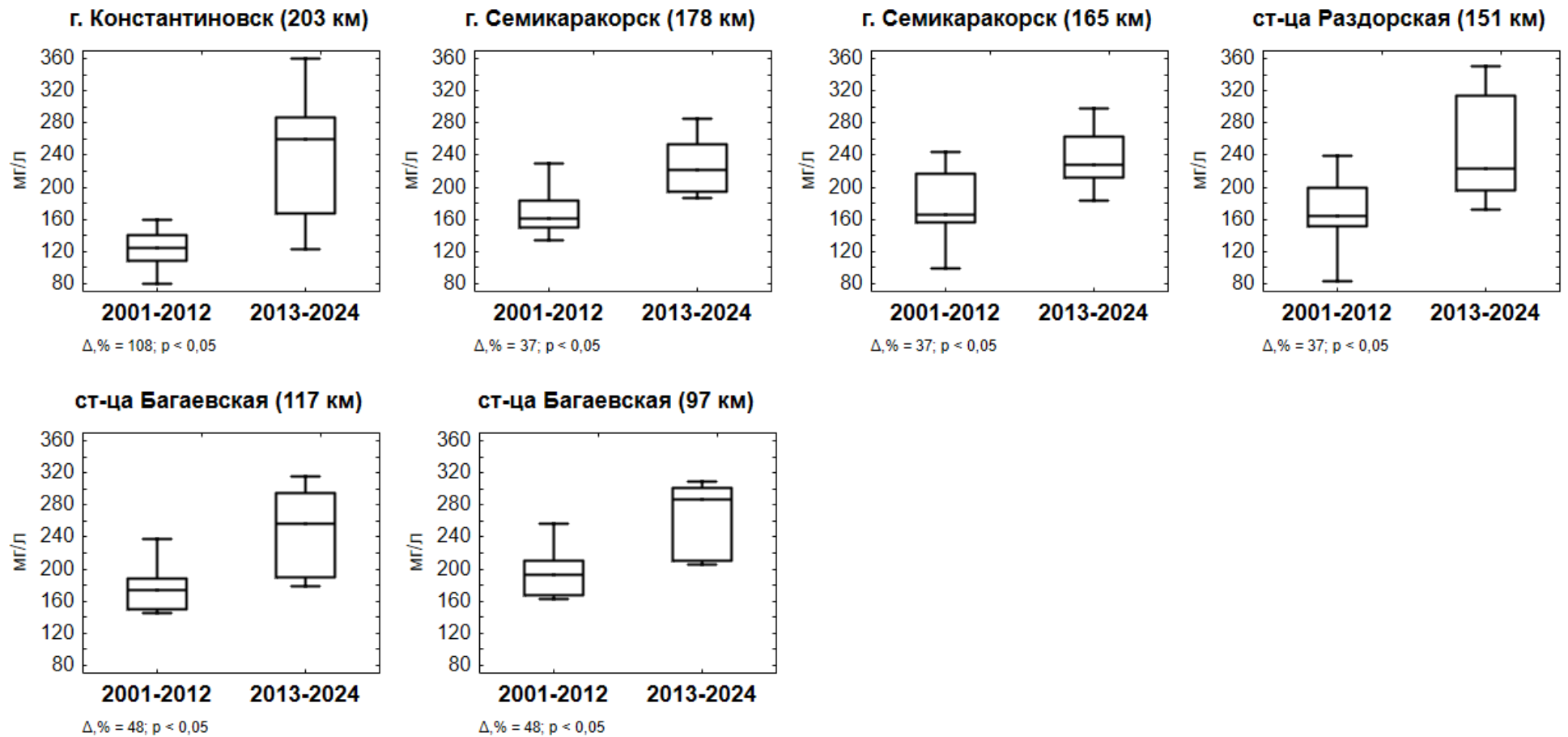


Рисунок 44 – Диаграммы размаха среднегодовых концентраций сульфатов в воде на участке 1 за периоды 2001-2012 и 2013-2024 гг. с указанием Δ (%) относительно исходного периода

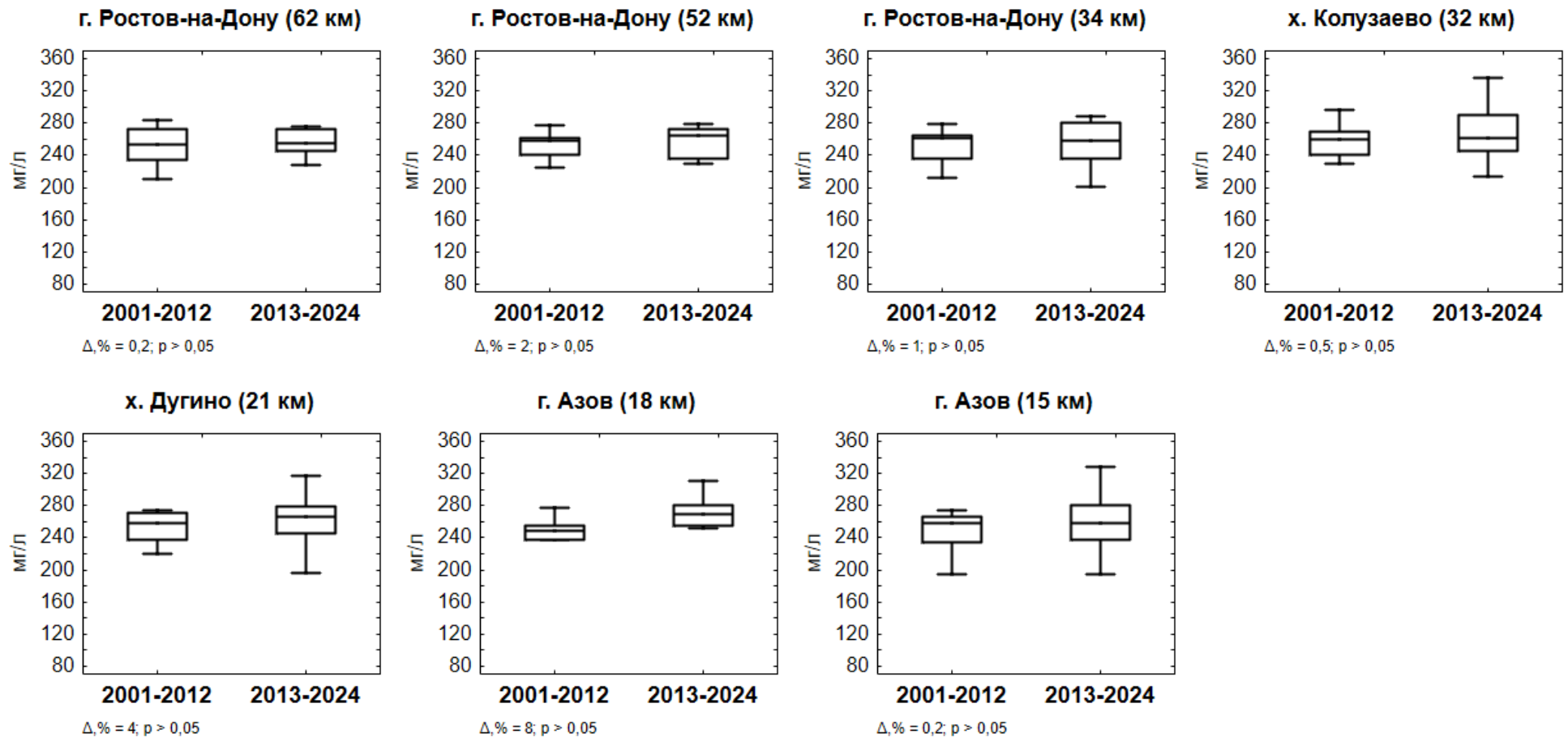


Рисунок 45 – Диаграммы размаха среднегодовых концентраций сульфатов в воде на участке 2 за периоды 2001-2012 и 2013-2024 гг. с указанием Δ (%) относительно исходного периода

Так как на участке 1 происходили наиболее выраженные изменения, стоит обратить внимание на факторы, которые могут способствовать пространственно-временным изменениям концентрации. В таблице 18 представлена информация о выносе сульфатных ионов с водой р. Северский Донец в р. Дон.

Таблица 18 – Сток сульфатов с водой р. Северский Донец (г. Белая Калитва)

Период	Сток (среднее), тыс. т/в год
2000-2004	1288
2005-2009	2039
2010-2014	1431
2015-2019	1604
2020-2024	1304

Анализ имеющихся данных позволил сделать вывод, что р. Северский Донец выносила в р. Дон в среднем 1606 тыс. т вещества в год. При этом за этот же период транспорт вещества через пункт наблюдений в ст-це Раздорской составлял в среднем 3713 тыс. т в год. Это свидетельствует о том, что около 40 % переноса сульфатов в р. Дон может обеспечиваться поступлением вещества с водой р. Северский Донец.

Однако после впадения этого крупного притока концентрация сульфатов изменялась разнонаправленно и не характеризовалась статистической значимостью в рамках периода 2000-2024 гг. (рисунок 46).

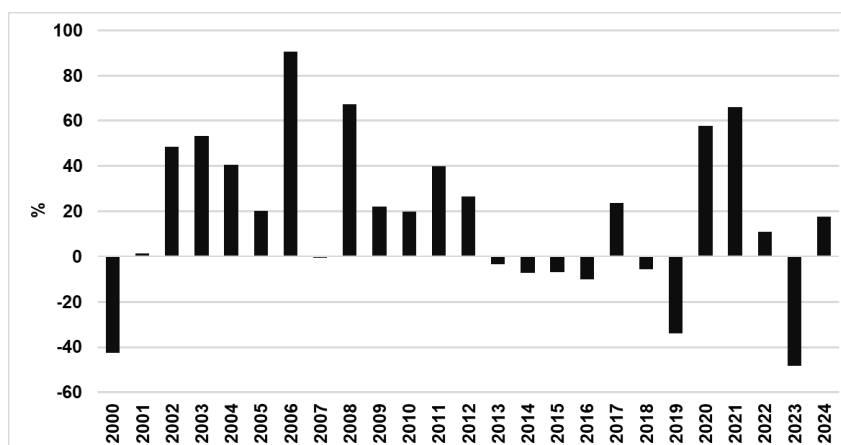


Рисунок 46 – Изменение содержания сульфатов в воде р. Дон в пункте г. Семикаракорск (178 км) относительно пункта г. Константиновск (203 км),
%

Например, в 2006 г. ниже впадения р. Северский Донец в р. Дон их концентрация увеличилась в 1,9 раза, а в 2019, напротив, сократилось в 1,5 раза. Это может свидетельствовать о значительных колебаниях уровня сульфатного загрязнения вод р. Северский Донец. По наиболее актуальным данным медианная концентрация сульфатных ионов за период 2000-2019 г. на устьевом участке р. Северский Донец (р. п. Усть-Донецкий) составляла 485 мг/л, что значительно превышает данный среднемноголетний показатель в воде р. Дон (более чем в 2 раза) [142]. Подтверждением высокой степени загрязненности вод р. Северский Донец этим веществом являются результаты исследований, проведенных с целью установления влияния техногенно-загрязненных шахтных вод Восточного Донбасса на состояние поверхностных вод этого района. Так, по итогу специальных наблюдений, проводившихся в 2011-2017 гг., было выявлено, что содержание сульфатов в воде р. Северский Донец иногда может составлять более 1000 мг/л [46, 134]. Вдобавок, эти наблюдения подтверждаются ежегодными докладами Ростовской области о состоянии окружающей среды, по данным которых сульфаты могут многократно превышать ПДК в воде [151].

Другим постоянным источником поступления растворенных веществ и в частности сульфатов в р. Дон является р. Сал. В таблице представлена информация о выносе сульфатных ионов с водой р. Сал за период 2000-2024 гг. Обращает на себя внимание отрицательная тенденция стока вещества в рамках рассматриваемого периода (таблица 19).

Таблица 19 – Сток сульфатов с водой р. Сал (х. Балабинка)

Период	Сток (среднее), тыс. т/в год
2000-2004	164
2005-2009	177
2010-2014	162
2015-2019	97,2
2020-2024	68,5

Потенциальное влияние р. Сал на пространственную неоднородность содержания вещества в донской воде можно оценить при сравнении данных пунктов г. Семикаракорск и ст-ца Раздорская (рисунок 47).

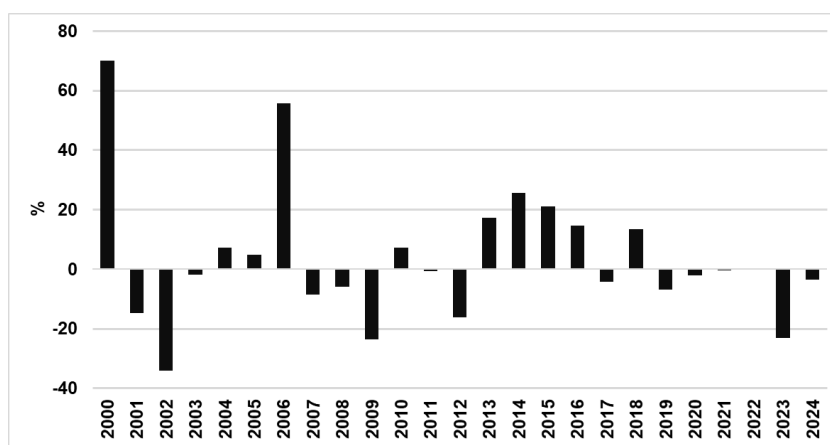


Рисунок 47 – Изменение содержания сульфатов в воде р. Дон в пункте ст-ца Раздорская (151 км) относительно пункта г. Семикаракорск (178 км), %

В рамках рассматриваемого периода это влияние было таким же неоднозначным, как и в случае с р. Северский Донец, и не характеризовалось

статистической значимостью. Максимальный прирост вещества после впадения притока был отмечен в 2006 и 2000 г. (в 1,9 и 1,6 раза соответственно). В отдельные годы наблюдалась обратная ситуация, когда концентрация сульфатов снижалась. Ниже рассмотрено влияние р. Сал.

В ранее проведенных исследованиях было показано, что в устьевой области непосредственно самой р. Сал наблюдалось увеличение концентрации сульфатных ионов в воде: в 2001-2007 гг. их концентрация составляла 304 мг/л [Схема комплексного..., 2025], в 2011-2017 гг. – 481 мг/л [122]. По актуальным данным, отображенным в ГИС-проекте, выполненном в Гидрохимическом институте, в 2019-2024 гг. концентрация вещества в воде р. Сал составляла 401 мг/л, т.е., почти в 2 раза превышает этот показатель в воде р. Дон за аналогичный период [142]. Однако тогда отчетливого влияния р. Сал на содержание сульфатов не наблюдалось. Это может быть связано с пониженным водным стоком этого притока.

На участке, расположенном в районе впадения р. Маныч изменение содержания сульфатов в воде носило более однозначный характер и в большинстве случаев увеличивалось (рисунок 48). Однако, несмотря на это, статистически значимого влияния этого притока на содержание сульфатов в донской воде выявлено не было.

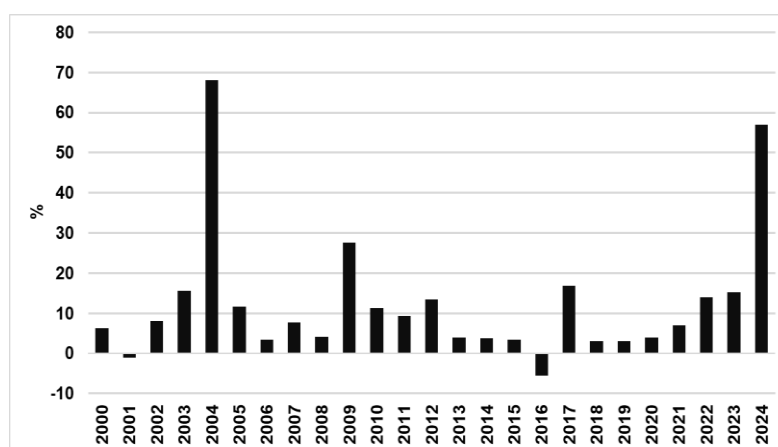


Рисунок 48 – Изменение содержания сульфатов в воде р. Дон в створе ст-ца Багаевская (97 км) относительно створа ст-ца Багаевская (117 км), %

Как и в случае с р. Сал, вода этого левобережного притока характеризовалась относительно высоким содержанием вещества, которое хронологически возрастало: в 2001-2007 гг. – 750 мг/л [137], в 2011-2017 гг. – 874 мг/л [122].

Нельзя не отметить, что в левобережной части бассейна Нижнего Дона расположены крупные ирригационные системы, которые производят сброс сточных вод в р. Дон, а также в его выше обсуждаемые притоки рр. Сал и Западный Маныч. В связи с этим целесообразно принять во внимание степень их загрязненности сульфатными анионами, поскольку это мощный потенциальный источник антропогенного воздействия. Было установлено, что в открытых оросительных каналах содержание сульфатов в воде коллекторно-дренажного стока в местах расположенных вблизи выпусков сточных вод может составлять от 257 до 503 мг/л, а максимальные концентрации в отдельные периоды могли достигать более 1900 мг/л. Согласно результатам этих исследований, такое высокое содержание сульфатов в воде обводнительно-оросительных систем связано с сильным влиянием грунтовых вод повышенной минерализации, уровень которых может значительно повышаться и даже приводить к подтоплению некоторых территорий юго-восточной части Ростовской области [38, 39, 87].

Учитывая климатические изменения и последующие за ними трансформации гидрологического режима, целесообразно уделить внимание влиянию этих факторов на содержание сульфатных ионов в речных водах. При рассмотрении пространственной изменчивости загрязненности вод сульфатами в годы разного объема водного стока можно обнаружить некоторые закономерности (рисунок 49). Так, на участке реки от г. Константиновск до пункта наблюдений, расположенного в ст-це Багаевской, наблюдалась максимальная концентрация вещества в маловодные годы. В то же время на нижележащих участках эта закономерность была нарушена и не являлась статистически значимой.

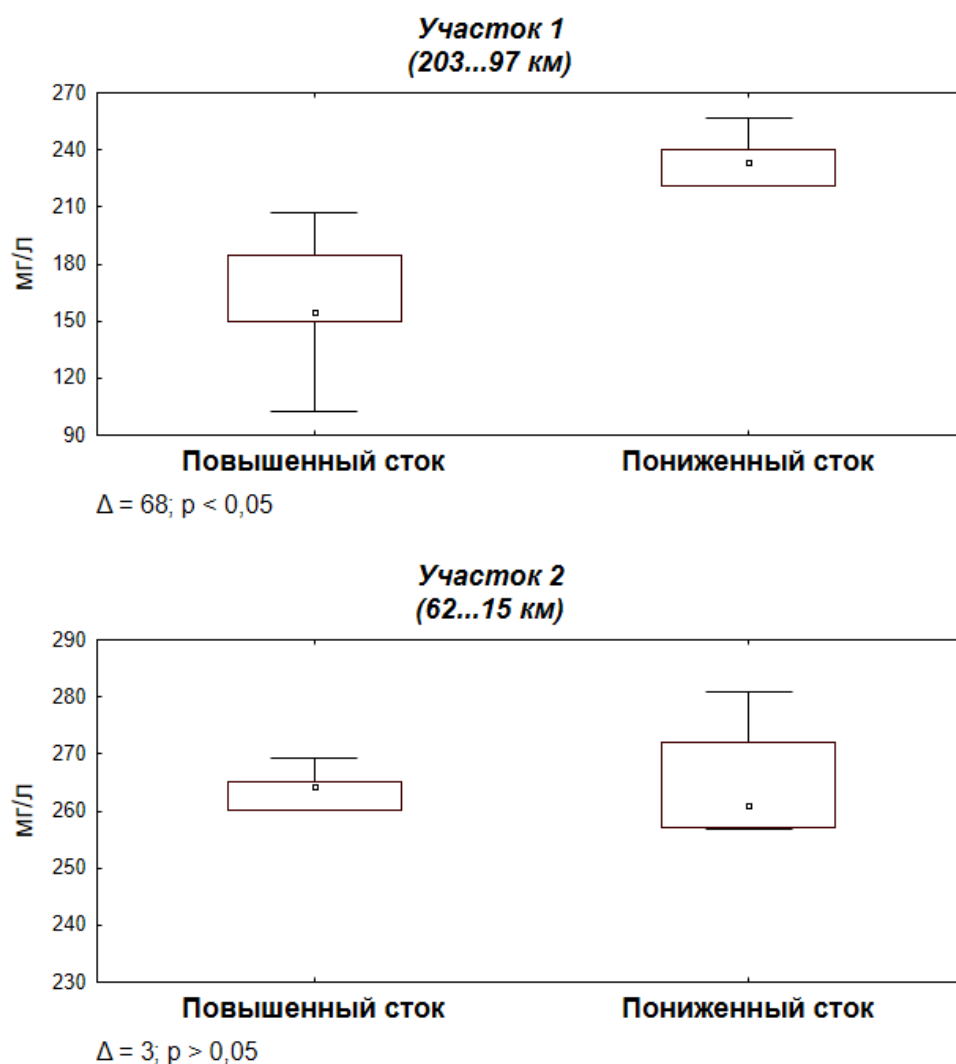


Рисунок 49 – Диаграммы размаха концентрации в воде сульфатов при повышенном и пониженном водном стоке на характерных участках

Участок 2, расположенный между станцией Багаевская и замыкающими пунктами наблюдений г. Азов и х. Дугино, подвергается воздействию сгонно-нагонных явлений. Здесь при определенных климатических условиях происходят процессы смешивания вод р. Дон и Таганрогского залива Азовского моря. Кроме того, на данном участке осуществляется сброс сточных вод г. Ростов-на-Дону и г. Азов, который разбавляет донскую воду. Комплекс этих факторов может способствовать неоднозначности влияния объема водного стока р. Дон на содержание в воде сульфатных ионов. Однако отмечается, что при пониженном объеме водного стока размах значений концентрации сульфатов в воде больше, чем в случае с повышенным стоком.

Это может говорить о том, что в самые маловодные годы перечисленные факторы воздействия в большей степени способны разнонаправленно изменять содержание сульфатов в донской воде на данном участке.

Известно, что пониженный объем водного стока бассейна р. Дон в первую очередь вызван климатическими факторами, господствующими на водосборе реки. Общее сокращение объема водного стока на фоне высоких температур воздуха (повышающих испаряемость воды) может приводить к концентрированию сульфатных ионов в речной воде. Кроме того, уменьшение водного стока р. Дон приводит к снижению разбавляющей способности вод при поступлении загрязненных вод.

Из наиболее влиятельных природных факторов поступления сульфатов в речную сеть следует выделить особенности почвенного покрова, состава грунтовых и подземных вод, формирующихся под действием геологических и климатических условий. Как было показано в разделе «2.1 Природные условия», подстилающие горные породы, расположенные в правобережной части нижнего течения р. Дон способствуют повышенному содержанию сульфатных ионов в подземных водах. Данный процесс в значительной степени нарушен в результате воздействия мощного антропогенного фактора – угледобывающей промышленности. Загрязненные техногенные шахтные воды приводят к увеличению поступления в водотоки некоторых веществ. Так, было показано, что с 2002 по 2015 г. вынос с этими водами сульфатных ионов в бассейны рр. Северский Донец и Тузлов увеличился со 170 до 220 тыс. тонн в год [21].

Так как в последние десятилетия роль снегового питания р. Дон слабоминерализованными водами стремительно сократилась, произошло увеличение доли подземных и грунтовых вод в питании реки. Эти воды дренируют горные породы, содержащие в своем составе повышенное содержание сульфидных соединений, которые в процессе растворения преобразуются в сульфаты (см. раздел «2.1 Природные условия»).

Другим относительно стабильным природным фактором поступления сульфатных ионов в нижнее течение р. Дон является почвенный покров. В местных почвах часто встречаются гипсовые новообразования, которые сформированы в результате выпадения гипса из грунтовых вод и выветривания гипсовых пород. Как было показано выше в разделе «2.2 Антропогенные факторы», атмосферные осадки, выпадающие в бассейне Нижнего Дона, характеризовались преобладанием сульфатных ионов. Это говорит о том, что они также являются источником поступления сульфатов на водосбор реки и непосредственно в речную сеть. Согласно представленным обобщенным данным (таблица 8), объем их выпадения за период 2011-2020 гг. составлял 1,34 т/км² в год.

Выводы

1. В нижнем течении р. Дон наблюдалось увеличение содержания сульфатов в воде в среднем на 43,4 мг/л в десятилетие (21 % в десятилетие) на участке от г. Константиновск до ст-цы Багаевской. В наибольшей степени рост среднегодовых концентраций был отмечен в г. Константиновск: 61,7 мг/л в десятилетие – 35 % в десятилетие. Это свидетельствует об определяющей роли вод, поступающих с вышерасположенных территорий в нижнее течение р. Дон, на содержание сульфатов. На участке от пункта наблюдений г. Ростов-на-Дону до г. Азов увеличения вещества в воде не установлено.

2. Сравнительный анализ многолетних периодов (2000-2012 и 2013-2024 гг.) выявил рост содержания сульфатов только на участке 1 (в среднем на 53 %). На участке 2 роста содержания сульфатов относительно исходного периода не наблюдалось. Также отмечалась более выраженная вариабельность среднегодовых концентраций вещества на участке 1 по сравнению с участком 2.

3. Несмотря на повышенное содержание сульфатов в воде притоков р. Дон, влияния рр. Северский Донец, Сал и Маныч по данным пунктов наблюдений, расположенных выше и ниже впадения данных притоков, на

содержание вещества не прослеживалось. Лишь в отдельные годы ниже впадения р. Северский Донец содержание сульфатных ионов увеличивалось более чем на 10 %.

4. Влияние объема водного стока на содержание сульфатов в донской воде проявлялось в том, что в самые маловодные годы концентрация вещества в воде достигала максимальных значений на участке 1. В то же время на участке 2 такой закономерности не обнаруживалось. Это говорит о том, что между пунктами наблюдений г. Ростов-на-Дону и г. Азов содержание в воде сульфатов оставалось весьма стабильным, несмотря на изменение объема водного стока. Это может быть вызвано влиянием регулярных сгонно-нагонных явлений в дельтовой области р. Дон и сбросом сточных вод крупных городов Ростов-на-Дону и Азов: эти факторы способствуют активному перемешиванию вод, в связи с чем влияния объема водного стока р. Дон на концентрацию в воде сульфатов на данном участке не прослеживается.

4.3 Хлориды

Одним из основных источников поступления хлоридных ионов в природные является выветривание хлорсодержащих горных пород, которые весьма распространены на Юге России. Чем выше степень контакта вод с данными породами, тем сильнее будет происходить насыщение этих вод хлоридами. В связи с этим подземные воды Ростовской области зачастую характеризуются повышенным содержанием хлоридов, которое может многократно превышать 1000 мг/л.; также в данном регионе на протяжении последних десятилетий наблюдается повышенное содержание вещества в почвенном покрове в результате процессов засоления хлоридного типа [11, 25].

По итогам обработки многолетних данных было установлено, что на всех рассматриваемых участках нижнего течения р. Дон происходило увеличение концентрации хлоридов в воде (в среднем на 31,7 мг/л в десятилетие – 22 % в десятилетие). Наиболее интенсивный прирост

содержания вещества в воде р. Дон наблюдался на участке от г. Константиновск до ст-цы Багаевская (51,9 мг/л в год – 35 % в десятилетие). Здесь же отмечалась и наиболее выраженная пространственная неоднородность среднемноголетнего содержания хлоридов в воде (на 37-55 % больше относительно пункта наблюдений г. Константиновск).

Ниже по течению – от г. Ростов-на-Дону вплоть до нижнего края дельты реки – концентрация хлоридов увеличивалась не столько значительно – на 14,0-16,0 мг/л в десятилетие (10-12 % в десятилетие), а их пространственная изменчивость была относительно менее выраженной (таблица 20). Выявленная закономерность свидетельствует о снижении скорости изменения содержания вещества вниз по течению реки во временном и пространственном разрезах. Здесь относительно велики были минимальные среднегодовые концентрации хлоридов (103-105 мг/л), что может быть связано с влиянием комплекса морских факторов, обеспечивающих регулярное поступление хлоридных ионов в дельтовую область реки в результате нагонных явлений [74, 105].

Таблица 20 – Основные параметры содержания хлоридов в воде за период 2000-2024 гг.

на рис. 1	Пункт (створ) (км от устья)	$C \pm \sigma^1$ мин.-макс., мг/л	Скорость изменения, мг/л в десятилетие ²
1	г. Константиновск (203)	$107 \pm 40,1$ 57,0-199	44,6
2а	г. Семикаракорск, выше города (178)	$147 \pm 58,7$ 60,0-275	55,4
2б	г. Семикаракорск, ниже города (165)	$162 \pm 61,0$ 66,3-296	55,2
3	ст-ца Раздорская (151)	$161 \pm 59,2$ 63,1-287	44,5

на рис. 1	Пункт (створ) (км от устья)	$C \pm \sigma^1$ мин.-макс., мг/л	Скорость изменения, мг/л в десятилетие ²
4а	ст-ца Багаевская, выше ст-цы (117)	$152 \pm 52,1$ 66,0-247	52,7
4б	ст-ца Багаевская, ниже ст-цы (97)	$166 \pm 58,5$ 66,4-282	58,8
5а	г. Ростов-на-Дону, выше города (62)	$135 \pm 18,9$ 103-169	14,3
5б	г. Ростов-на-Дону, в черте (52)	$137 \pm 18,5$ 104-190	14,4
5в	г. Ростов-на-Дону, ниже города (34)	$130 \pm 17,3$ 103-162	14,4
6	х. Колузаево (32)	$135 \pm 18,6$ 103-175	14,0
7	х. Дугино (21)	$134 \pm 19,0$ 106-168	16,0
8а	г. Азов, выше города (18)	$135 \pm 17,9$ 105-174	14,1
8б	г. Азов, ниже города (15)	$134 \pm 18,3$ 103-172	13,3
Примечания. ¹ Представлены среднеголетние значения \pm стандартное отклонение (σ). ² Показаны только статистически значимые изменения ($p < 0,05$).			

При сравнении данных пунктов гидрохимических наблюдений г. Константиновск и г. Азов обнаруживалась статистически значимая пространственная изменчивость содержания хлоридов в воде: концентрация вещества в воде увеличивалась в среднем на 25 %.

Сравнительный анализ многолетних периодов (2001-2012 и 2013-2024 гг.) свидетельствует о значительном увеличении среднегодовых значений содержания хлоридов в нижнем течении р. Дон в среднем на 46 % (рисунки 50 и 51).

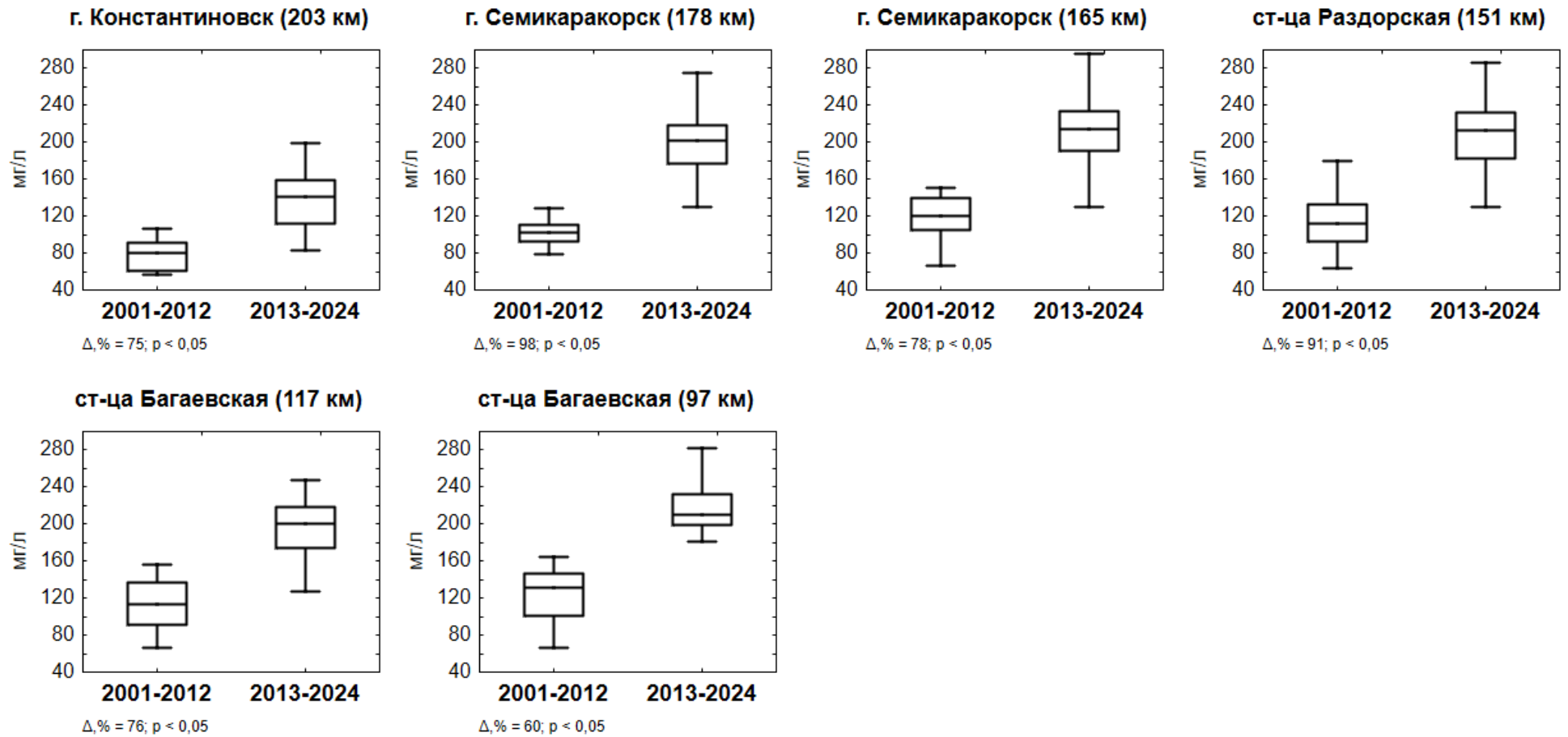


Рисунок 50 – Диаграммы размаха среднегодовых концентраций хлоридов в воде на участке 1 за периоды 2001-2012 и 2013-2024 гг. с указанием Δ (%) относительно исходного периода

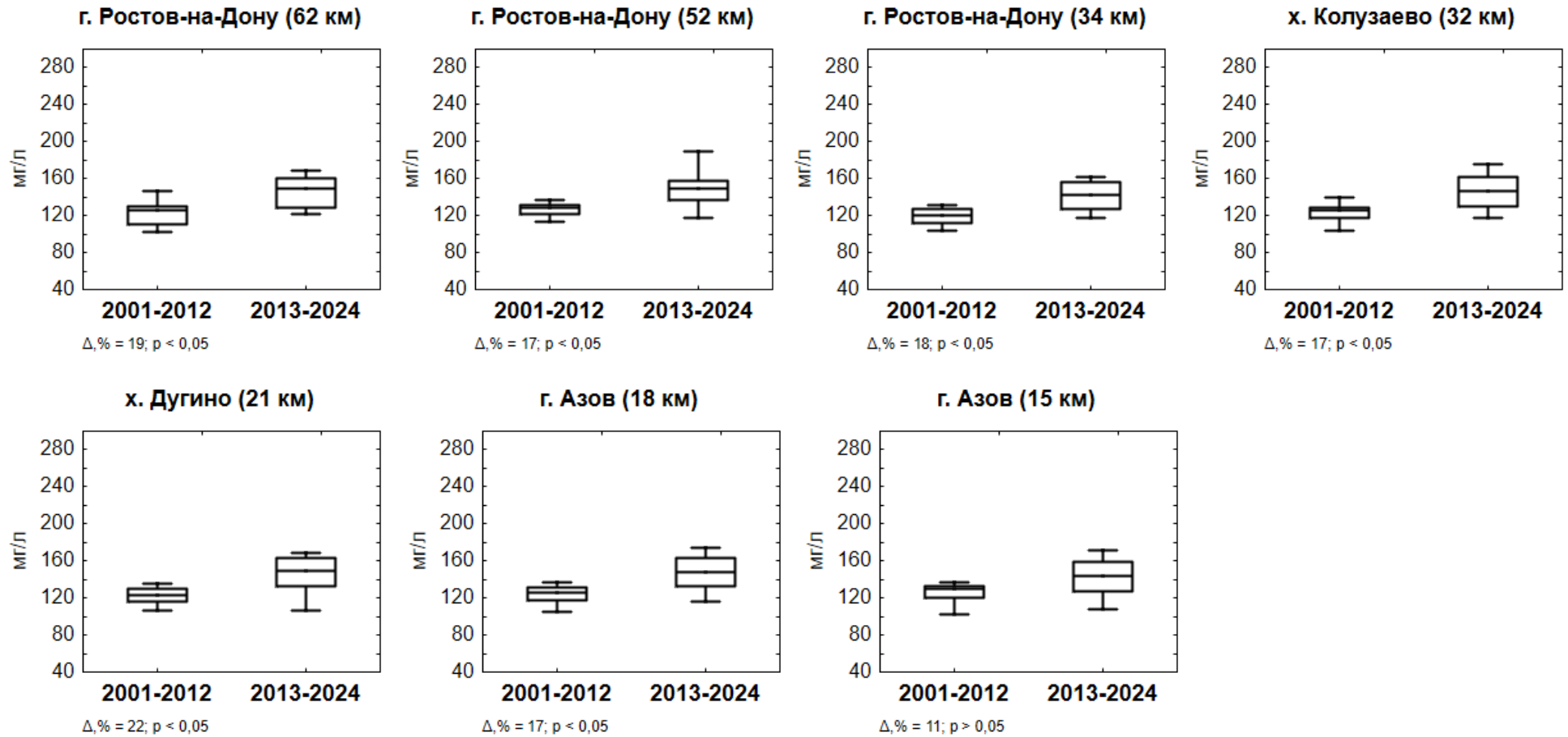


Рисунок 51 – Диаграммы размаха среднегодовых концентраций хлоридов в воде на участке 2 за периоды 2001-2012 и 2013-2024 гг. с указанием Δ (%) относительно исходного периода

При этом на участке от г. Константиновск до ст-цы Багаевской их среднегодовая концентрация возросла особенно сильно – на 80 %. На участке г. Ростов-на-Дону и ниже концентрация хлоридов возросла лишь – на 18-20 %.

Только по данным одного пункта наблюдений г. Азов (15 км) не отмечалось временной изменчивости содержания хлоридов в воде. Это вызвано максимальной приближенностью данного участка к Таганрогскому заливу и большей подверженности процессам проникновения морских вод в дельту р. Дон [56]. Стоит отметить, что влияние вод Таганрогского залива – весьма сложный процесс, поскольку объем и продолжительность их проникновения в дельту р. Дон может сильно отличаться в зависимости от погодных условий. Кроме того, ионный состав вод Таганрогского залива характеризуется значительной пространственно-временной неоднородностью, которая зависит как от комплекса морских факторов, так и от объема поступления главных ионов с водой р. Дон в восточную часть залива. Вдобавок к этому «разбавляющее» воздействие на ионный состав вод в данном пункте наблюдений может оказывать сброс сточных вод г. Азов (выпуск сточных вод города расположен в 1 км выше по течению). Наибольшее увеличение концентрации хлоридов отмечалось в пункте наблюдений г. Семикаракорск (178 км), расположенном ниже впадения р. Северский Донец в р. Дон. В связи с этим важно рассмотреть влияние этого притока на содержание хлоридов в донской воде. В таблице 21 представлена информация о транспорте хлоридных ионов с водой р. Северский Донец за период 2000-2024 гг.

Таблица 21 – Сток хлоридов с водой р. Северский Донец (г. Белая Калитва)

Период	Сток (среднее) тыс. т/в год
2000-2004	942
2005-2009	1092
2010-2014	868
2015-2019	1025
2020-2024	1000

В рамках рассматриваемого периода с водой р. Северский Донец выносилось в среднем 987 тыс. т хлоридных ионов в год. В то же время транспорт этого вещества с водой р. Дон по данным пункта наблюдений ст-ца Раздорская составлял в среднем 2763 тыс. т в год. Это говорит о том, что доля привноса хлоридов с водой р. Северский Донец составляла примерно 35 %.

Ниже на рисунке 52 представлены результаты сравнительного анализа содержания в воде р. Дон хлоридов в пунктах наблюдений, расположенных выше и ниже впадения р. Северский Донец.

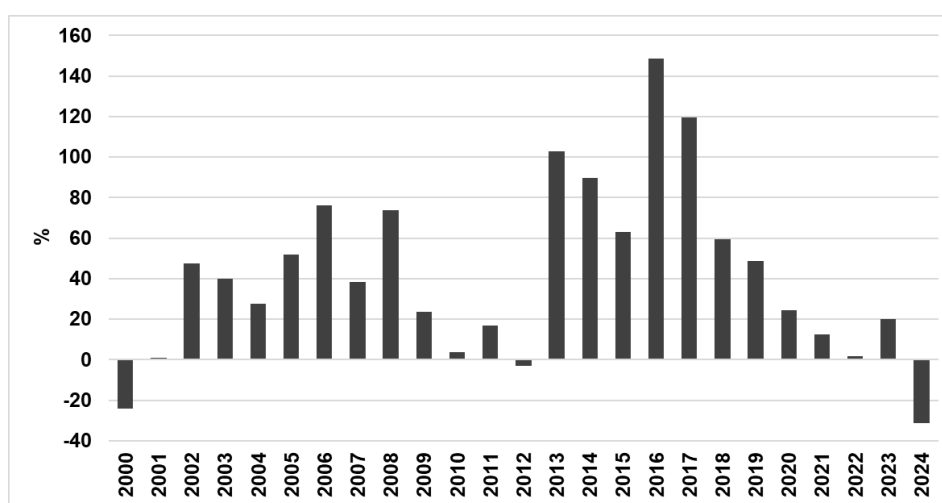


Рисунок 52 – Изменение содержания хлоридов в воде р. Дон в пункте г. Семикаракорск (178 км) относительно пункта г. Константиновск (203 км),
%

В рамках рассматриваемого периода отмечалось статистически значимое влияние р. Северский Донец на увеличение содержания хлоридов в донской воде. Ниже впадения притока в р. Дон концентрация вещества увеличивалась в среднем на 41 %, что является достаточно высоким показателем. В ряду данных выделяются среднегодовые значения 2013, 2016 и 2017 гг., когда под влиянием этого крупного правобережного притока концентрация хлоридов в донской воде возрастала более чем на 100 %.

Наблюдаемая закономерность может свидетельствовать о том, что вода р. Северский Донец характеризовалась относительно повышенным

содержанием данного вещества в тот период. Так, известно, что в 2015-2019 гг. содержание хлоридных ионов в непосредственно устьевой области р. Северский Донец (р. п. Усть-Донецкий) составляло порядка 270 мг/л, что примерно в 2 раза выше, чем в р. Дон до впадения в него р. Северский Донец за этот же период [142].

В 20 км ниже впадения р. Северский Донец расположена р. Сал, впадающая в р. Дон с левого берега. К антропогенным факторам, способным оказывать значительное влияние на увеличение поступления хлоридов в р. Сал относятся оросительные каналы. Сброс их коллекторно-дренажного стока периодически осуществляется в водные объекты, относящиеся к бассейну р. Сал. Химический состав мелиоративных вод в большинстве случаев характеризуется повышенным содержанием хлоридных ионов, которое может превышать 900 мг/л [38].

Однако важно отметить, что водный сток р. Сал значительно меньше, чем р. Северский Донец. В связи с этим она обеспечивала сравнительно меньший привнос хлоридов в р. Дон (таблица 22).

Таблица 22 – Сток хлоридов с водой р. Сал (х. Балабинка), тыс. т

Период	Сток (среднее), тыс. т/в год
2000-2004	154
2005-2009	156
2010-2014	122
2015-2019	80,3
2020-2024	94,0

За период с 2000 по 2024 г. с водой р. Сал выносилось в среднем 116 тыс. т хлоридов. Обращает на себя внимание убывающая тенденция в переносе рассматриваемого вещества через пункт наблюдений в х. Балабинка. Это связано с тем, что водный сток р. Сал в последние годы заметно снижался [2]. Ниже на рисунке 53 представлена столбчатая диаграмма, характеризующая

изменчивость содержания хлоридов в воде р. Дон выше и ниже впадения р. Сал.

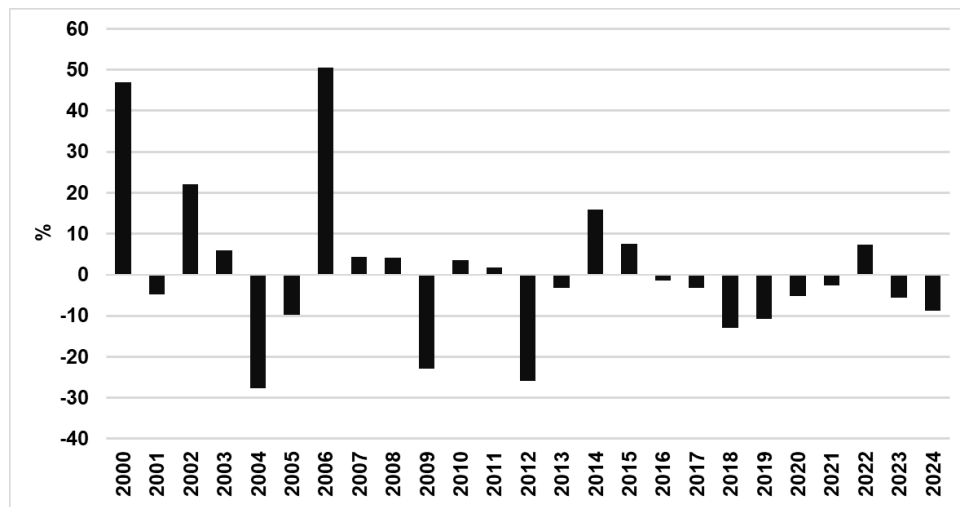


Рисунок 53 – Изменение содержания хлоридов в воде р. Дон в пункте ст-ца Раздорская (151 км) относительно пункта г. Семикаракорск (178 км), %

В рамках рассматриваемого периода статистически значимого влияния р. Сал на изменчивость содержания хлоридов в воде р. Дон обнаружено не было. Лишь в отдельные годы наблюдалось заметное увеличение концентрации вещества при сравнении данных двух пунктов наблюдений. Ниже рассмотрено влияние р. Маныч (рисунок 54).

За период с 2015 по 2019 г. содержание хлоридных ионов по данным пункта наблюдений, расположенного в ст-це Манычской, составляло в среднем 284 мг/л [142]. В этот же временной период содержание вещества в донской воде в пункте наблюдений ст-ца Багаевская (97 км) составляло в среднем 204 мг/л. Повышенное содержание хлоридов в воде р. Маныч относительно р. Дон подтверждается также результатами регулярных экспедиционных исследований. Это объясняется как природными факторами, так и особенностями хозяйственной деятельности в бассейне реки [54, 77].

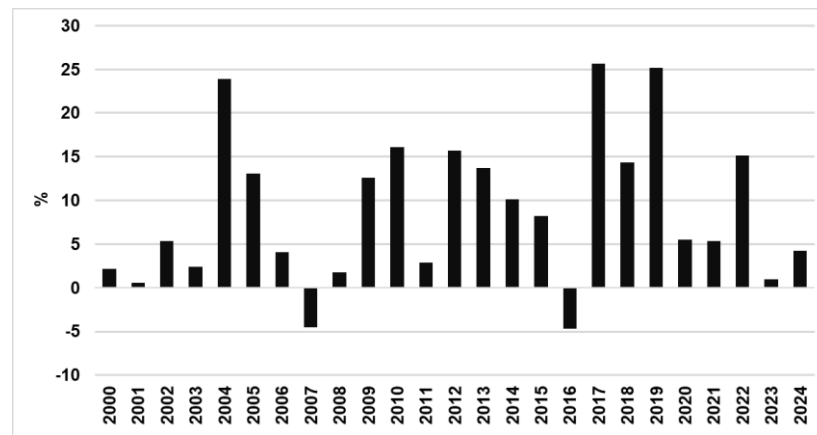


Рисунок 54 – Изменение содержания хлоридов в воде р. Дон в створе ст-ца Багаевская (97 км) относительно створа ст-ца Багаевская (117 км), %

При рассмотрении содержания в воде хлоридных ионов в разные группы лет обобщенные по признаку объема водного стока наибольшая их концентрация отмечалась именно в периоды наиболее острого маловодья. На участке содержание вещества в воде в маловодные годы составляло в среднем 199 мг/л, в многоводные годы – 106 мг/л. Участок 2 также характеризовался значительным отличием концентрации хлоридов в зависимости от объема водного стока: в маловодные годы концентрация составляла в среднем 166 мг/л, в многоводные – 115 мг/л (рисунок 55).

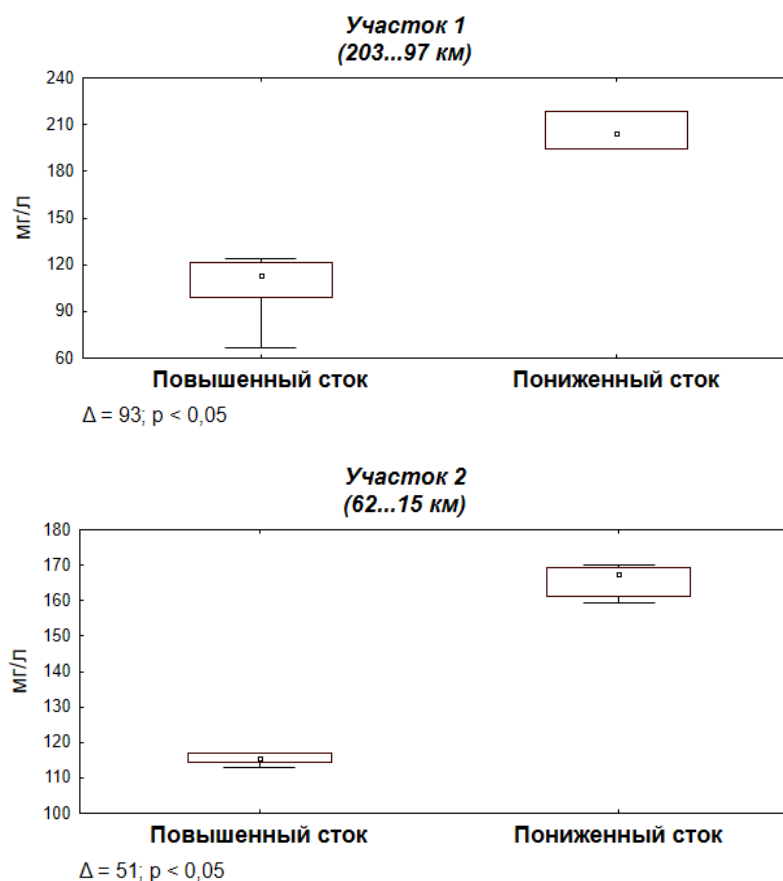


Рисунок 55 – Диаграммы размаха концентрации в воде хлоридов при повышенном и пониженном водном стоке на характерных участках

При определенных погодных условиях участок 2, локализованный между пунктами наблюдений г. Ростов-на-Дону (62 км) и г. Азов (15 км) подвергается влиянию комплекса морских факторов. В результате многочисленных исследований было установлено, что в периоды пониженного стока р. Дон возрастает влияние морских вод Азовского моря на состав вод устьевой области: воды Таганрогского залива в результате нагонных явлений способны проникать вплоть до водозабора г. Ростов-на-Дону, повышая тем самым концентрацию хлоридов в воде [15, 44].

Однако важно отметить, что нагонные явления зачастую носят кратковременный характер и отличаются по степени своей интенсивности, поэтому их влияние возможно обнаружить только при отборе проб воды непосредственно в период нагона.

Непосредственно поступление хлоридных ионов в нижнее течение р. Дон обеспечивается увеличением роли подземного и грунтового питания реки в последние десятилетия на фоне сокращения доли снегового питания. Как показано выше в разделе «2.2 Антропогенные факторы», гидролого-гидрохимический режим грунтовых и подземных вод в Нижнем Дону значительно трансформирован в результате хозяйственной деятельности. В левобережной части бассейна это вызвано функционированием обводнительно-оросительных систем, нарушающих естественный уровень залегания грунтовых вод. В результате этого могут происходить подтопления территорий и увеличение содержания хлоридных ионов в грунтовой воде по причине их вымывания из засоленных каштановых почв различного типа.

В правобережной части Нижнего Дона наблюдается нарушение естественного химического состава и уровня залегания подземных вод в результате реструктуризации угледобывающей промышленности, которая началась в 1990-е годы. В последствие этого происходило увеличение поступления хлоридных ионов в поверхностные воды. Так, согласно ранее опубликованным данным, за период с 1999 по 2015 г. поступление хлоридов в бассейны рр. Северский Донец и Тузлов увеличилось с 17 до 27 тыс. т [21].

Выводы

1. Результаты изучения пространственно-временной изменчивости содержания хлоридов в нижнем течении р. Дон свидетельствуют о весьма интенсивном увеличении содержания вещества в воде на протяжении рассматриваемого периода (на 31,7 мг/л в десятилетие – 22 % в десятилетие). В то же время скорость увеличения среднегодовой концентрации хлоридных ионов на участке реки от г. Ростов-на-Дону до г. Азов в целом была несколько ниже (14,3-16,0 мг/л в десятилетие – 10-12 % в десятилетие).

2. Результаты сравнительного анализа среднегодовых данных за два многолетних периода (2001-2012 и 2013-2024 гг.) свидетельствуют о том, что в нижнем течении р. Дон происходило статистически значимое увеличение

концентрации вещества в воде, которое в среднем составило 46 %. В наибольшей степени концентрация возросла в пункте наблюдений г. Семикаракорск, который расположен ниже впадения р. Северский Донец (на 98 %).

3. При рассмотрении влияния притоков на пространственную неоднородность концентрации хлоридов в донской воде была выявлена роль р. Северский Донец: ниже его впадения в р. Дон содержание вещества в воде возрастало в среднем на 41 %. Несмотря на тот факт, что в воде рр. Сал и Маныч содержалось относительно более высокое содержание хлоридных ионов, влияния этих притоков выявлено не было.

4. Отмечалось заметное статистически значимое влияние объема водного стока на содержание хлоридов в воде р. Дон: в наиболее маловодные годы концентрация вещества по данным всех пунктов наблюдений составляла в среднем 182 мг/л, в наиболее многоводные годы – 111 мг/л.

4.4 Магний

Природными источниками поступления магния в поверхностные воды являются процессы химического выветривания карбонатных и базальтовых пород: доломита, магнезита, оливина, глинистых минералов, силикатов и других. На территории бассейна Нижнего Дона наиболее распространены карбонатные породы (известняк, пясчий мел, мергель и др.) [25]. В качестве антропогенных факторов поступления магния в природные воды – помимо сброса сточных вод – выступают виды деятельности, приводящие к нарушению уровня подземных и грунтовых вод, а также мелиоративные мероприятия на орошаемых территориях [79].

Среднегодовые значения содержания в воде магния говорят о неоднозначности тренда его временной изменчивости на всем изучаемом участке р. Дон (таблица 23). Статистически значимый рост был характерен только для участка от г. Константиновск до ст-цы Багаевской и составил в

среднем 8,18 мг/л в десятилетие – 21 % в десятилетие. В наибольшей степени хронологическое увеличение концентрации вещества отмечалось ниже впадения р. Северский Донец – пункт наблюдений г. Семикаракорск (178 км). В то же время ниже впадения р. Маныч и вплоть до нижнего края дельты р. Дон (г. Азов) статистически значимого тренда изменения концентрации магния во времени не обнаруживалось. При рассмотрении пространственной неоднородности распределения соединений магния в воде стоит отметить ее относительно слабую выраженность: среднемноголетние значения концентрации по всем пунктам наблюдений колебались от 35 до 42 мг/л. При сравнении данных пунктов гидрохимических наблюдений г. Константиновск и г. Азов статистически значимая пространственная изменчивость содержания магния в воде не обнаруживалась.

Таблица 23 – Основные параметры среднегодовых значений содержания магния в воде за период 2000-2024 гг.

на рис. 1	Пункт (створ) (км от устья)	$\underline{C \pm \sigma^1}$ мин.-макс., мг/л	Скорость изменения, мг/л в десятилетие ²
1	г. Константиновск (203)	$\underline{35,5 \pm 10,2}$ 17,9-62,4	6,05
2а	г. Семикаракорск, выше города (178)	$\underline{38,9 \pm 12,7}$ 20,8-70,9	10,2
2б	г. Семикаракорск, ниже города (165)	$\underline{40,6 \pm 12,6}$ 25,8-73,8	9,72
3	ст-ца Раздорская (151)	$\underline{40,1 \pm 12,4}$ 24,2-68,3	9,00
4а	ст-ца Багаевская, выше ст-цы (117)	$\underline{40,0 \pm 9,82}$ 26,4-67,8	6,73
4б	ст-ца Багаевская, ниже ст-цы (97)	$\underline{42,0 \pm 11,2}$ 24,3-70,0	7,39
5а	г. Ростов-на-Дону, выше города (62)	$\underline{37,3 \pm 4,46}$ 30,5-46,5	—

на рис. 1	Пункт (створ) (км от устья)	$\underline{C \pm \sigma^1}$ мин.-макс., мг/л	Скорость изменения, мг/л в десятилетие ²
5б	г. Ростов-на-Дону, в черте (52)	$\underline{37,8 \pm 5,07}$ 30,8-47,4	—
5в	г. Ростов-на-Дону, ниже города (34)	$\underline{36,3 \pm 4,67}$ 28,1-48,3	—
6	х. Колузаево (32)	$\underline{36,3 \pm 4,42}$ 28,6-44,7	—
7	х. Дугино (21)	$\underline{38,5 \pm 4,72}$ 31,3-47,7	—
8а	г. Азов, выше города (18)	$\underline{37,9 \pm 4,77}$ 30,6-50,2	—
8б	г. Азов, ниже города (15)	$\underline{37,0 \pm 4,54}$ 28,6-46,2	—

Примечания. ¹ Представлены среднеголетние значения \pm стандартное отклонение (σ). ² Показаны только статистически значимые изменения ($p < 0,05$).

Ниже на рисунках 56 и 57 представлены диаграммы размаха концентраций магния в воде нижнего течения р. Дон по данным пунктов наблюдений за два многолетних периода: 2001-2012 и 2013-2014 гг.

Статистически значимый рост содержания вещества относительно исходного временного периода наблюдался на отрезке от г. Константиновск до ст-цы Раздорская и составил в среднем 34 %. В наибольшей степени он был выражен в ст-це Раздорская и составил 39 %.

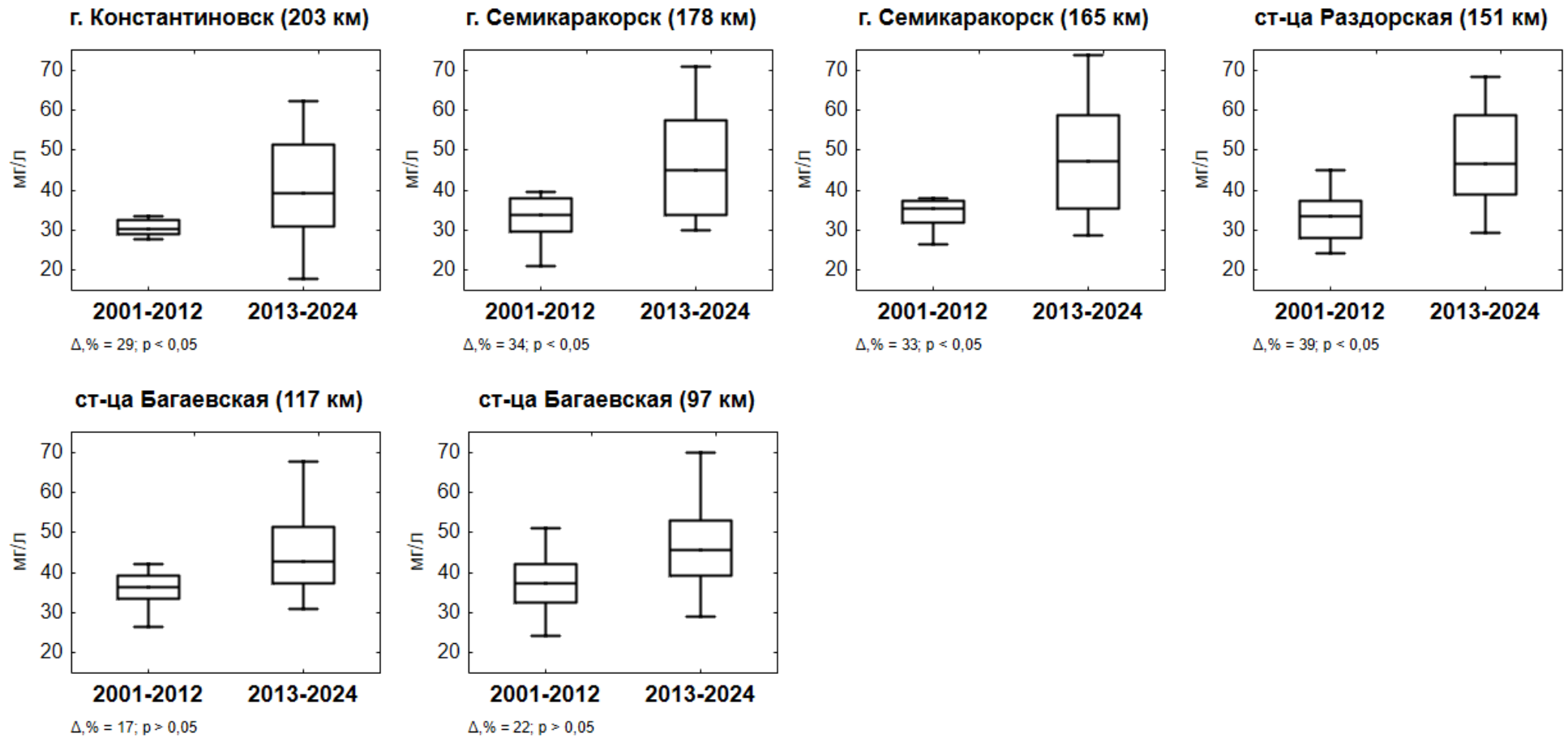


Рисунок 56 — Диаграммы размаха среднегодовых концентраций магния в воде на участке 1 за периоды 2001-2012 и 2013-2024 гг. с указанием Δ (%) относительно исходного периода

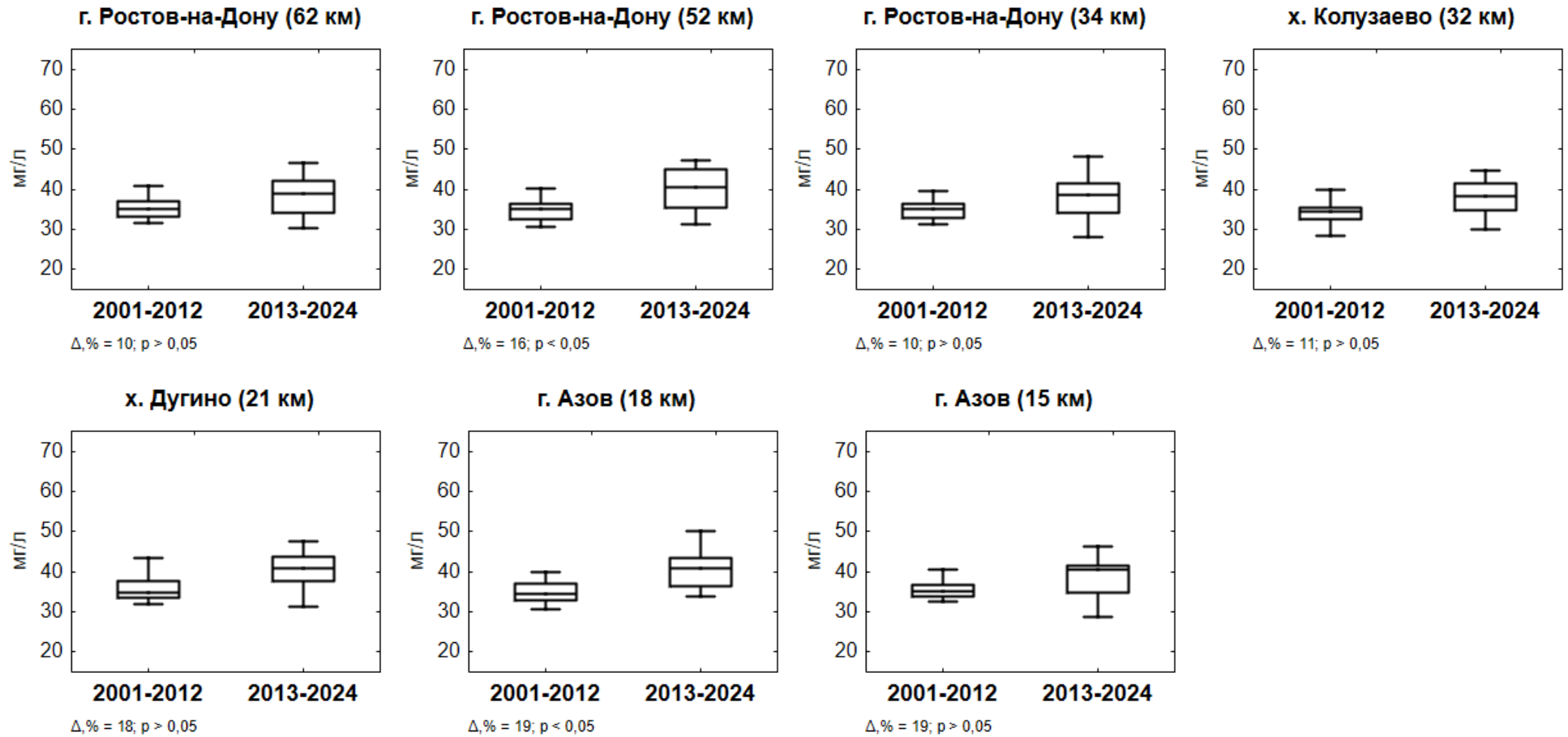


Рисунок 57 – Диаграммы размаха среднегодовых концентраций магния в воде на участке 2 за периоды 2001-2012 и 2013-2024 гг. с указанием Δ (%) относительно исходного периода

Обращает на себя внимание отличие в разбросе среднегодовых значений концентрации при сравнении многолетних периодов. Так, в 2013-2024 гг. среднегодовые значения содержание магния в воде колебались в более широких диапазонах, чем в 2001-2012 гг. Особенно это выражено на участке 1. На участке 2 размах значений был менее выражен, что говорит о более устойчивом процессе поступления вещества в р. Дон на данной территории.

Так как наиболее выраженное увеличение концентрации вещества было отмечено в пункте наблюдений, расположенном ниже впадения р. Северский Донец, целесообразно рассмотреть вопрос о потенциальном влиянии этого притока на содержание ионов магния в донской воде. Согласно современным опубликованным данным по химическому составу вод р. Северский Донец, в ее приустьевом участке за период 2015-2019 гг. содержание соединений магния составляло в медианном выражении 70,9, мг/л, что в 1,7 раза выше, чем в р. Дон по данным пункта г. Константиновск (42,2 мг/л) [142]. Это служит поводом считать данный приток потенциальной причиной увеличения концентрации соединений магния на рассматриваемой территории.

В таблице 24 представлена информация о выносе магния с водой р. Северский Донец.

Таблица 24 – Сток ионов магния с водой р. Северский Донец (г. Белая Калитва)

Период	Сток (среднее), тыс. т/в год
2000-2004	234
2005-2009	245
2010-2014	181
2015-2019	240
2020-2024	240

За период 2000-2024 гг. с водой этого притока выносилось магния в среднем 228 тыс. т в год. В то же время транспорт ионов магния с водой р. Дон

по данным пункта ст-ца Раздорская составлял в среднем 692 тыс. т в год, т. е. доля р. Северский Донец в переносе ионов магния достигала в среднем 33 %.

Обращает на себя внимание значительная разнонаправленная изменчивость содержания вещества на участке реки в месте впадения этого крупного притока (рисунок 58). Так, в отдельные годы ниже его впадения содержание магния увеличивалось в 1,7-1,9 раза. Несмотря на такие случаи, статистически значимого влияния р. Северский Донец на пространственную неоднородность содержания вещества в донской воде выявлено не было.

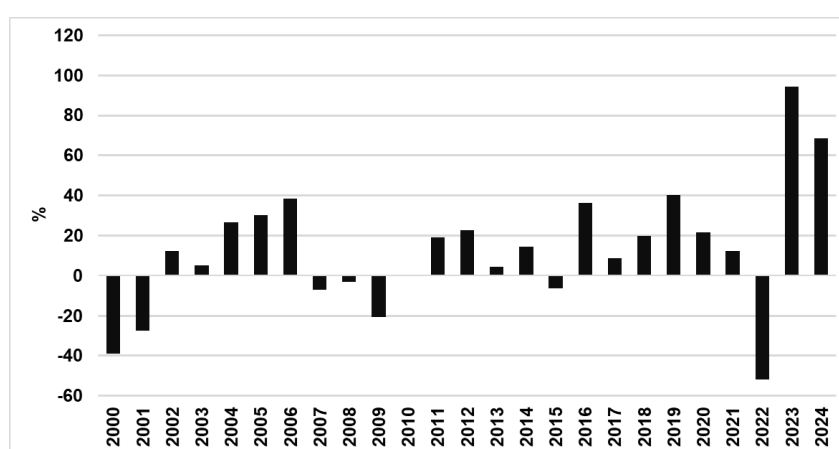


Рисунок 58 – Изменение содержания ионов магния в воде р. Дон в пункте г. Семикаракорск (178 км) относительно пункта г. Константиновск (203 км),
%

Ниже в таблице 25 представлена информация о выносе магния с водой р. Сал за период 2000-2024 гг. Как видно из представленной таблицы, в течение рассматриваемого периода вынос магния в р. Дон непрерывно снижался. Это говорит о том, что влияние данного притока на неоднородность содержания вещества в воде также должно неуклонно уменьшаться. Незначительное влияние р. Сал на привнос магния в нижнее течение р. Дон также можно объяснить относительно невысоким уровнем содержания вещества в воде.

Таблица 25 – Сток ионов магния с водой р. Сал (х. Балабинка)

Период	Сток (среднее), тыс. т/в год
2000-2004	32,0
2005-2009	28,7
2010-2014	18,7
2015-2019	16,0
2020-2024	13,4

Так, согласно наиболее актуальным опубликованным данным, его концентрация составляет в среднем 58,0-67,0 мг/л, что в целом не сильно превышает содержание в р. Дон в последние годы [118, 122]. В результате сравнительного анализа нами было установлено, что содержание магния в устьевой области р. Сал в 2011-2017 гг. было больше, чем в 2011-2017 гг. на 10 %.

Отсутствие влияния воды р. Сал на содержание магния в воде р. Дон подтверждается результатами анализа многолетних рядов данных пунктов наблюдений, расположенных выше и ниже впадения р. Сал в р. Дон (рисунок 59).

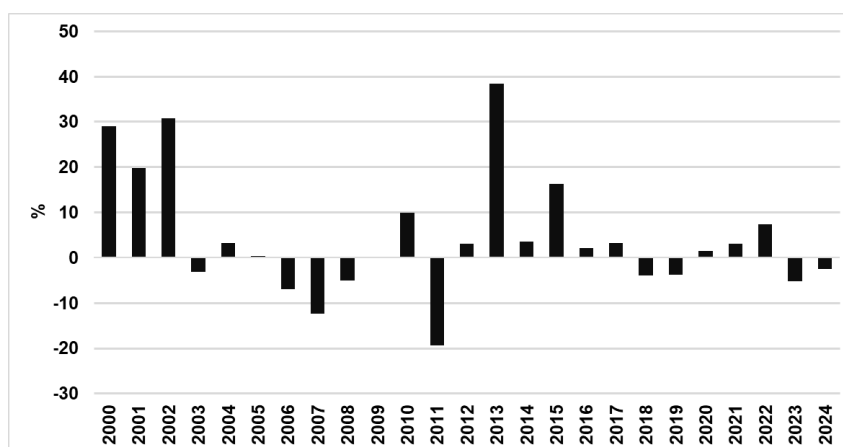


Рисунок 59 – Изменение содержания ионов магния в воде р. Дон в пункте ст-ца Раздорская (151 км) относительно пункта г. Семикаракорск (178 км), %

За период с 2000 по 2024 г. статистически значимого влияния р. Сал на пространственную изменчивость содержания магния в воде р. Дон выявлено не было.

Рассмотрим влияние р. Маныч. В связи с отсутствием данных о водном стоке этой реки расчет массы магния, поступающей с водой этой реки в р. Дон не представляется возможным. Однако по литературным данным известно, что водный сток р. Маныч невелик и соизмерим с р. Сал [67].

За весь рассматриваемый продолжительный период влияние р. Маныч на изменчивость содержания в воде магния носило разнонаправленный характер и не было статистически значимым (рисунок 60).

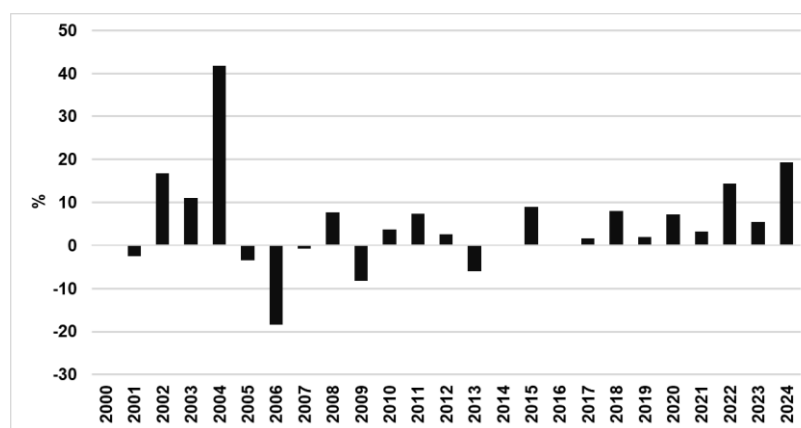


Рисунок 60 – Изменение содержания ионов магния в воде р. Дон в ст-це Багаевской (97 км) относительно ст-цы Багаевской (117 км), %

Такое неоднозначное влияние р. Маныч привлекает к себе внимание, поскольку содержание в ее воде соединений магния в 2015-2019 гг. в среднем составляло 72,6 мг/л, что примерно в 2 раза превышает этот показатель в воде р. Дон [142].

Ниже на рисунке 61 представлена информация, характеризующая концентрации магния в воде р. Дон в маловодные и многоводные годы. По результатам усреднения данных пунктов гидрохимических наблюдений, приуроченных к условно выделенным участкам (1 и 2), отмечалась наибольшая концентрация вещества именно в самые маловодные периоды.

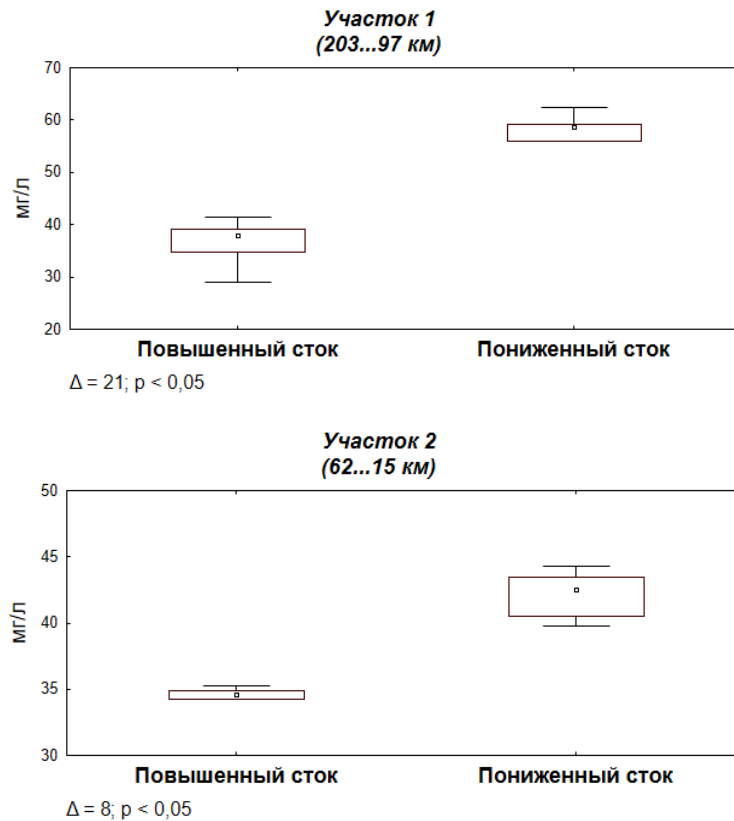


Рисунок 61 – Диаграммы размаха концентрации в воде магния при повышенном и пониженном водном стоке на характерных участках

На участке 1, который ограничен пунктами наблюдений г. Константиновск и ст-ца Багаевская, концентрация магния в самые маловодные годы составляла в среднем 57,7 мг/л, в самые многоводные – 36,8 мг/л. На участке 2 отличия были не столь велики, однако тоже являлись статистически значимыми: в самые маловодные годы концентрация составляла 42,2 мг/л, в самые многоводные – 34,4 мг/л. Полученные результаты статистического анализа гидрохимических данных свидетельствуют о том, что водный сток р. Дон является определяющим фактором концентрации магния в воде на участке от г. Константиновск до г. Азов.

Выводы

1. В рамках рассматриваемого периода 2000-2024 гг. рост концентрации магния в воде нижнего течения р. Дон наблюдался на участке от г. Константиновск до ст-цы Багаевская и составил в среднем 8,18 мг/л в десятилетие – 21 % в десятилетие. В то же время на участке, расположенном от пункта наблюдений г. Ростов-на-Дону и ниже, статистически значимого изменения содержания в воде магния не отмечалось.

2. При сравнении данных среднегодовых концентраций за два 12-летних периода (2001-2012 и 2013-2024 гг.) был выявлен статистически значимый рост увеличения концентрации вещества от г. Константиновск до ст-цы Раздорская, который составил в среднем 34 %. По данным других пунктов наблюдений какой-либо закономерности не прослеживалось.

3. Статистически значимого воздействия рр. Северский Донец, Сал и Маныч на пространственную неоднородность концентрации магния в воде р. Дон не было выявлено.

4. Отмечались повышенные концентрации магния в самые маловодные годы и пониженные концентрации в самые полноводные годы. В наибольшей степени это было выражено на участке р. Дон от г. Константиновск до ст-цы Багаевская.

4.5 Кальций

Поступление кальция в поверхностные воды обусловлено растворением горных пород, включающих в себя кальцит, арагонит, гипс и другие. Наряду с магнием данное вещество определяет бóльшую часть жесткости природных вод. Его повышенное содержание в воде может быть вызвано активно развитой горнодобывающей деятельностью на водосборах рек, а также сбросом сточных вод с повышенным содержанием данного вещества [4, 144].

В пределах рассматриваемого участка нижнего течения р. Дон наблюдалось увеличение среднегодовых концентраций кальция, которое

составило 10,0 мг/л в десятилетие – 13 % в десятилетие (таблица 26). На основе полученных данных можно условно разделить изучаемую территорию на два характерных участка по скорости возрастания содержания вещества в воде. На отрезке реки от г. Константиновск до ст-цы Багаевской рост среднегодовой концентрации составлял 14,9 мг/л в десятилетие, от г. Ростов-на-Дону до г. Азов – 5,37 мг/л в десятилетие. Отсутствием статистически значимого тренда изменения концентрации вещества отличался участок в х. Дугино, расположенный на берегу правого рукава р. Дон (рук. Большая Каланча).

Таблица 26 – Основные параметры содержания кальция в воде за период 2000-2024 гг.

на рис. 1	Пункт (створ) (км от устья)	$C \pm \sigma^1$ мин.-макс., мг/л	Скорость изменения, мг/л в десятилетие ²
1	г. Константиновск (203)	$64,5 \pm 14,9$ 44,2-92,0	13,9
2а	г. Семикаракорск, выше города (178)	$82 \pm 19,7$ 52,9-125	19,1
2б	г. Семикаракорск, ниже города (165)	$82,0 \pm 20,2$ 52,9-125	19,1
3	ст-ца Раздорская (151)	$79,8 \pm 19,4$ 48,0-114	15,8
4а	ст-ца Багаевская, выше ст-цы (117)	$76,3 \pm 15,7$ 52,6-113	10,4
4б	ст-ца Багаевская, ниже ст-цы (97)	$79,5 \pm 16,6$ 55,2-116	11,3
5а	г. Ростов-на-Дону, выше города (62)	$78 \pm 9,36$ 57,1-92,6	5,32
5б	г. Ростов-на-Дону, в черте (52)	$77,5 \pm 8,58$ 57,9-92,3	5,58
5в	г. Ростов-на-Дону, ниже города (34)	$73,8 \pm 8,90$ 50,9-89,4	5,78
6	х. Колузаево (32)	$76,4 \pm 7,98$ 57,4-89,1	4,45
7	х. Дугино (21)	$74,5 \pm 9,27$ 49,9-88,3	—

на рис. 1	Пункт (створ) (км от устья)	$\bar{C} \pm \sigma^1$ мин.-макс., мг/л	Скорость изменения, мг/л в десятилетие ²
8а	г. Азов, выше города (18)	$77,3 \pm 8,62$ 60,1-91,7	5,55
8б	г. Азов, ниже города (15)	$73,2 \pm 9,34$ 51,7-88,5	5,55
Примечания. ¹ Представлены среднеголетние значения \pm стандартное отклонение (σ). ² Показаны только статистически значимые изменения: $p < 0,05$.			

При сравнении данных гидрохимических наблюдений в пунктах наблюдений г. Константиновск и г. Азов обнаруживалась статистически значимая пространственная изменчивость содержания кальция в воде: концентрация вещества в воде увеличивалась в среднем на 13 %.

Сравнение двух многолетних периодов (2001-2012 и 2013-2024 гг.) представлено на рисунках 62 и 63.

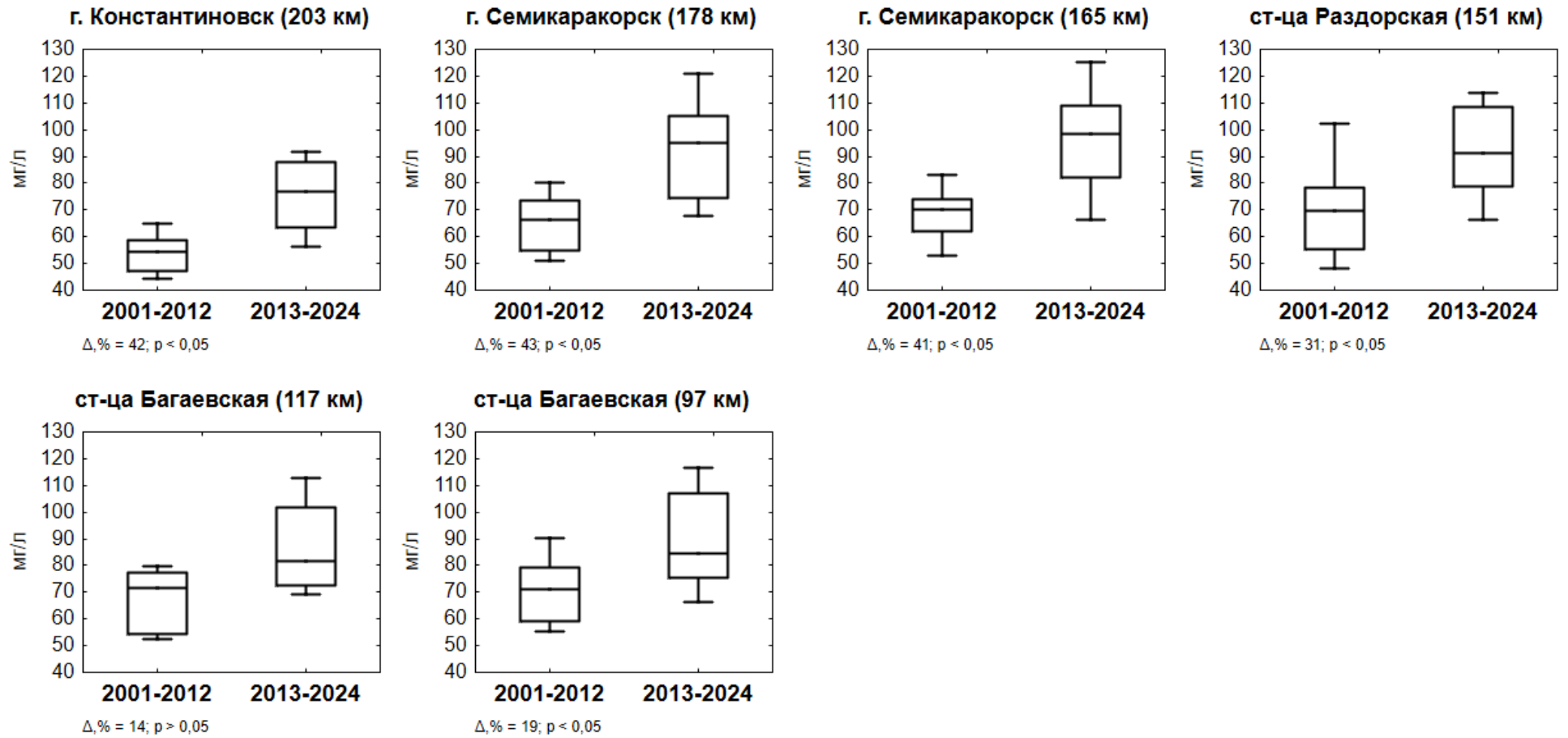


Рисунок 62 – Диаграммы размаха среднегодовых концентраций кальция в воде на участке 1 за периоды 2001-2012 и 2013-2024 гг. с указанием Δ (%) относительно исходного периода

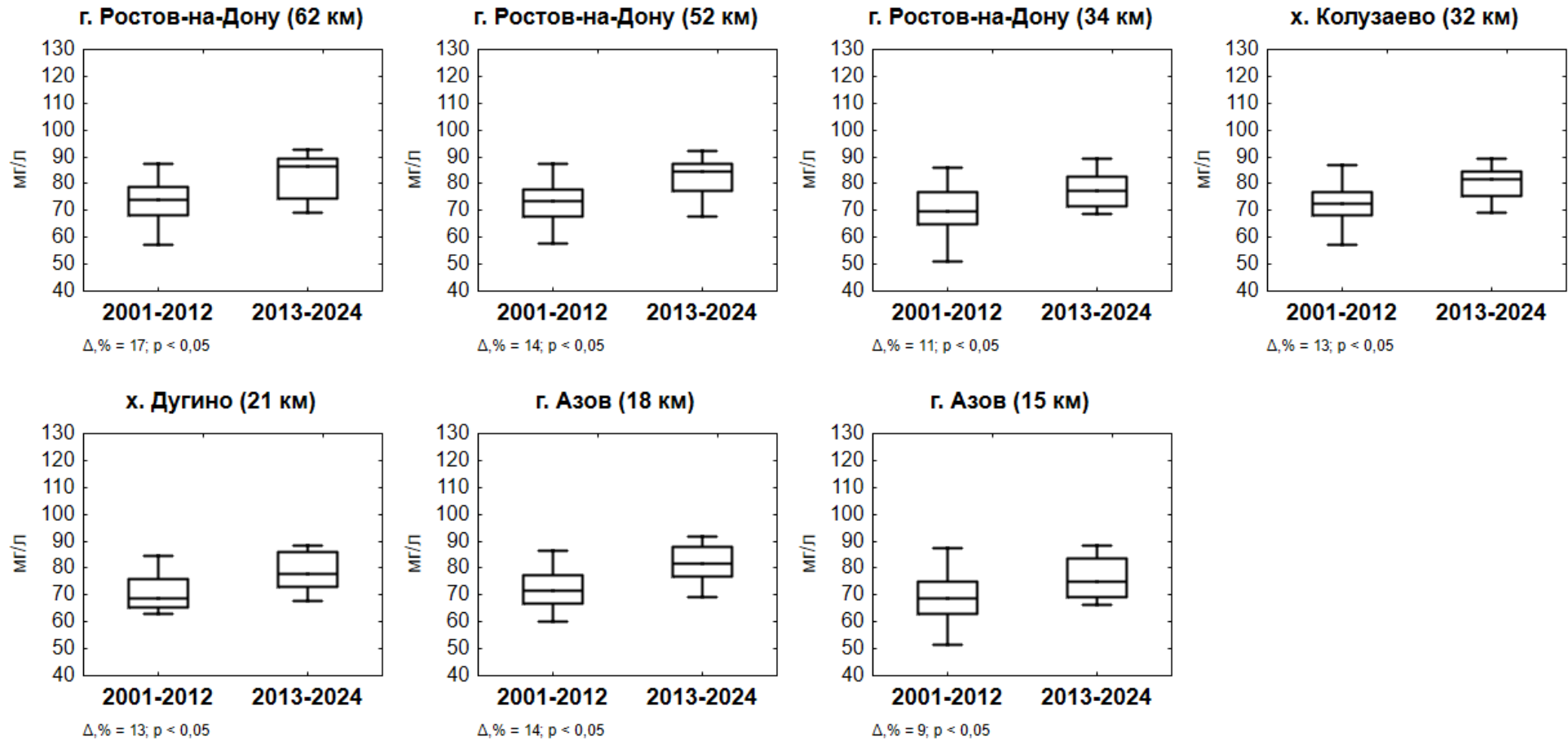


Рисунок 63 – Диаграммы размаха среднегодовых концентраций кальция в воде на участке 2 за периоды 2001-2012 и 2013-2024 гг. с указанием Δ (%) относительно исходного периода

При изучении пространственной неоднородности содержания в воде кальция необходимо рассмотреть влияние притоков первого порядка. Ниже в таблице 27 представлена информация о поступлении кальция с водой р. Северский Донец.

Таблица 27 – Среднемноголетний сток кальция с водой р. Северский Донец (г. Белая Калитва)

Период	Сток (среднее), тыс. т/в год
2000-2004	661
2005-2009	756
2010-2014	463
2015-2019	472
2020-2024	463

За период с 2000 по 2024 гг. с водой р. Северский Донец в среднем выносилось 559 тыс. т кальция в год. В то же время транспорт вещества в р. Дон через пункт ст-ца Раздорская был в 1,4 раза выше – 1379 тыс. т в год. Это говорит о том, что данный приток является потенциально значимым фактором поступления кальция в нижнее течение р. Дон.

Данное утверждение подтверждается статистически при сравнении гидрохимических данных, полученных в пунктах наблюдений, которые расположены выше и ниже впадения р. Северский Донец в р. Дон (рисунок 64). В среднем за период с 2000 по 2024 гг. после впадение данного притока содержания кальция увеличивалось на 21 %. Обращает на себя внимание устойчивость наблюдаемого процесса – за весь период отмечалась исключительно положительная пространственная динамика изменения концентрации кальция в воде р. Дон ниже впадения р. Северский Донец.

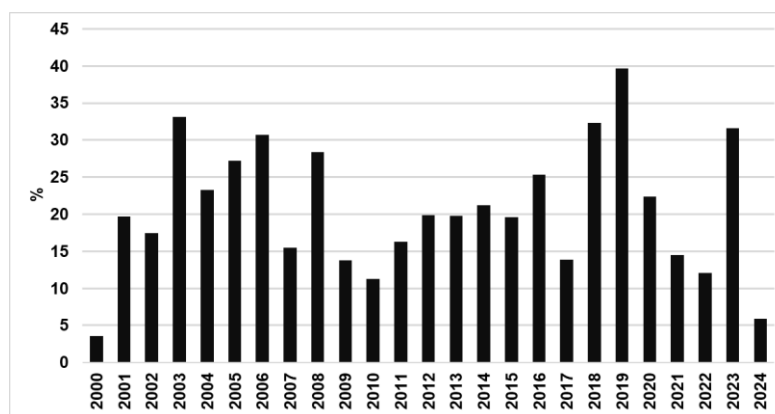


Рисунок 64 – Изменение содержания кальция в воде р. Дон в пункте г. Семикаракорск (178 км) относительно пункта г. Константиновск (203 км),
%

Это связано с тем, что в воде р. Северский Донец концентрация вещества выше, чем в р. Дон. В 2023-2024 гг. проведенные гидрохимические исследования показали, что содержание кальция в воде р. Северский Донец находилось в диапазоне 136-161 мг/л [7]. В р. Дон по данным пункта г. Константиновск в этот же период показатель среднегодового содержания кальция был значительно ниже (89-92 мг/л). Другими исследователями также подтверждено относительно повышенное содержание кальция в воде бассейна Северского Донца [16, 47, 89].

В таблице 28 представлена информация о выносе кальция с водой р. Сал. Обращает на себя внимание сокращение массы кальция, поступающего в р. Дон с водой этого притока.

Таблица 28 – Сток кальция с водой р. Сал (х. Балабинка)

Период	Сток, тыс. т/в год
2000-2004	53,5
2005-2009	42,2
2010-2014	31,0
2015-2019	27,4
2020-2024	19,4

Прежде всего, это связано с сокращением объема водного стока р. Сал за рассматриваемый период. Ниже на графике (рисунок 65) отображены результаты сравнения концентрации вещества в донской воде выше и ниже участка впадения р. Сал.

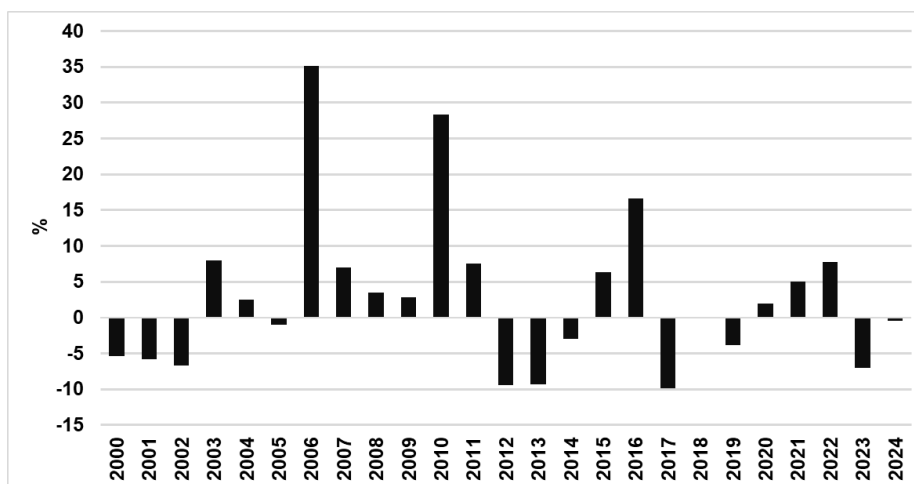


Рисунок 65 – Изменение содержания кальция в воде р. Дон в пункте ст-ца Раздорская (151 км) относительно пункта г. Семикаракорск (178 км), %

Статистически значимого влияния р. Сал на пространственную изменчивость содержания кальция в донской воде за период с 2000 по 2024 гг. не обнаруживалось: динамика была разнонаправленной и малозначимой.

По данным проведенных исследований, концентрация кальция в воде р. Маныч составляет порядка 80-90 мг/л, что в целом соизмеримо со значениями в воде р. Дон [55, 77]. При этом отмечается, что содержание кальция в грунтовых водах, уровень которых зачастую достигает до установления процессов подтопления территорий в бассейне р. Западный Маныч, может превышать 150 мг/л [85].

Несмотря на это, на участке впадения р. Маныч в р. Дон, как и в случае с р. Сал, также не отмечалось однонаправленной и статистически значимой пространственной изменчивости содержания вещества в донской воде. В отдельные годы было выявлено как увеличение, так и снижения концентрации кальция (рисунок 66).

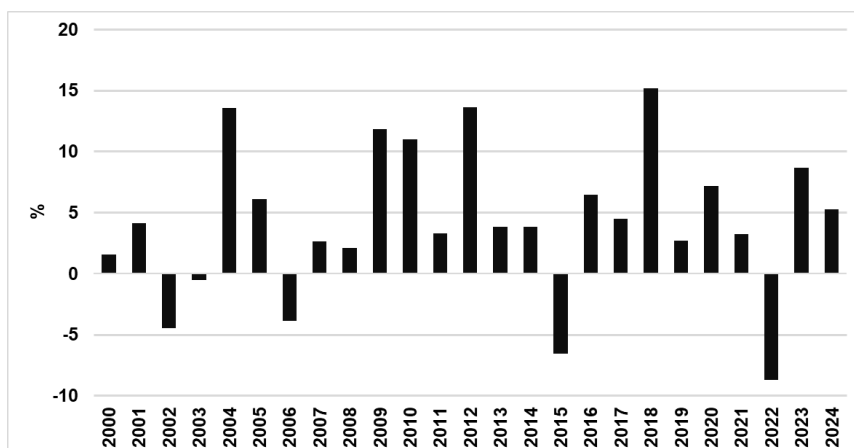


Рисунок 66 – Изменение содержания кальция в воде р. Дон в створе ст-ца Багаевская (97 км) относительно створа ст-ца Багаевская (117 км), %

На рисунке 67 представлена информация, показывающая концентрацию кальция в воде в периоды наиболее повышенного и пониженного стока. В пределах условно выделенного участка 1 (г. Константиновск – ст-ца Багаевская) наблюдалось статистически значимое отличие в концентрациях вещества: в наиболее маловодные годы она составляла в среднем 96,3 мг/л, в наиболее многоводные – 72,2 мг/л.

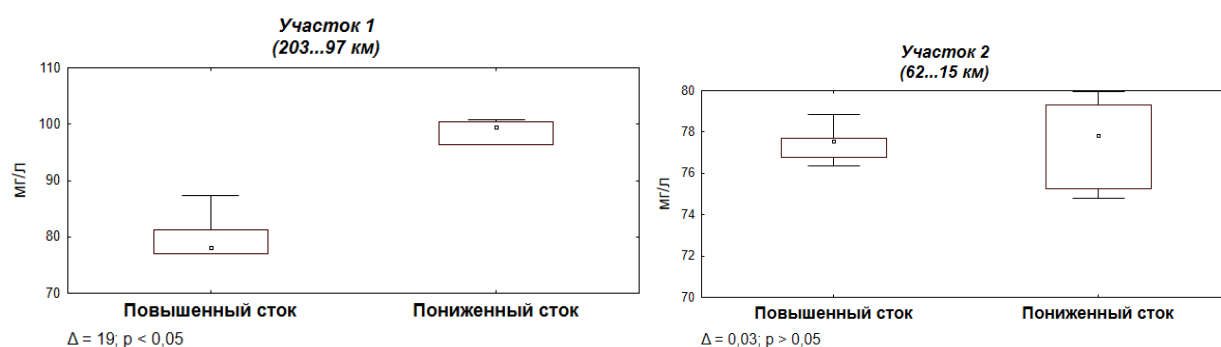


Рисунок 67 – Диаграммы размаха концентрации в воде кальция при повышенном и пониженном водном стоке на характерных участках

На участке 2 (г. Ростов-на-Дону – г. Азов) каких-либо статистически значимых отличий не наблюдалось: и в маловодные, и в многоводные годы

средняя концентрация составляла 76,1-77,3 мг/л. На данном участке обращает на себя внимание широкий разброс значений концентрации относительно полученных данных за многоводный период, который может свидетельствовать о наличии факторов, способных в значительной степени изменять концентрацию кальция в воде.

Выводы

На участке нижнего течения р. Дон наблюдалось увеличение концентрации в воде кальция, которое в среднем составило 10,0 мг/л в десятилетие – 13,0 % в десятилетие. Наиболее интенсивная положительная динамика была характерна для участка расположенного от г. Константиновск до ст-цы Багаевская: 14,9 мг/л в десятилетие – 19,4 % в десятилетие. В то же время в меньшей степени положительный тренд был характерен для участка, расположенного от пункта наблюдений г. Ростов-на-Дону до г. Азов: 5,37 мг/л в десятилетие – 7,01 % в десятилетие.

2. При сравнении значений концентрации вещества в донской воде по данным пунктов наблюдений за два периода (2001-2012 и 2013-2024 гг.) выяснилось, что статистически значимый рост содержания кальция в воде составил в среднем 22 %. При этом на участке 1 он составил 35 %, на участке 2 он составил 13 %.

3. Установлено, что ниже впадения р. Северский Донец в р. Дон содержание кальция в донской воде возрастало в среднем на 21 %. Обращает на себя внимание устойчивость данного процесса, так как отрицательной динамики за весь период 2000-2024 гг. не наблюдалось. Статистически значимого влияния других притоков – рр. Сал и Маныч – выявлено не было.

4. При сравнении концентрации кальция в воде нижнего течения р. Дон в зависимости от объема водного стока было выявлено, что на участке 1 в самые маловодные годы содержание вещества достигало максимальных значений, в самые многоводные годы – минимальных значений. Для участка 2

такой такая закономерность не была характерной, концентрация вещества не имела значимой зависимости от объема водного стока.

4.6 Сумма натрия и калия

Основными источниками поступления натрия и калия в поверхностные речные воды являются осадочные и изверженные горные породы. Из антропогенных факторов особое внимание стоит уделить орошаемому земледелию, в результате которого происходит интенсивное засоление почвогрунтов и смыв веществ в речные системы в результате выпадения атмосферных осадков. Как правило, в речной воде содержание натрия всегда выше, чем калия. В воде нижнего течения р. Дон по данным проведенных исследований соотношение ($\text{Na}^+ : \text{K}^+$) составляет в среднем 14,0-47,5 [58].

Временная изменчивость содержания вещества в воде характеризовалась положительным трендом, который составлял в среднем по всей длине нижнего течения р. Дон 26,3 мг/л в десятилетие – 20 % в десятилетие (таблица 29). Обращает на себя внимание отсутствие статистически значимого роста суммы натрия и калия на участке реки в ст-це Раздорской. На нижележащих участках тенденция хронологического увеличения содержания вещества в воде снова восстанавливалась. Однако ее отсутствие повторяется на уровне водозабора г. Ростова-на-Дону и сброса сточных вод.

Таблица 29 – Основные параметры содержания суммы натрия и калия в воде за период 2000-2024 гг.

на рис. 1	Пункт (створ) (км от устья)	$\underline{C \pm \sigma^1}$ мин.-макс., мг/л	Скорость изменения, мг/л в десятилетие ²
1	г. Константиновск (203)	$\underline{93,2 \pm 54,4}$ 24,5-238	48,0

на рис. 1	Пункт (створ) (км от устья)	$\underline{C \pm \sigma^1}$ мин.-макс., мг/л	Скорость изменения, мг/л в десятилетие ²
2а	г. Семикаракорск, выше города (178)	$\underline{113 \pm 55,7}$ 30,5-234	33,6
2б	г. Семикаракорск, ниже города (165)	$\underline{124 \pm 53,6}$ 34,0-259	32,4
3	ст-ца Раздорская (151)	$\underline{132 \pm 64,7}$ 29,6-272	—
4а	ст-ца Багаевская, выше ст-цы (117)	$\underline{123 \pm 58,9}$ 21,8-236	37,5
4б	ст-ца Багаевская, ниже ст-цы (97)	$\underline{141 \pm 64,4}$ 21,3-280	41,4
5а	г. Ростов-на-Дону, выше города (62)	$\underline{144 \pm 20,1}$ 101-174	12,9
5б	г. Ростов-на-Дону, в черте (52)	$\underline{142 \pm 23,1}$ 87,0-183	—
5в	г. Ростов-на-Дону, ниже города (34)	$\underline{147 \pm 22,6}$ 106-188	—
6	х. Колузаево (32)	$\underline{149 \pm 22,4}$ 98,7-186	12,8
7	х. Дугино (21)	$\underline{146 \pm 23,1}$ 93,9-188	17,6
8а	г. Азов, выше города (18)	$\underline{146 \pm 22,2}$ 91,4-180	15,1
8б	г. Азов, ниже города (15)	$\underline{148 \pm 19,7}$ 111-183	11,8
Примечания. ¹ Представлены среднеголетние значения \pm стандартное отклонение (σ). ² Показаны только статистически значимые изменения: $p < 0,05$.			

При сравнении содержания в воде натрия и калия по двум многолетним периодам отмечалась заметная положительная тенденция на участке 1 (в среднем на 76 %). Исключение составил пункт наблюдений, расположенный в ст-це Раздорской, где размах значений содержания вещества в воде был весьма велик (рисунки 68 и 69).

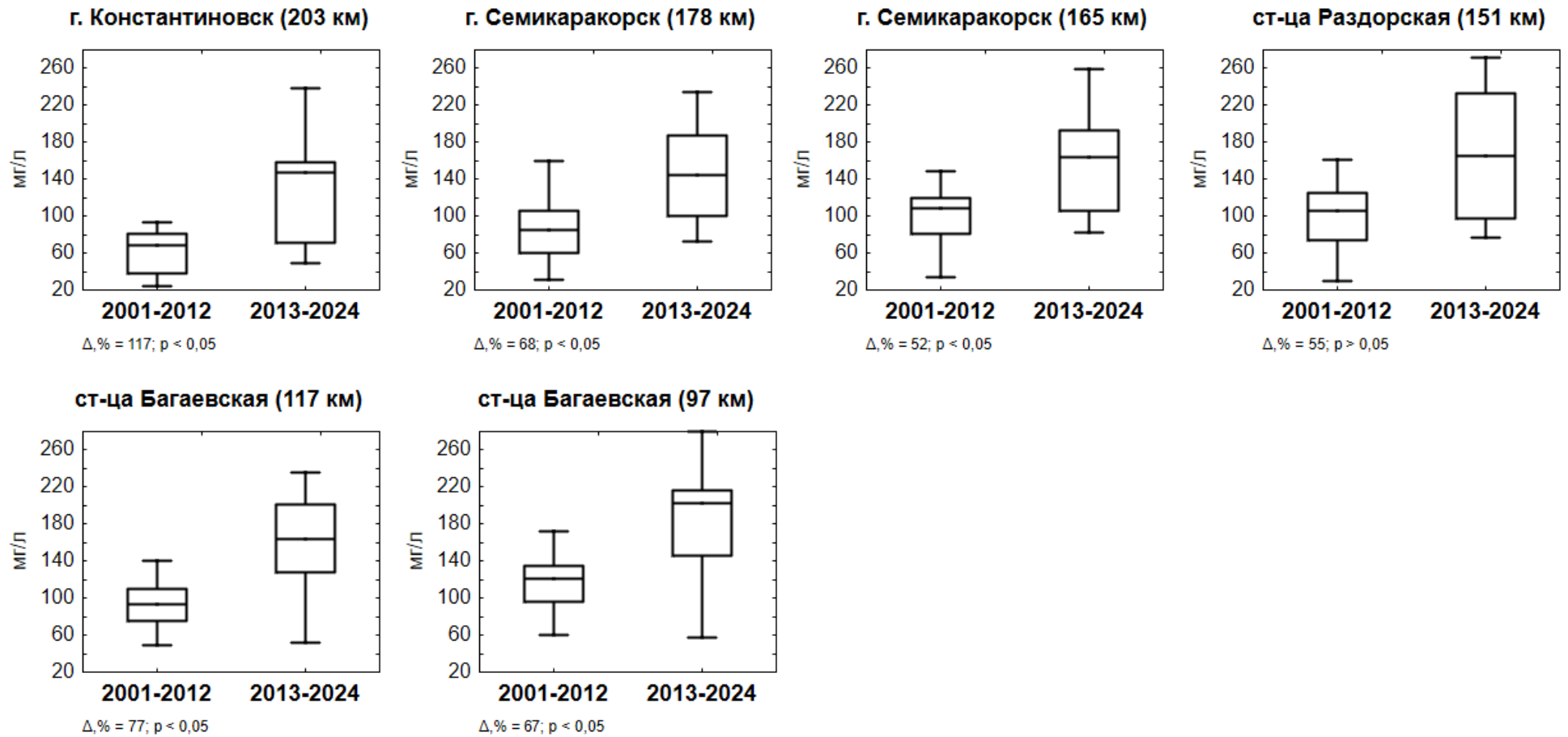


Рисунок 68 – Диаграммы размаха среднегодовых концентраций суммы натрия и калия в воде на участке 1 за периоды 2001-2012 и 2013-2024 гг. с указанием Δ (%) относительно исходного периода

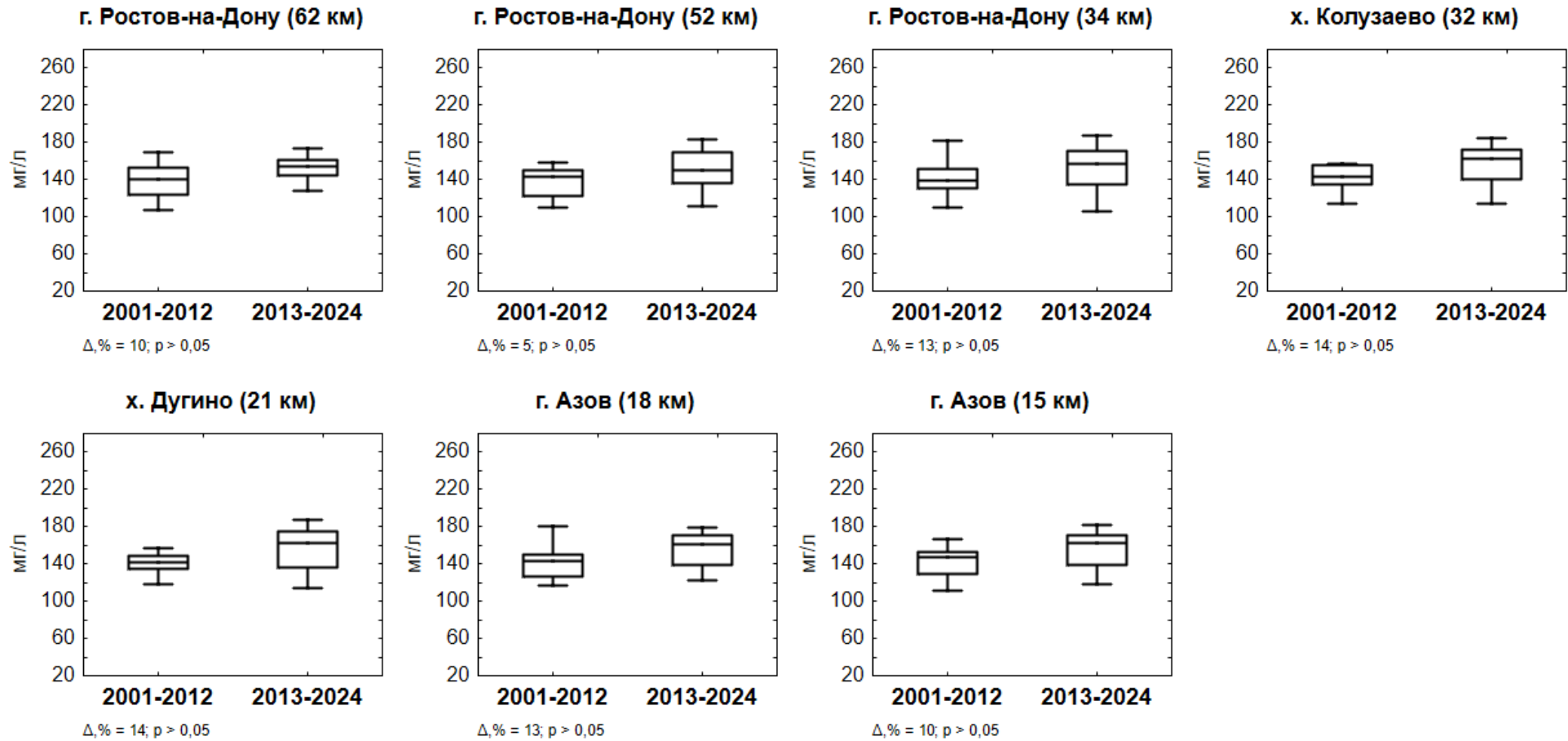


Рисунок 69 – Диаграммы размаха среднегодовых концентраций суммы натрия и калия в воде на участке 2 за периоды 2001-2012 и 2013-2024 гг. с указанием Δ (%) относительно исходного периода

Это в свою очередь может говорить о высокой степени нестабильности содержания суммы натрия и калия на данном участке. Обращает на себя внимание широкая вариабельность значений концентраций вещества в целом на участке 1, которая в наибольшей степени проявилась во втором периоде 2013-2024 гг.

На участке 2, расположенном ниже пункта наблюдений г. Ростов-на-Дону, статистически значимых тенденций изменения содержания суммы натрия и калия в воде выявлено не было, а размах среднегодовых значений концентрации вещества в воде был выражен слабо в сравнении с участком 1.

Это свидетельствует о том, что участок 1 характеризовался наличием факторов, способных оказывать значительное влияние на изменение содержания суммы натрия и калия в донской воде. В связи с этим целесообразно рассмотреть воздействие притоков, впадающих в р. Дон.

В таблице 30 представлена информация о выносе вещества с водой р. Северский Донец. В среднем за год с водой реки выносилось 789 тыс. т суммы натрия и калия в год. В то же время транспорт вещества в нижнем течении р. Дон составлял в среднем 2297 тыс. т в год.

Таблица 30 – Среднемноголетний сток суммы натрия и калия с водой р. Северский Донец (х. Белая Калитва)

Период	Сток (среднее), тыс. т/в год
2000-2004	542
2005-2009	840
2010-2014	815
2015-2019	929
2020-2024	822

Это означает, что доля стока вещества с водой р. Северский Донец составляла порядка 34 % от стока р. Дон (ст-ца Раздорская). Оценить степень влияния р. Северский Донец на пространственную изменчивость содержания

в воде суммы натрия и калия представляется возможным при соотнесении гидрохимических данных пунктов наблюдений г. Константиновск и г. Семикаракорск (рисунок 70).

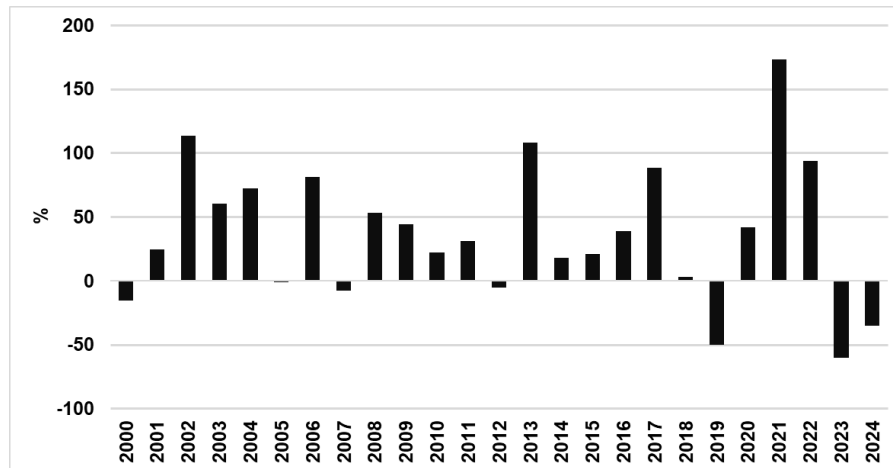


Рисунок 70 – Изменение содержания суммы натрия и калия в воде р. Дон в пункте г. Семикаракорск (178 км) относительно пункта г. Константиновск (203 км), %

В большинстве отдельно рассматриваемых лет концентрация вещества на участке впадения р. Северский Донец значительно увеличивалась (в среднем в 1,6 раза в годы положительного влияния). Однако наблюдалась и противоположная ситуация, когда концентрация вещества резко снижалась. Например, в 2023 г. она сократилась в 2,5 раза, в 2019 г. – 2,0 раза, в 2024 г. – 1,5 раза. Однако, несмотря на полученные результаты, статистически значимого влияния р. Северский Донец в рамках периода 2000-2024 гг. не подтверждается в связи с разнонаправленными изменениями концентрации суммы натрия и калия ниже впадения данного притока в р. Дон.

Обращает на себя внимание резкое сокращение поступления вещества в 2015-2024 гг. с водой р. Сал (таблица 31).

Таблица 31 – Сток суммы натрия и калия с водой р. Сал (х. Балабинка)

Период	Сток (среднее), тыс. т/в год
2000-2004	111
2005-2009	122
2010-2014	120
2015-2019	62,2
2020-2024	67,1

На участке впадения р. Сал, условно ограниченным пунктами наблюдений г. Семикаракорск и ст-ца Раздорская, статистически значимых изменений концентрации вещества за период 2000-2024 гг. не прослеживалось (рисунок 71).

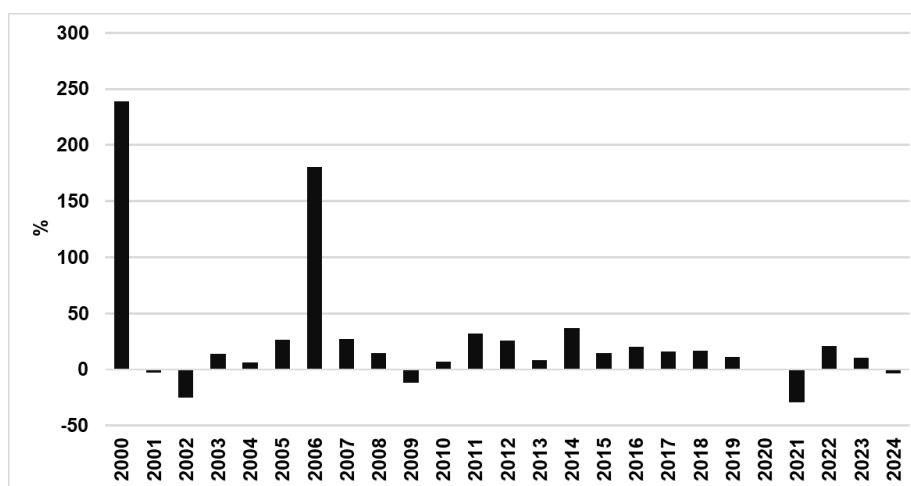


Рисунок 71 – Изменение содержания суммы натрия и калия в воде р. Дон в пункте ст-ца Раздорская (151 км) относительно пункта г. Семикаракорск (178 км), %

На участке р. Дон, где в него впадает левобережный приток р. Маныч, концентрация суммы натрия и калия также статистически значимо не изменялась (рисунок 72).

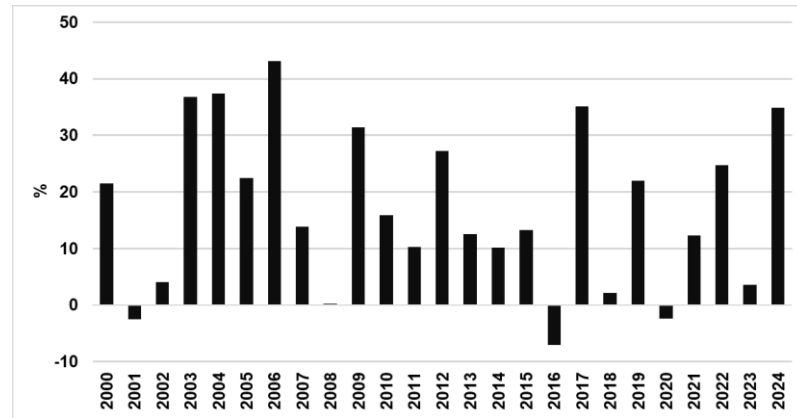


Рисунок 72 – Изменение содержания суммы натрия и калия в воде р. Дон в створе ст-ца Багаевская (97 км) относительно створа ст-ца Багаевская (117 км), %

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии однозначного влияния рр. Северский Донец, Сал и Маныч на пространственную изменчивость содержания в воде суммы натрия и калия: концентрации вещества ниже впадения этих притоков как возрастали, так и сокращались.

На всем изучаемом участке р. Дон было отмечено очевидное влияние водного стока на среднегодовую концентрацию суммы натрия и калия в воде, которое подтверждается результатами обработки гидрохимической информации (рисунок 73).

На участке 1, в периоды наиболее повышенного объема водного стока концентрация вещества составляла в среднем 70,6 мг/л, в периоды самого пониженного объема стока – 116 мг/л. Участок 2 также характеризовался статистически значимыми отличиями концентрации вещества: в годы повышенного объема водного стока она составляла в среднем 132 мг/л, в годы пониженного водного стока – 162 мг/л.

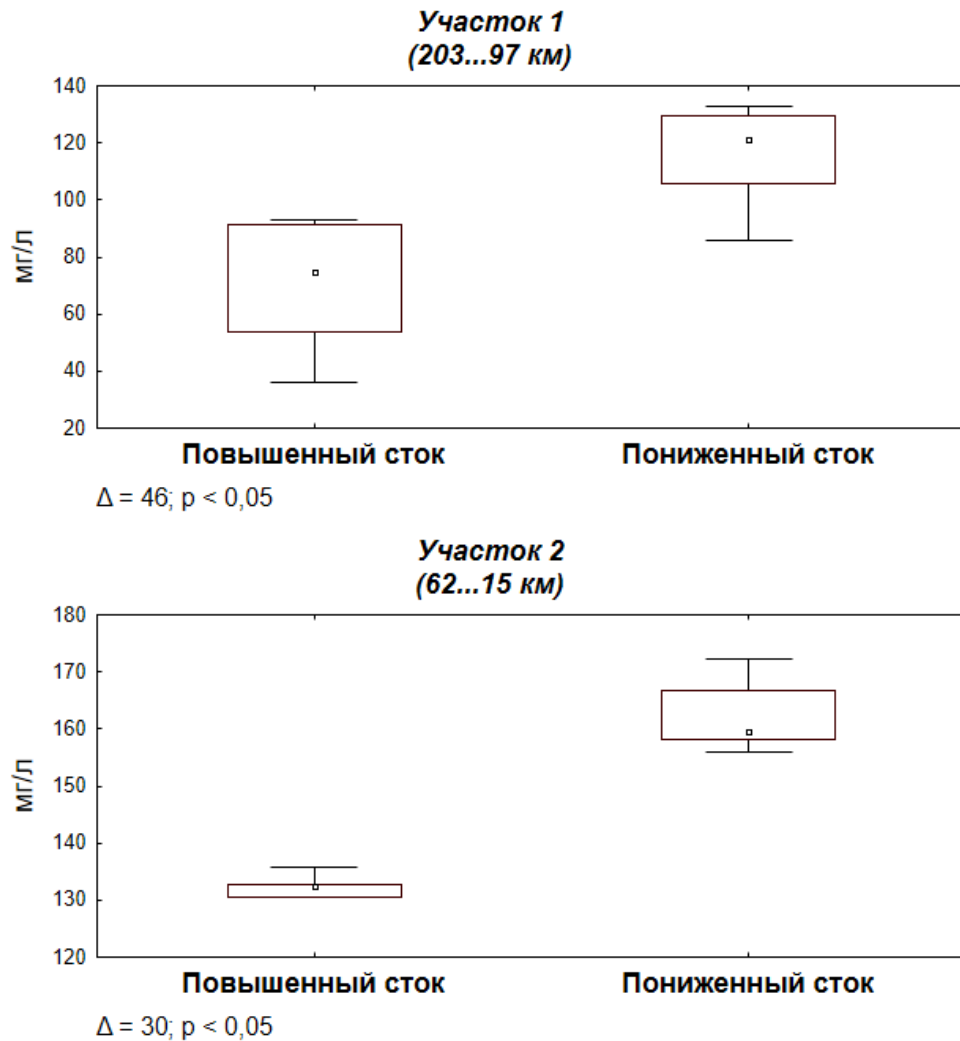


Рисунок 73 – Диаграммы размаха концентрации в воде суммы натрия и калия при повышенном и пониженном водном стоке на характерных участках

Выводы

1. Результаты изучения изменчивости содержания суммы натрия и калия в нижнем течении р. Дон свидетельствуют об увеличении содержания вещества в воде на 26,3 мг/л в десятилетие – 20 % в десятилетие.

2. При сравнительном анализе среднегодовых данных за два многолетних периода (2001-2012 и 2013-2024 гг.) были получены результаты, свидетельствовавшие о значительном увеличении содержания в воде вещества на участке от г. Константиновск до ст-цы Раздорская: на 76 % относительно исходного периода.

3. Статистически значимого влияния рр. Северский Донец, Сал и Маныч на изменчивость пространственной неоднородности содержания вещества в воде выявлено не было.

4. На характерных участках (1 и 2) наиболее высокие среднегодовые концентрации суммы натрия и калия отмечались в самые маловодные годы. В периоды максимального объема годового водного стока наблюдалась противоположная закономерность.

4.7 Трансформация класса и типа вод по классификации О. А. Алекина

В результате рассмотрения особенностей содержания солеобразующих веществ в воде нижнего течения р. Дон была обнаружена значительная изменчивость концентрации некоторых из них. В связи с этим целесообразно изучить трансформацию ионного состава воды.

В данном исследовании классификация вод проведена согласно методическому подходу известного советского гидрохимика О. А. Алекина [4]. Разработанная им классификация вод по ионному составу использовалась в СССР и продолжает широко применяться учеными-гидрохимиками в России и других странах постсоветского пространства. Это обуславливает целесообразность ее применения, поскольку позволяет проводить сравнительный анализ полученных результатов в контексте как хронологических, так и пространственных изменений. Результаты обработки современных гидрохимических данных с использованием классификации О. А. Алекина дополняют выявленные ранее закономерности, внося тем самым вклад в развитие региональной гидрохимии.

В настоящем исследовании трансформация ионного состава вод рассмотрена по среднегодовым значениям содержания главных ионов в воде. Ниже в таблице 32 представлена информация об анионном составе вод.

Таблица 32 – 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	SCl	C	SCl	CCl	CS	C	C	CS	CS	CS	CS	CS	CIS	S	S	S	S	CS	S	S	CIC	Cl	SCl	S	Cl
2а	CCl	C	SCl	SC	SC	CS	CS	CS	S	SC	CS	SC	SCl	SCl	CIS	CIS	SCl	Cl	CIS	Cl	CIC	Cl	SCl	CIC	SCl
2б	CCl	CS	SCl	CIS	CIC	CS	CCl	SC	S	SCl	SC	S	SCl	SCl	CIS	CIS	CIS	Cl	Cl	Cl	CIC	Cl	SCl	CIC	CIS
3	CIS	CCl	Cl	CIC	SC	CS	SCl	CS	SCl	CS	SC	S	SC	SCl	SCl	SCl	SCl	Cl	CIS	CIC	CIC	Cl	SCl	Cl	CS
4а	CIS	CS	SC	CIS	SC	CS	CS	SC	CIS	SC	SC	SCl	SCl	SCl	SCl	SCl	SCl	CIS	SCl	SCl	CIC	Cl	SCl	Cl	Cl
4б	SCl	CS	SCl	SCl	S	CS	SC	SC	CIS	SC	SCl	SCl	CIS	SCl	SCl	CIS	SCl	Cl	CIS	SCl	CIC	Cl	SCl	Cl	CIS
5а	SCl	S	S	S	S	S	S	S	S	SCl	S	S	SCl	SCl	SC	SCl	S	SCl	SCl	SC	SCl	SCl	SC	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	S	SC	S	SCl	S	S	S	SCl	SCl	SCl	S	S	SC
6	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SCl	S	S	S	SCl	S	SCl	SCl	SCl	S	S	SC
7	S	S	SCl	SC	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SC	S	SCl	S	S	S	SCl	SCl	SCl	SCl	S	SC
8а	S	S	SCl	S	S	S	S	S	S	SC	S	S	SCl	SCl	S	SCl	S	S	S	SCl	SCl	SCl	S	S	SC
8б	н.д.	S	SCl	SC	S	S	S	S	S	S	S	SCl	S	SC	SC	SCl	S	S	S	SCl	SCl	SCl	S	S	SC

Примечание. S – сульфатный класс, C – гидрокарбонатный класс, Cl – хлоридный класс.

Как видно из таблицы, вода нижнего течения р. Дон характеризовалась преимущественно сульфатным классом. В наибольшей степени это утверждение справедливо для участка реки, ограниченного пунктами наблюдений г. Ростов-на-Дону и г. Азов. На данном участке класс вод периодически сменялся на сульфатно-хлоридный и реже на сульфатно-гидрокарбонатный. В целом этот участок характеризовался весьма стабильным анионным составом. При этом на участке, расположенном между г. Константиновск и ст-ца Багаевская, воды с преобладанием сульфатных ионов также встречались, но относительно реже. Обращает на себя внимание тенденция сокращения встречаемости вод с преобладанием гидрокарбонатных ионов во временном разрезе. Наряду с этим отмечалось увеличение лет с преобладанием вод хлоридного и переходного хлоридно-гидрокарбонатного класса. В пункте наблюдений г. Семикаракорск (178 км), расположенном ниже впадения р. Северский Донец с 2014 по 2024 г. класс вод зачастую сменялся на хлоридный, что может свидетельствовать об увеличении вклада данного притока в трансформацию класса воды нижнего течения р. Дон. В пространственном отношении участок впадения р. Маныч в р. Дон (ст-ца Багаевская) можно условно считать переходным в контексте анионного состава вод.

На уровне водозабора г. Ростов-на-Дону вода характеризовалась преимущественно сульфатно-гидрокарбонатным классом, в то же время на уровне водозабора г. Азов вода относилась как к сульфатному, так и к сульфатно-хлоридному классу.

Ниже в таблице 33 представлена информация об анионном составе вод в нижнем течении р. Дон.

Таблица 33 – Катионный состав воды в нижнем течении р. Дон
(синий цвет – преобладание катионов Ca^{2+} , желтый – Mg^{2+} , красный – $\text{Na}^+ + \text{K}^+$)

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
2а	Ca	Ca	Na	NaCa	CaMg	CaMg	CaMg	Na	Na	Na	CaNa	NaCa	NaMg	NaCa	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	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	CaMg	CaMg	CaMg	Na	Ca	CaNa
4а	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
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
5а	NaCa	Na	NaCa	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	Na	Na	NaCa	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
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
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
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
8а	CaNa	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	NaCa	Na	Na	Na	NaCa	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	NaCa	Na	Na

Примечание. Ca – кальциевая группа, Mg – магниевая группа, Na – натриевая группа.

Как видно из представленной выше таблицы, нижнее течение р. Дон в рамках рассматриваемого периода характеризовалось преобладанием вод натриевой группы. Результаты обобщения среднегодовых данных всех пунктов наблюдений за период с 2000 по 2024 г. свидетельствуют о том, что воды натриевой группы преобладали в 68 % случаев, натриево-кальциевой группы – в 12 % случаев, кальциево-магниевой – в 9 % случаев. Воды других групп катионного состава встречались значительно реже: менее чем в 3 % случаев. Обращает на себя внимание тот факт, что, как и в случае с анионным составом, между пунктами наблюдений г. Ростов-на-Дону и ниже катионный состав вод был более стабилен в пространственном и временном разрезе по сравнению с вышерасположенным участком нижнего течения р. Дон.

Таким образом, в нижнем течении р. Дон на участке, расположенном между г. Константиновск и г. Ростов-на-Дону, наблюдалось изменение класса воды в сторону преобладания сульфатно-хлоридного и хлоридно-сульфатного класса, а также изменение типа вод в сторону преобладания натриевого типа. Ниже г. Ростов-на-Дону класс и тип вод не изменялся: сохранялось преобладание сульфатных вод натриевого типа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований была изучена пространственно-временная изменчивость главных ионов в нижнем течении р. Дон за период 2000-2024 гг. Основываясь на полученных результатах, можно сделать следующие 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 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – на 20-21 %; 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 и 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 статистические значимые отличия содержания в воде главных ионов в зависимости от водного стока: в самые маловодные годы концентрация в воде суммы главных ионов, Cl^- , HCO_3^- , Na^++K^+ , Ca^{2+} была выше, чем в самые многоводные годы. В случае SO_4^{2-} и Mg^{2+} данная закономерность была характерна только для участка реки, расположенного между пунктами г. Константиновск и ст-ца Багаевская.

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 ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авакян, А. Б., Шарапов В.А. Водохранилища / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. – Москва: «Мысль», 1987. – 325 с.
2. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс]. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=505> (дата обращения: 28.06.2025).
3. Административная карта Ростовской области [Электронный ресурс]. – URL: <https://kasheloff.ru/photos/skolko-rayonov-v-rostovskoy/66> (дата обращения 21.08.2025).
4. Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Ленинград : Гидрометеорологическое издательство, 1953. – 296 с.
5. Алекин, О. А. Сток растворенных веществ с территории СССР / О. А. Алекин, Л. В. Бражникова. – Москва: Наука, 1964. – 144 с.
6. Антропогенная нагрузка на устьевую область р. Дон в современных условиях техногенного воздействия / А. М. Никаноров, В. А. Брызгалов, Л. С. Косменко [и др.] // Вода: химия и экология. – 2011. – № 1(31). – С. 4-10.
7. Баев, О. А. Динамика гидрохимических показателей качества воды рек Северский Донец и Лугань / О. А. Баев, И. А. Ладыш // Экологический вестник Донбасса. – 2024. – № 3(13). – С. 3-11.
8. Бакаева, Е. Н. Изменение экотоксичности компонентов экосистемы р. Темерник (г. Ростов-на-Дону) в связи с реализацией программы по оздоровлению бассейна реки / Е. Н. Бакаева, М. Н. Тарадайко, Н. А. Игнатова, А. Ю. Запорожцева // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения : Сборник научных трудов, Нижний Новгород, 08–14 сентября 2019 года. – Нижний Новгород: Студия Ф1, 2019. – С. 286-291.
9. Безуглова, О. С. Динамика деградации земель в Ростовской области / О. С. Безуглова, И. Н. Ильинская, В. Е. Закруткин [и др.] // Известия

Российской академии наук. Серия географическая. – 2022. – Т. 86, № 1. – С. 41-54. – DOI 10.31857/S2587556622010034.

10. Безуглова, О. С. Динамика деградации земель в Ростовской области / О. С. Безуглова, О. Г. Назаренко, И. Н. Ильинская // Аридные экосистемы. – 2020. – Т. 26, № 2(83). – С. 10-15.

11. Безуглова, О. С. Почвы Ростовской области / О. С. Безуглова, М. М. Хырхырова. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та, 2008. – 350 с.

12. Бердников, С. В. Новое состояние гидрологического режима Азовского моря в XXI веке / С. В. Бердников, Л. В. Дашкевич, В. В. Кулыгин // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2022. – Т. 503, № 1. – С. 65-70. – DOI 10.31857/S2686739722030057.

13. Бердников, С. В., Шевердяев, И. В., Клещенко, А. В., Кулыгин, В. В. Совместное применение гидрологической модели ВИК РАН и мультикомпарментальной балансовой модели для описания переноса и трансформации взвешенных веществ в речной дельте: случай устьевой области р. Дон. 2023. 10.24108/препринты-3112769. [Электронный ресурс]. – URL: <https://preprints.ru/article/1073> (дата обращения 08.05.2024). DOI: 10.24108/preprints-3112769.

14. Беспалова, Л. А. Оценка антропогенной деятельности на территории бассейна озера Маныч-Гудило / Л. А. Беспалова, Л. Д. Немцева, Е. В. Беспалова // Естественные и технические науки. – 2010. – № 5(48). – С. 295-301.

15. Бронфман, А. М. Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря / А. М. Бронфман, В. Г. Дубинина, Г. Д. Макарова. – Москва : Пищевая промышленность, 1979. – 288 с.

16. Брызгало, В. А., Никаноров, А. М., Решетняк, О. С. Изменчивость экологического состояния речных зон устьевых экосистем крупных рек России / В. А. Брызгало, А. М. Никаноров, О. С. Решетняк // Вода: химия и экология. – № 12. – 2013. – С.15-21.

17. Бушумов, С. А. Показатели качества реки Дон в зоне влияния Новочеркасской ГРЭС / С. А. Бушумов, Т. Г. Короткова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2019. – № 3(73). – С. 19-30. – DOI 10.17277/voprosy.2019.03.pp.019-030.
18. Вальков, В. Ф. Почвы Ростовской области: генезис, география и экология / В. Ф. Вальков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2012. – 316 с.
19. Веселовский, Н. В. Режим главных ионов и минерализации воды р. Дона и его притоков / Н. В. Веселовский, Г. Н. Данилова, Р. Х. Манихина // Гидрохимические материалы. – 1975. – Т.62. – С. 61–65.
20. Гавришин, А. И. Закономерности формирования химического состава шахтных вод Восточного Донбасса / А. И. Гавришин // Доклады Академии наук. – 2018. – Т. 481, № 2. – С. 186-188. – DOI 10.31857/S086956520001201-4.
21. Гавришин, А. И. Оценка качества химического состава поверхностных вод в восточном Донбассе / А. И. Гавришин // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2019. – № 4. – С. 61-67. – DOI 10.31857/S0869-78092019461-67.
22. Георгиади, А. Г. Долговременные периоды повышенного/пониженного водного и ионного стока Северной Двины в XIX-XXI веках / А. Г. Георгиади, А. О. Даниленко // География и природные ресурсы. – 2022. – Т. 43, № 2. – С. 94-101. – DOI 10.15372/GIPR20220210.
23. Георгиади, А. Г. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России / А. Г. Георгиади, Н. И. Коронкевич, И. П. Милюкова [и др.]. Том Часть 2. Бассейны рек Волги и Дона. – Москва : ООО "МАКС Пресс", 2014. – 214 с.
24. Георгиади, А. Г. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейне Дона / А. Г. Георгиади, И. П. Милюкова, Е. А. Кашутина // Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47, № 6. – С. 651-662. – DOI 10.31857/S0321059620060061.

25. Гидрогеология СССР. Том XXVIII. Нижний Дон и Северо-Восточное Приазовье; под ред. В. Н. Васильева ; Москва: «Недра», 1970. – 224 с.
26. Гидрохимический сток рек Европейской части России : атлас / Под ред. Р. Г. Джамалова, О. С. Решетняк, М. М. Трофимчука. – Москва : ИВП РАН, 2020. – 155 с.
27. Горев, Л. Н., Пелешенко В.И. Мелиоративная гидрохимия / Л. Н. Горев, В. И. Пелешко. – Киев : Издательское объединение «Вища школа», 1984. – 256 с.
28. Гудко, В. Н. Влияние гидротермических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур в различных агроклиматических зонах Ростовской области : специальность 1.5.15. «Экология (биологические науки)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Гудко Василий Николаевич. – Ростов-на-Дону, 2022. – 128 с.
29. Дандара, Н. Т. Водоподпорные гидротехнические сооружения – основа водохозяйственной системы Нижнего Дона / Н. Т. Дандара, А. Н. Дандара, А. С. Недоцуков // Устойчивое развитие регионов России: от стратегии к тактике : сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции, Новосибирск, 22 сентября – 24 2017 года. – Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью "Центр развития научного сотрудничества", 2017. – С. 92-104.
30. Дандара, Н. Т. Гидрологический анализ реки Дон на участке ниже Кочетовского гидроузла: гидрографическая сеть, расходы, уровни и уклоны воды / Н. Т. Дандара, Д. Е. Немыкина // Вестник современных исследований. – 2018. – № 5.3(20). – С. 88-99.
31. Данилов-Данильян, В. И. Проблема снижения диффузного загрязнения водных объектов и повышение эффективности водоохранных программ / В. И. Данилов-Данильян, В. О. Полянин, Т. Б. Фащевская [и др.] // Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47, № 5. – С. 503-514. – DOI 10.31857/S0321059620050053.

32. Демин, А. П. Сброс загрязняющих веществ и качество воды в бассейне реки Дон / А. П. Демин, А. В. Зайцева // География и природные ресурсы. – 2023. – Т. 44, № 2. – С. 64-72. – DOI 10.15372/GIPR20230207.

33. Джамалов, Р. Г. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние / Р. Г. Джамалов, М. Б. Киреева, А. Е. Косолапов, Н. Л. Фролова. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство ГЕОС", 2017. – 205 с.

34. Дмитриева, В. А. Внутригодовая и многолетняя динамика сезонного речного стока бассейна верхнего Дона / В. А. Дмитриева // Аридные экосистемы. – 2011. – Т. 17, № 2(47). – С. 23-32.

35. Дмитриева, В. А. Современные изменения водного режима и морфометрии рек Верхнедонского бассейна / В. А. Дмитриева // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2020. – № 1. – С. 103-113. – DOI 10.31857/S2587556620010070.

36. Дмитриева, В. А. Температурный режим Воронежской области в условиях меняющегося климата / В. А. Дмитриева, А. И. Сушков // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2023. – № 2. – С. 56-63. – DOI 10.17308/geo/1609-0683/2023/2/56-63.

37. Дрововозова, Т. И. Проблема "солевого загрязнения" природных вод Ростовской области, приуроченных к орошаемому массиву / Т. И. Дрововозова, А. А. Кириленко // Экология и водное хозяйство. – 2021. – Т. 3, № 3. – С. 55-71. – DOI 10.31774/2658-7890-2021-3-3-55-71.

38. Дрововозова, Т. И. Разработка региональных ПДК для водотоков: Ерик Бешеный, река Солёная бассейна Нижнего Дона / Т. И. Дрововозова, В. О. Марыгин // Природообустройство. – 2022. – № 5. – С. 93-99. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-5-93-99.

39. Дрововозова, Т. И. Экологическая оценка состояния малых водных объектов в зоне влияния гидромелиоративных систем / Т. И. Дрововозова, С.

А. Манжина // Экология и водное хозяйство. – 2019. – № 3(3). – С. 14-26. – DOI 10.31774/2658-7890-2019-3-14-26.

40. Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fedstat.ru/> (дата обращения: 28.06.2025).

41. Ежегодники и обзоры / Гидрохимический институт [Электронный ресурс]. – URL: <https://gidrohim.com/node/44> (дата обращения: 21.08.2025).

42. Ергина, Е. И. Сравнительная характеристика литохимических особенностей черноземов Северного Приазовья и Крыма / Е. И. Ергина, О. С. Безуглова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2023. – № 2(218). – С. 64-74. – DOI 10.18522/1026-2237-2023-2-64-74.

43. Еременко, В. Я. Вещества, сбрасываемые водой р. Дона в Азовское море / В. Я. Еременко // Гидрохимические материалы. – 1948. – Т.15. – С. 80–134.

44. Жукова, С. В. Дельта Дона: эволюция в условиях антропогенной трансформации стока / С. В. Жукова, Н. И. Сыроватка, А. Г. Беляев [и др.] ;– Ростов-на-Дону: Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, 2009. – 184 с.

45. Жукова, С. В. Обеспеченность водными ресурсами рыбного хозяйства Нижнего Дона / С. В. Жукова // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2020. – Т. 3, № 1. – С. 7-19. – DOI 10.47921/2619-1024_2020_3_1_7.

46. Закруткин, В. Е. Изменение гидрохимических показателей рек Восточного Донбасса в связи с массовой ликвидацией нерентабельных угледобывающих предприятий / В. Е. Закруткин, В. М. Иваник, Е. В. Гибков // Водные ресурсы. – 2015. – Т. 42, № 6. – С. 613. – DOI 10.7868/S0321059615050181.

47. Закруткин, В. Е. Оценка влияния ликвидируемых шахт Восточного Донбасса на гидрохимический состав малых рек бассейна Северского Донца / В. Е. Закруткин, В. М. Иваник, Е. В. Гибков, В. В. Скляров // Известия высших

учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2010. – № 3(157). – С. 84-87.

48. Закруткин, В. Е. Поверхностные и подземные воды в пределах техногенно нарушенных геосистем Восточного Донбасса: формирование химического состава и оценка качества / В. Е. Закруткин, Г. Ю. Складенко, Е. Н. Бакаева [и др.]. – Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2016. – 170 с.

49. Зубков, Е. А. Грунтовые воды юга Ростовской области и их влияние на подтопление территорий населенных пунктов / Е. А. Зубков, Д. Н. Гарькуша, О. Б. Барцев, А. М. Никаноров. – Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2019. – 184 с.

50. Иванова, А. А. Вынос растворенных веществ р. Доном в Азовское море / А. А. Иванова, Б. М. Исаченко, В. Т. Каплин [и др.] // Гидрохимические материалы. – 1975. – Т.61. – С. 18–31.

51. Ивлиева, О. В. Геоэкологическая оценка особо охраняемых природных территорий Ростовской области / О. В. Ивлиева, Т. Ю. Хибухина // Проблемы региональной экологии. – 2017. – № 4. – С. 70-74.

52. Информационный портал ФГБНУ ВНИИ «Радуга» [Электронный ресурс]. – URL: <https://inform-raduga.ru/about> (дата обращения 08.05.2024).

53. Казеев, К. Ш. Биогеография и биодиагностика почв Юга России / К. Ш. Казеев, Е. В. Даденко, Т. В. Денисова [и др.]. – Ростов-на-Дону : Ростиздат, 2007. – 226 с.

54. Клещенко, А. В. Гидролого-гидрохимические исследования водных объектов долины Западного Маныча / А. В. Клещенко, Е. Г. Алешина // Наука Юга России. – 2025. – Т. 21, № 1. – С. 41-51. – DOI 10.7868/S25000640250106.

55. Клещенко, А. В. Гидрометеорологические и гидролого-гидрохимические условия восточной части Пролетарского водохранилища и водоемов долины Маныча в современный период / А. В. Клещенко, В. Г. Соьер, Е. Г. Алешина [и др.] // Труды Южного научного центра Российской

академии наук. – 2018. – Т. 7. – С. 38-56. – DOI 10.23885/1993-6621-2018-7-38-56.

56. Клещенко, А. В. Проникновение морских вод в дельту Дона в маловодный период / А. В. Клещенко, В. А. Костюк, А. Ю. Московец, Е. Г. Алешина // Водные ресурсы. – 2025. – Т. 52, № 1. – С. 107-117. – DOI 10.31857/S0321059625010086.

57. Князева, Т. В. Река Темерник: некоторые экотоксиканты и методы их количественной оценки / Т. В. Князева, Н. С. Тамбиева, В. Е. Котова // Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения : сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Саратов, 11–13 декабря 2019 года. Том Часть 2. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2019. – С. 54-57.

58. Коновалов, Г. С. Коренева В. И. Клепешнев А. М. Соотношение натрия и калия в воде р. Дона / Г. С. Коновалов, В. И. Коренева, А. М. Клепешнев // Гидрохимические материалы. – Т. 58. – 1972. – С. 22-29.

59. Коронкевич, Н. И. Сток с водосбора как источник диффузного загрязнения рек / Н. И. Коронкевич, С. В. Долгов // Вода и экология: проблемы и решения. – 2017. – № 4(72). – С. 103-110. – DOI 10.23968/2305-3488.2017.22.4.103-110.

60. Косолапов, А. Е. Река Тузлов. План управления бассейном / А. Е. Косолапов, Н. Т. Дандара, В. Н. Шкура [и др.]; Сев.-Кав. филиал ФГУП «Российский НИИ комплексного использования и охраны водных ресурсов». Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ (НПИ), 2007. 165 с.

61. Кривенцов, М. И. Атмосферные осадки района Пролетарского водохранилища на р. Западный Маныч /М. И. Кривенцов // Гидрохимические материалы. – 1961. – Т. 31. – С. 52-64.

62. Кузнецов, А. Н. Исследования процессов трансформации водных систем и водосборных территорий Юга России в условиях антропогенного

воздействия и изменения климата в Институте наук о Земле ЮФУ / А. Н. Кузнецов // Степная Евразия - устойчивое развитие : сборник материалов международного форума, Ростов-на-Дону, 27–30 сентября 2022 года. – Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2022. – С. 138-142.

63. Кузьмина, Ж. В. Воздействие зарегулирования речного стока, климатических и гидрологических изменений на состояние пойменных и дельтовых экосистем Нижнего Дона / Ж. В. Кузьмина, С. С. Шинкаренко, Д. А. Солодовников, М. Л. Марков // Аридные экосистемы. – 2022. – Т. 28, № 4(93). – С. 22-36. – DOI 10.24412/1993-3916-2022-4-22-36.

64. Курбанов, С. О. Оценка влияния низконапорных водохранилищных гидроузлов на окружающую среду / С. О. Курбанов, А. А. Созаев, С. М. Жемгуразов // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 4(55). – С. 52.

65. Кутилин, В. С. Природные ландшафты Ростовской области / В. С. Кутилин, Т. А. Смагина, О. В. Назаренко, В. А. Савицкий. – Ростов-на-Дону - Таганрог : Южный федеральный университет, 2023. – 124 с.

66. Лепихин, А. П. К проблеме корректности методов расчетов и задания исходной гидрологической и гидрохимической информации при регламентации техногенных воздействий на водные объекты / А. П. Лепихин, А. А. Возняк, А. А. Тиунов, А. В. Богомоллов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2017. – № 1. – С. 58-77.

67. Лурье, П. М. Река Дон: Гидрография и режим стока / П. М. Лурье, В. Д. Панов. – Ростов-на-Дону; Донской издательский дом, 2018. – 592 с.

68. Львович, М. И. Реки СССР / М. И. Львович. – Москва : Мысль, 1971. – 351 с.

69. Максимова, М. П. Критерии оценки антропогенных изменений и расчет антропогенной составляющей ионного стока рек / М. П. Максимова // Водные ресурсы. – 1985. – № 3. – С. 71–75.

70. Матишов Г. Г. Изменение водного баланса в бассейне Нижнего Дона в условиях маловодья / Г. Г. Матишов, А. В. Клещенков, К. С. Григоренко

[и др.] // Наука Юга России. – 2018. – Т. 14, № 3. – С. 45-55. – DOI 10.7808/S25000040180300.

71. Матишов, Г. Г. Анализ внутривековой природной изменчивости в Приазовье и на Нижнем Дону: причина маловодья / Г. Г. Матишов, Л. В. Дашкевич, В. В. Титов, Е. Э. Кириллова // Наука Юга России. – 2021. – Т. 17, № 1. – С. 13-23. – DOI 10.7868/S25000640210102.

72. Матишов, Г. Г. Геоэкологический феномен в условиях маловодья и зарегулирования реки Дон / Г. Г. Матишов, К. С. Григоренко // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2024. – Т. 519, № 1. – С. 560-566. – DOI 10.31857/S

73. Матишов, Г. Г. Климат, водные ресурсы и реконструкция гидротехнических сооружений с учетом интересов населения, рыболовства и сельского хозяйства, судоходства и энергетики : Доклад на расширенном заседании Президиума Южного научного центра РАН / Г. Г. Матишов. – Ростов-на-Дону : Южный научный центр РАН, 2016. – 64 с.

74. Матишов, Г. Г. Случаи экстремальной адвекции соленых вод в дельту Дона и льда в Керченский пролив / Г. Г. Матишов // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 465, № 1. – С. 99. – DOI 10.7868/S0869565215310229.

75. Матишов, Г. Г. Современные проблемы развития природно-территориальных систем Цимлянского водохранилища и Нижнего Дона / Г. Г. Матишов, А. В. Клещенко, Н. И. Булышева [и др.] // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения : Сборник научных трудов, Нижний Новгород, 08–14 сентября 2019 года. – Нижний Новгород: Студия Ф1, 2019. – С. 30-35.

76. Матишов, Г. Г. Состояние и перспективы развития аквакультуры на юге России / Г. Г. Матишов, Е. Н. Пономарева // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2014. – № 7. – С. 3-14.

77. Матишов, Д. Г. Многолетняя изменчивость гидрохимического режима водной системы Маныч-Чограй / Д. Г. Матишов, Т. А. Орлова, Ю. М. Гаргопа, Е. В. Павельская // Водные ресурсы. – 2007. – Т. 34, № 5. – С. 560-564.

78. Меринова, Ю. Ю. Комплексная экологическая оценка городских округов Ростовской области / Ю. Ю. Меринова, А. Д. Хованский // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2016. – № 4(192). – С. 92-97.

79. Минашина, Н. Г. Оросительные воды с повышенным содержанием магния и их роль в деградации черноземов на юго-востоке Европы / Н. Г. Минашина // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 564-571.

80. Минкина, Т. М. Карбонатно-кальциевое равновесие в системе вода-почва / Т. М. Минкина, А. П. Ендовицкий, В. П. Калиниченко, Ю. А. Федоров. – Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2012. – 376 с.

81. Михайлов, С. А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели / С. А. Михайлов // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. – 2000. – № 56. – С. 1-130.

82. Молодкин, П. Ф. Антропогенное рельефообразование степных равнин (на примере равнин Нижнего Дона) / П. Ф. Молодкин. – Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1992. – 144 с.

83. Никаноров А. М. Гидрохимия : учебник для студентов высших учебных заведений по специальности "Гидрология" / А.М. Никаноров. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 2001. – 447 с.

84. Никаноров, А. М. Водная экосистема Нижнего Дона: многолетние изменения качества воды / Под ред. А. М. Никанорова, Т. А. Хоружей, Л. И. Мининой [и др.] – СПб: Гидрометеиздат, 2006. – 307 с.

85. Никаноров, А. М. Гидрохимический режим и качество грунтовых вод застроенных территорий на юге Ростовской области / А. М. Никаноров, Д. Н. Гарькуша, Е. А. Зубков [и др.] // Водные ресурсы. – 2018. – Т. 45, № 2. – С. 171-178. – DOI 10.7868/S0321059618020062.

86. Никаноров, А. М. Гидрохимия: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Гидрология» / А. М. Никаноров. – 3-е изд. – Ростов-на-Дону: НОК, 2008. – 462 с.

87. Никаноров, А. М. Масштабы подтопления, режим и качество грунтовых вод застроенных территорий юга Ростовской области / А. М. Никаноров, О. Б. Барцев, Д. Н. Гарькуша, Е. А. Зубков // Вестник Южного научного центра РАН. – 2015. – Т. 11, № 3. – С. 66-80.

88. Никаноров, А. М. Реки России; Часть 5; Реки Приазовья (гидрохимия и гидроэкология) / А. М. Никаноров, В. А. Брызгалю, М. Ю. Кондакова / – Ростов-на-Дону: ООО НПП «НОК», 2012. – 316 с.

89. Никаноров, А. М. Устьевые экосистемы крупных рек России: антропогенная нагрузка и экологическое состояние / А. М. Никаноров, В. А. Брызгалю, Л. С. Косменко, О. С. Решетняк. – Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2015. – 164 с.

90. Никаноров, А. М., Посохов Е. В. Гидрохимия / А. М. Никаноров, Е. В. Посохов. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 232 с.

91. О внесении изменения в распоряжение Правительства Ростовской области от 11.05.2022 N 285 (Распоряжение правительства Ростовской области от 10 апреля 2025 года N 273) [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/407746406> (дата обращения 21.08.2025).

92. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2009 году // Экологический вестник Дона / под общ. ред. С. Г. Курдюмова, Г. И. Скрипки, М. В. Паращенко. – Ростов-на-Дону: Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области. – 2010. – 355 с.

93. О ходе реализации плана мероприятий («дорожной карты») по оздоровлению и развитию водохозяйственного комплекса реки Дон (Официальный портал Правительства Ростовской области) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.donland.ru/result-report/2289/> (дата обращения 21.08.2025).

94. Об утверждении Правил использования водных ресурсов Цимлянского водохранилища. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Федеральное агентство водных ресурсов. Приказ от 2

июня 2016 года N 114 [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420362368> (дата обращения 22.08.2025).

95. Об утверждении регионального плана адаптации к изменениям климата в Ростовской области (распоряжение Правительства Ростовской области от 11 мая 2022 № 285). [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.donland.ru/documents/15767/> (дата обращения: 28.06.2025).

96. Областной закон Ростовской области от 25 июля 2005 года №340-ЗС «Об административно-территориальном устройстве Ростовской области». [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.donland.ru/documents/2676/> (дата обращения: 28.06.2025).

97. Основные гидрологические характеристики водных объектов бассейна реки Дон : научно-прикладной справочник / Под ред. В. Ю. Георгиевского. – Санкт-Петербург: Свое издательство, 2020. – 262 с.

98. Официальный портал Правительства Ростовской области [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.donland.ru/> (дата обращения 28.06.2025).

99. Панов, В. Д. Климат Ростовской области: вчера, сегодня, завтра / В. Д. Панов, П. М. Лурье, Ю. А. Ларионов. – Ростов-на-Дону: ООО "Донской издательский дом", 2006. – 488 с.

100. Парламентская газета (Издание Федерального собрания Российской Федерации: «Россию может ждать дефицит питьевой воды уже с 2030 года» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.pnp.ru/economics/rossiyu-mozhet-zhdad-deficit-pitevoy-vody-uzhe-s-2030-goda.html> (дата обращения 21.08.2025).

101. Парфенова, Г. К. Антропогенные изменения гидрохимических показателей качества вод: монография / Г. К. Парфенова. – Томск: Аграф-Пресс, 2010. – 203 с.

102. Першина, Н. А. Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2016-2020 гг. (Обзор данных) / Н. А.

Першина, М. Т. Павлова, А. И. Полищук, Е. С. Семенец. – Санкт-Петербург: ФГБУ «ГГО» Росгидромета. – Амирит, 2021. – 144 с.

103. Пирумова, Е. И. Особенности пространственно-временных изменений минерализации и компонентов солевого состава воды р. Дон в нижнем течении: специальность : 25.00.27 «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия (географические науки)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук / Пирумова Елена Ивановна – Ростов-на-Дону, 2006. – 28 с.

104. Полуэктов, Е. В. Особенности адаптивно-ландшафтной организации территории водосборного бассейна в современных условиях / Е. В. Полуэктов, Н. Б. Сухомлинова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2020. – № 1(37). – С. 1-16. – DOI 10.31774/2222-1816-2020-1-1-16.

105. Пономаренко, Е. П. Сгонно-нагонные явления в дельте реки Дон в 2007-2010 гг. и их прогнозирование / Е. П. Пономаренко, В. В. Сорокина, П. А. Бирюков // Вестник Южного научного центра РАН. – 2012. – Т. 8, № 1. – С. 28-37.

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

107. Предеина, Л. М. О результатах комплексных гидрохимических и токсикологических наблюдений в нижнем течении р. Дон / Л. М. Предеина, Ю. А. Андреев, В. Е. Котова // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – 2022. – Т. 1, № 7. – С. 125-131. – DOI 10.23885/2500-395X-2022-1-7-125-131.

108. Предеина, Л. М. О результатах комплексных гидрохимических и токсикологических исследований на водных объектах в черте г. Ростов-на-Дону / Л. М. Предеина, Ю. А. Андреев, В. Е. Котова // Сборник статей, посвященный 105-летию со дня образования Гидрохимического института, «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». – Ростов-на-Дону, 2025. – С. 249-257.

109. Природные условия и естественные ресурсы / [Ю. С. Колесников, В. А. Зинченко, И. Н. Сафронов и др.] Ростов н/Д : Изд-во Рост. ун-та , 1986. – 367 с.
110. Проект retromap.ru [Электронный ресурс]. – URL: <https://retromap.ru/> (дата обращения 28.07.2025).
111. Работы на рыбоводном канале Багаевского гидроузла вышли на финишную прямую [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kp.ru/daily/27699/5087788/> (дата обращения 28.06.2025).
112. Ресурсы поверхностных вод СССР Том. 7. Донской район / Под ред. З. М. Кожинной, О. Н. Потаповой. – Ленинград: Гидрометиздат, 1973. – 460 с.
113. Решетняк, О. С. Комплексная оценка состояния речных экосистем (на примере притоков Нижнего Дона) / О. С. Решетняк, В. Е. Закруткин // Фундаментальные исследования, инновационные технологии и передовые разработки в интересах долгосрочного развития Юга России : материалы Международного научного форума, посвященного 20-летию ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, 08–10 февраля 2023 года. – Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2023. – С. 165-169.
114. Решетняк, О. С. Многолетняя изменчивость химического состава и качества воды в бассейне реки Дон / О. С. Решетняк // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2023. – Т. 8, № 1(31). – С. 52-60. – DOI 10.25744/genb.2023.87.88.005.
115. Решетняк, О. С. Оценка степени пригодности речных вод для орошения в бассейне Тузлова (Ростовская область) / О. С. Решетняк // Вопросы степеведения. – 2025. – № 1. – С. 16-24. – DOI 10.24412/2712-8628-2025-1-16-24.
116. Ростовская область в цифрах 2023: статистический сборник. – Ростов-на-Дону: Ростовстат, 2024. – 729 с.
117. Румянцев, А. Б. Оценка опасности влияния тепловых сбросов Новочеркасской ГРЭС на гидроэкологический режим Нижнего Дона с учетом

проектируемого Багаевского водохранилища / А. Б. Румянцев, Н. М. Борисова, В. В. Беликов // Водные ресурсы. – 2022. – Т. 49, № 3. – С. 305-315. – DOI 10.31857/S0321059622030129.

118. Саенко, Е. М. Состояние сырьевой базы и среды обитания раков в бассейне р. Сал / Е. М. Саенко, С. В. Жукова, Ю. В. Косенко [и др.] // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2022. – Т. 5, № 4. – С. 35-51. – DOI 10.47921/2619-1024_2022_5_4_35.

119. Сазонов, А. Д. Временная изменчивость поверхностного гидрохимического стока в бассейне реки Большой Егорлык в условиях антропогенного воздействия и климатических изменений / А. Д. Сазонов, 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.

120. 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.

121. Сазонов, А. Д. Динамика водного стока и экологические проблемы реки Тузлов (Ростовская область) / А. Д. Сазонов, В. Е. Закруткин // Глобальные и региональные аспекты устойчивого развития: современные реалии : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Грозный, 23–24 октября 2020 года. – Грозный: Чеченский государственный университет, 2020. – С. 138-141. – DOI 10.36684/32-2020-1-138-141. – DOI: 10.36684/32-2020-1-138-141.

122. 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.

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

124. 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.

125. Сазонов, А. Д. Особенности водопользования в условиях засушливого климата (на примере р. Сал в Ростовской области) / А. Д. Сазонов // Юг России: вызовы времени, открытия, перспективы : тезисы докладов, Ростов-на-Дону, 13–28 апреля 2020 года. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного научного центра РАН, 2020. – С. 40.

126. Сазонов, А. Д. Оценка рациональности водоснабжения и водоотведения на территории бассейна Нижнего Дона в Ростовской области (ниже Цимлянского вдхр.) / А. Д. Сазонов // Проблемы экологического образования в XXI веке : Труды IV Международной научной конференции (очно-заочной), Владимир, 26–27 ноября 2020 года. – Владимир: ООО АРКАИМ, 2020. – С. 225-228.

127. Сазонов, А. Д. Сумма месячных осадков и среднемесячный расход воды реки Сал Ростовской области в 2008-2015 гг / А. Д. Сазонов, Р. С. Комаров // Экологические проблемы. Взгляд в будущее : сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 22–23 октября 2020 года / Под редакцией Ю. А. Федорова; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону - Таганрог: Южный федеральный университет, 2020. – С. 565-566.

128. Сазонов, А. Д. Экологические проблемы и гидрологические особенности рек Сал и Северский Донец (в пределах Ростовской области) / А. Д. Сазонов // 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 года. Том Часть 1. – Ростов-на-Дону: Федеральное государственное бюджетное учреждение "Гидрохимический институт", 2020. – С. 249-253.

129. Сазонов, А. Д. Экологические проблемы малых рек степной зоны (на примере рек Ростовской области) / А. Д. Сазонов // IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле : материалы конференции, Новосибирск, 19–23 ноября 2018 года. – Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2018. – С. 524-526.

130. Сазонов, А. Д. Экологическое состояние компонентов окружающей среды урбанизированных территорий (на примере г. Ростова-на-Дону) / А. Д. Сазонов, Р. С. Комаров // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 23–24 апреля 2018 года / Вятский государственный университет; Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. Том Книга 1. – Киров: Вятский государственный университет, 2018. – С. 107-111.

131. Сафронов, А. Е. Антропогенное воздействие производственной деятельности предприятий урбанизированных территорий на водный бассейн реки Дон / А. Е. Сафронов // Вестник Российской экономической академии им. Г.В. Плеханова. – 2011. – № 2(38). – С. 109-116.

132. Свистов, П. Ф. Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2011 – 2015 гг. (Обзор данных) / П. Ф. Свистов, Н. А. Першина, А. И. Полищук [и др.]. – Санкт-Петербург: ФГБУ «ГГО» Росгидромета, 2016. – 116 с.

133. Селютин, В. В. Сравнительный анализ сценариев водопользования на примере водохозяйственной системы Нижнего Дона / В. В. Селютин, С. В. Бердников, В. В. Кулыгин // Водные ресурсы. – 2009. – Т. 36, № 2. – С. 240-252.

134. Скляренко, Г. Ю. О влиянии угледобывающей промышленности на водные ресурсы Ростовской области / Г. Ю. Скляренко // Степная Евразия - устойчивое развитие: сборник материалов международного форума, Ростов-на-Дону, 27–30 сентября 2022 года. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2022. – С. 158-161.

135. Сорокина, В. В. Ионный состав вод Нижнего Дона (гидрокарбонаты и кальций): обзор / В. В. Сорокина, Е. Г. Алешина, Т. Б. Филатова // Развитие водных транспортных магистралей в условиях глобального изменения климата на территории Российской Федерации (Евразии) ("Опасные явления - IV"): Ростов-на-Дону, 05–09 сентября 2022 года. – Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2022. – С. 333-337.

136. Сумачев, А. Э. Гидрологический режим рек Ростовской области в условиях изменения климата / А. Э. Сумачев, Г. В. Пряхина, М. В. Сыромятина [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2024. – Т. 79, № 6. – С. 91-105. – DOI 10.55959/MSU0579-9414.5.79.6.8.

137. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Дон [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.donbv.ru/> (дата обращения: 28.06.2025).

138. Тамбиева, Н. С. Определение тяжелых металлов, ПАУ и фторидов в реке Тузлов / Н. С. Тамбиева, Т. В. Князева, В. Е. Котова // Экологические проблемы промышленных городов : Сборник научных трудов по материалам 10-й Международной научно-практической конференции, Саратов, 26–28 апреля 2021 года. – Саратов: [Электронный ресурс]. – ООО "Амирит", 2021. – С. 384-387.

139. Топографические карты: высота и рельеф [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru-ru.topographic-map.com> (дата обращения: 28.06.2025).

140. Федоров, Ю. А. Биогенные вещества в зоне смешения река Дон – Азовское море / Ю. А. Федоров, А. Г. Беляев. – Ростов-на-Дону: ООО «Инфо-Сервис», 2004. – 107 с.

141. Федоров, Ю. А. Геоэкологические особенности устойчивого развития Ростовской области / Ю. А. Федоров, В. А. Савицкая. – Ростов-н/Д: ООО" Терра. – 2005. – 133 с.

142. Химический состав и загрязненность речных вод, состояние водных экосистем. Модуль «Бассейн Нижнего Дона» (ГИС-проект ФГБУ «ГХИ») [Электронный ресурс]. – URL: <https://gidrohim.com/node/71> (дата обращения 21.08.2025).

143. Химченко, А. Г. Эколого-геохимическая оценка ландшафтов города Новочеркасска : специальность 11.00.11 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов (геолого-минералогические науки)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Химченко Андрей Геннадьевич. – Ростов-на-Дону, 2000. – 23 с.

144. Хованский, А. Д. Геохимическая оценка состояния речной системы Нижнего Дона / А. Д. Хованский, В. В. Приваленко. – Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1990. – 144 с.

145. Хрусталева, Ю. П. Природа, хозяйство и экология Ростовской области / Ю. П. Хрусталева. – Батайск: Батайское книжное издательство, 2002. – 446 с.

146. Хрусталева, Ю. П. Природные условия и естественные ресурсы Ростовской области / под ред. Ю. П. Хрусталёва [и др.]. – Ростов н/Д.; Батайск : Батайское книжное изд-во, 2002. – 432 с.

147. Шишкина, Д. Ю. Экологическая оценка динамики сельскохозяйственных земель Ростовской области / Д. Ю. Шишкина // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2017. – № 3-1(195-1). – С. 122-128.

148. Шкура, В. Н. Опыт устройства и проектирования рыбоходно-нерестовых каналов на Нижне-Донском каскаде низконапорных гидроузлов / В. Н. Шкура, А. В. Шевченко // Экология и водное хозяйство. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 50-69. – DOI 10.31774/2658-7890-2022-4-1-50-69.

149. Штанько, А. С. Обобщение и анализ нормативных документов, определявших режим использования водных ресурсов Пролетарского, Весёловского и Усть-Манычского водохранилищ / А. С. Штанько, А. В. Акопян, Н. И. Сафарова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 1(5). – С. 180-189.

150. Экологический атлас Ростовской области / под ред. В. Е. Закруткина [и др.]. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – 120 с.

151. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2020 году» / Под ред. М.В. Фишкина. – Ростов-на-Дону: Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области 2021. – 372 с.

152. Becker B., Reichel F., Bachmann D., Schinke R. High groundwater levels: Processes, consequences, and management // Wiley Interdisciplinary Reviews: Water. – 2022. – Vol. 9. – No. 5. – P. e1605.

153. Ilijević, K. Statistical analysis of the influence of major tributaries to the eco-chemical status of the Danube River / K. Ilijević // Environmental monitoring and assessment. – 2015. – Vol. 187. – No. 9. – pp. 553-560. – DOI: 10.1007/s10661-015-4740-y.

154. Lower, S. K. Carbonate equilibria in natural waters / S. K. Lower // Simon Fraser University. – 1999. – Vol. 544. – pp. 1-26.

155. Stumm, W. Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters / W. Stumm, J. J. Morgan. – John Wiley & Sons, – 2013. – 1040 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1 – Некоторые характеристики действующих крупных
мелиоративных систем в бассейне Нижнего Дона

(по данным: <https://inform-raduca.ru/> за 2023 г)

Наименование оросительной системы	Водоисточник	Водоприемник	Объем водозабора / подачи потребителям / водоотведения, тыс м ³	ФФИ, %*
Донской магистральный канал	Цимлянское водохранилище	р. Солоная	216 728 / - / -	60
Нижне-Донская	Донской магистральный канал	р. Дон, ерик Бешеный, р. Солёная, ур. Колодезька, р. Сал	110 768 / 76 850 / 4 310	80
Багаевская	Донской магистральный канал	р. Маныч, р. Подпольная, балка Большая Солёная, о. Калмыцкое, Костылёвский пруд	153 560 / 67 200 / 2 075,8	70
Садковская	Донской магистральный канал	балка Большая Солёная	23 700 / 15 800 / 857,5	65
Пролетарская	Донской магистральный канал	-	736 048 / 569 900 / 0	45
Верхне-Сальская	Донской магистральный канал	-	29 190 / 13 704 / 0	80
Невинномысская	р. Кубань	-	626 650 / 543 650 / 0	60
Междуречье Кубань-Егорлыкская	р. Кубань	-	17 750 / 8 640 / 0	80
Право-Егорлыкская	Левая ветвь Право-Егорлыкского канала	-	6 227 / 5 056 / 0	90

Примечание. *ФФИ – фактический физический износ оросительной системы.

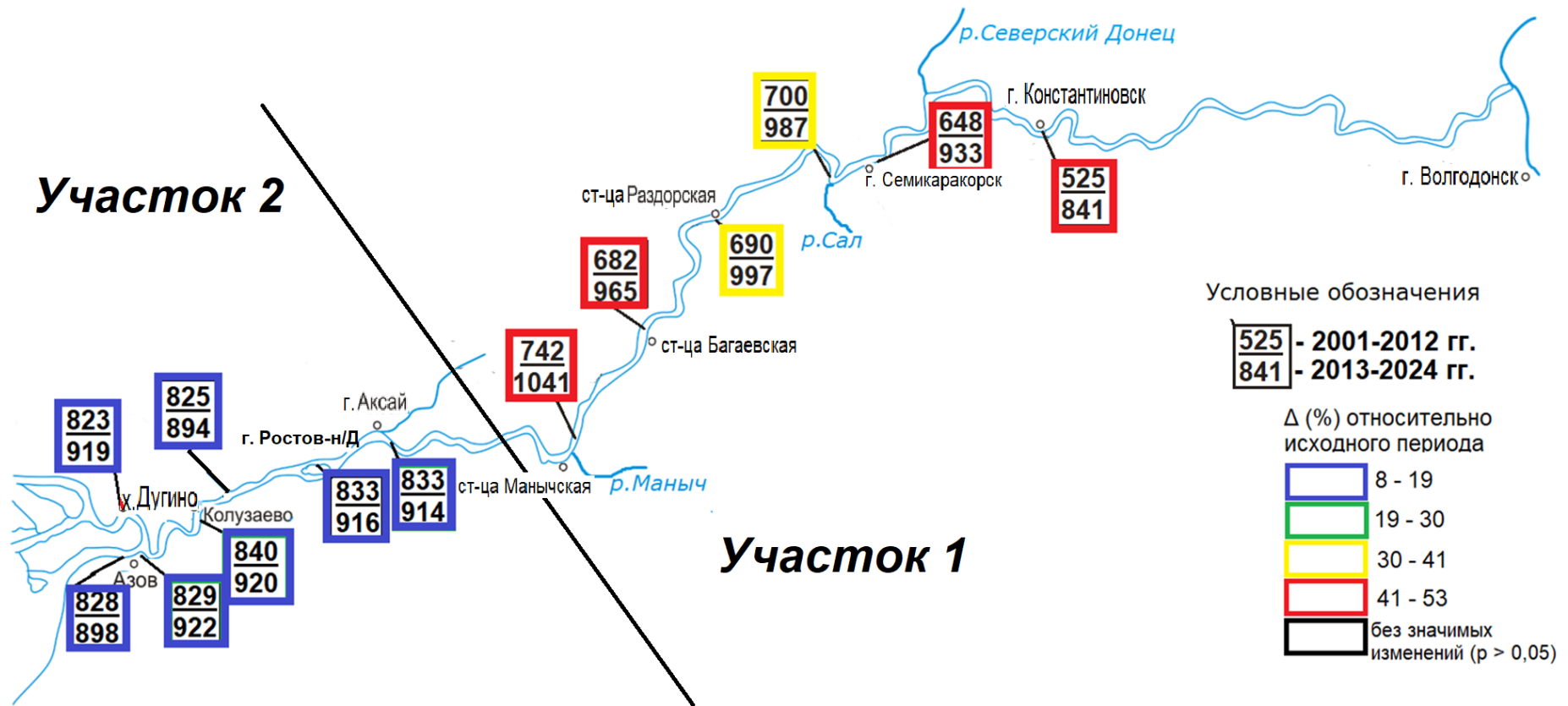


Рисунок 1 – Пространственно-временная изменчивость минерализации воды в нижнем течении р. Дон, мг/л

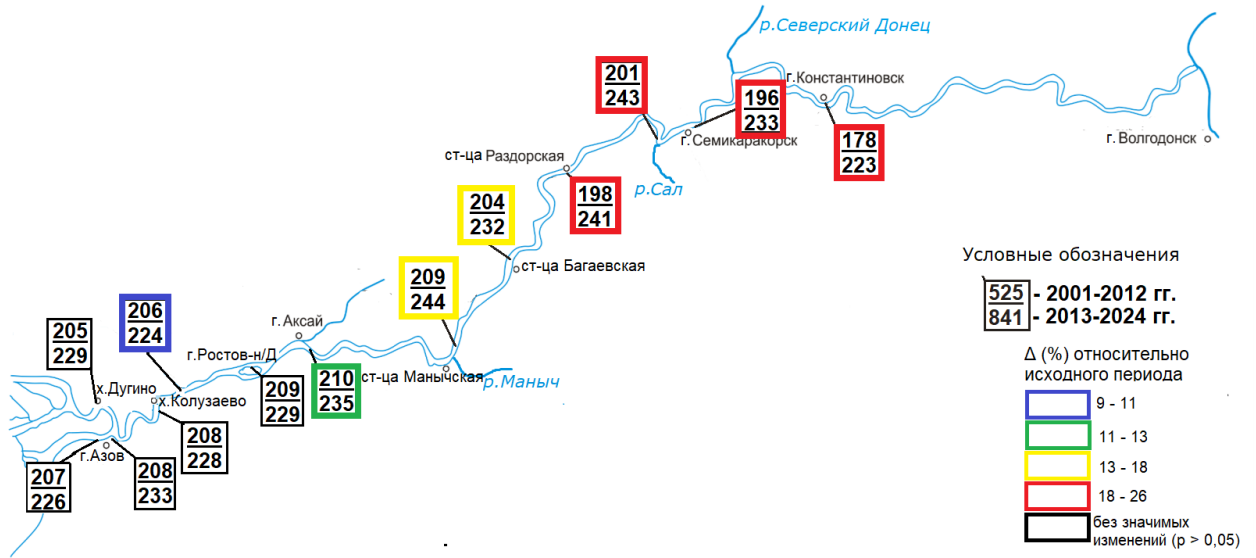


Рисунок 2 – Пространственно-временная изменчивость содержания гидрокарбонатов в воде нижнего течения р. Дон, мг/л

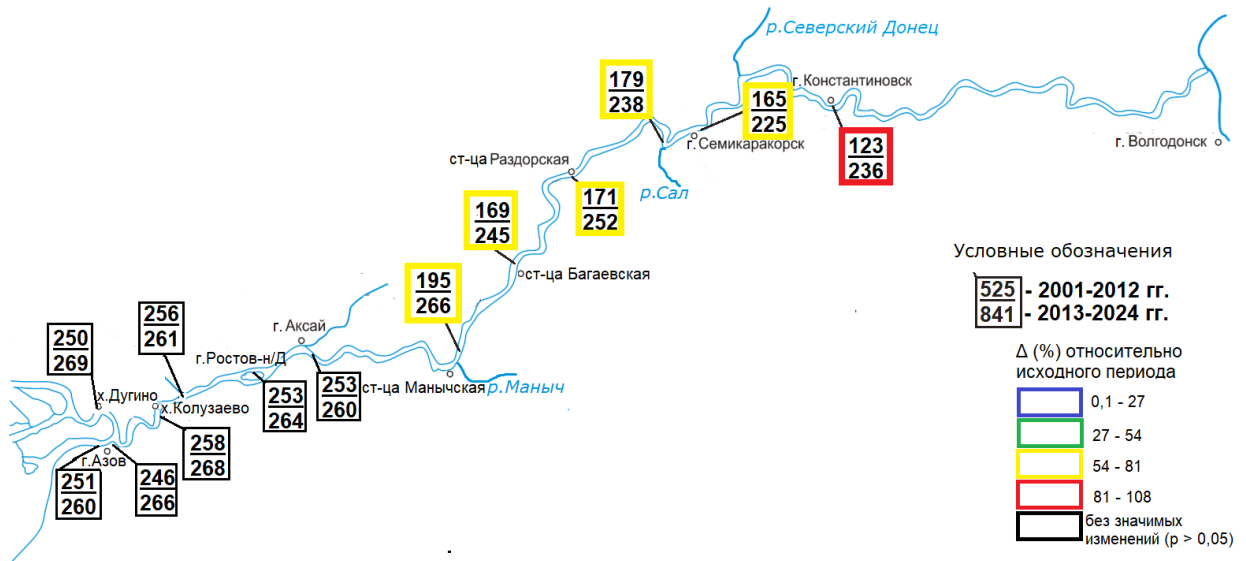


Рисунок 3 – Пространственно-временная изменчивость содержания сульфатов в воде нижнего течения р. Дон, мг/л

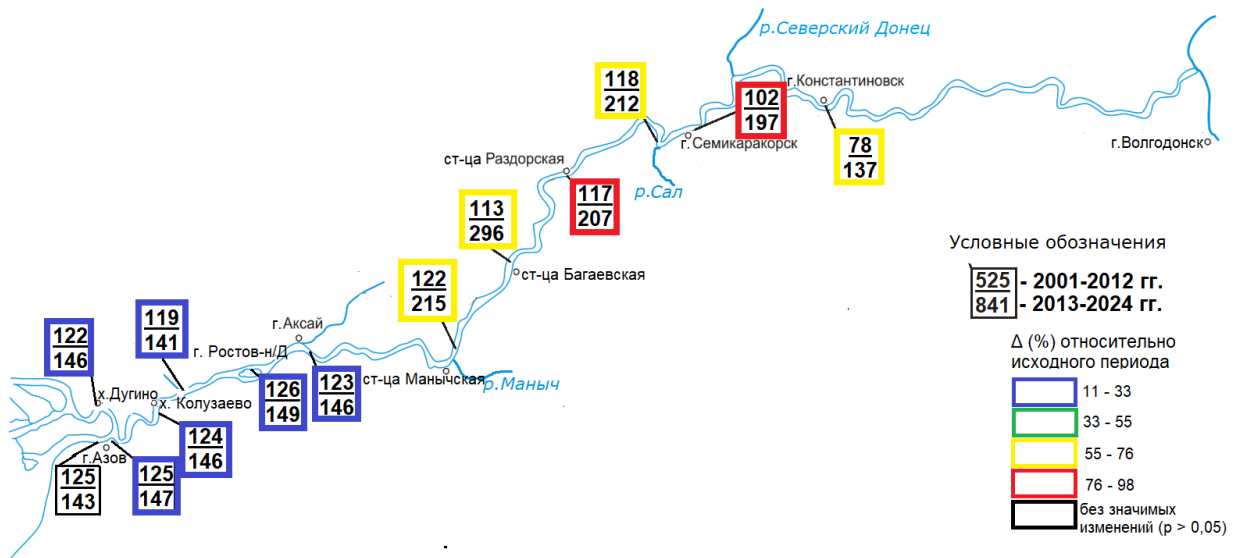


Рисунок 4 – Пространственно-временная изменчивость содержания хлоридов в воде нижнего течения р. Дон, мг/л

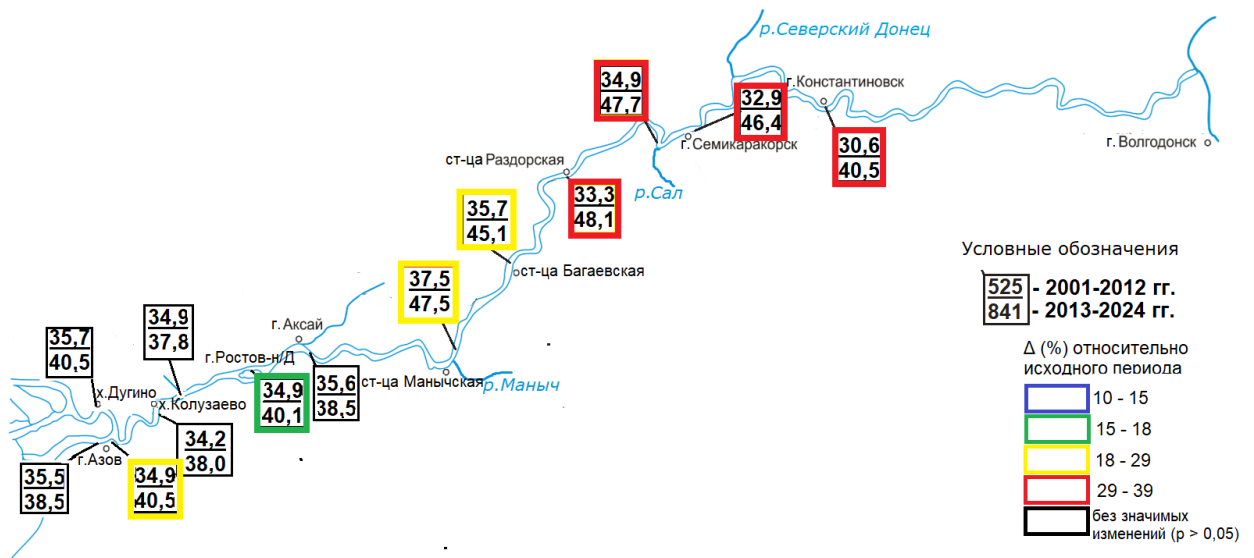


Рисунок 5 – Пространственно-временная изменчивость содержания ионов магния в воде нижнего течения р. Дон, мг/л

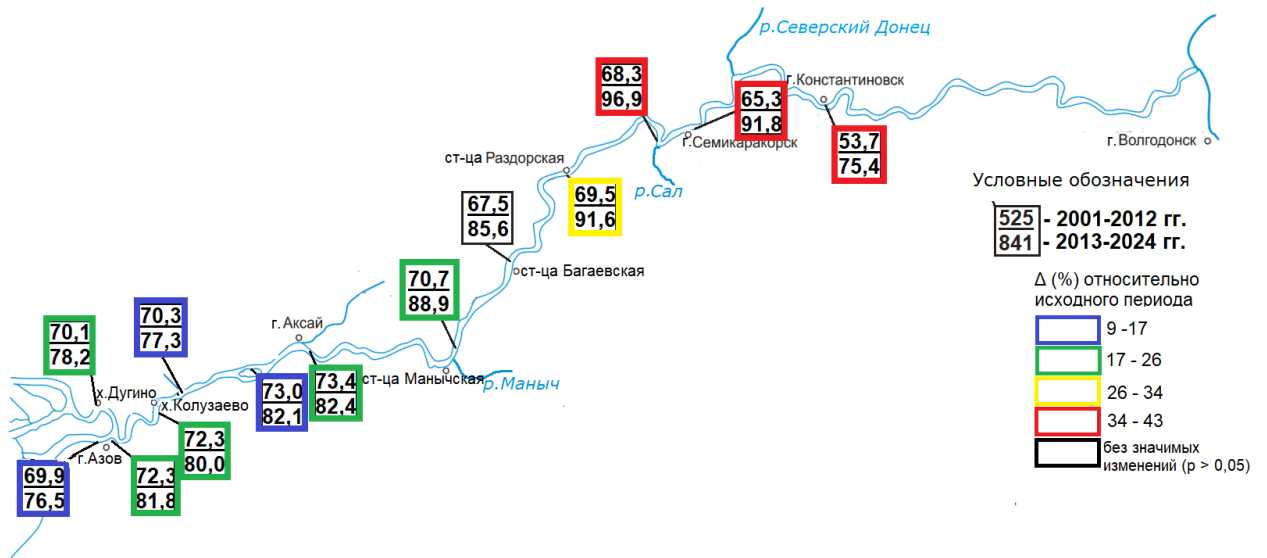


Рисунок 6 – Пространственно-временная изменчивость содержания кальция в воде нижнего течения р. Дон, мг/л

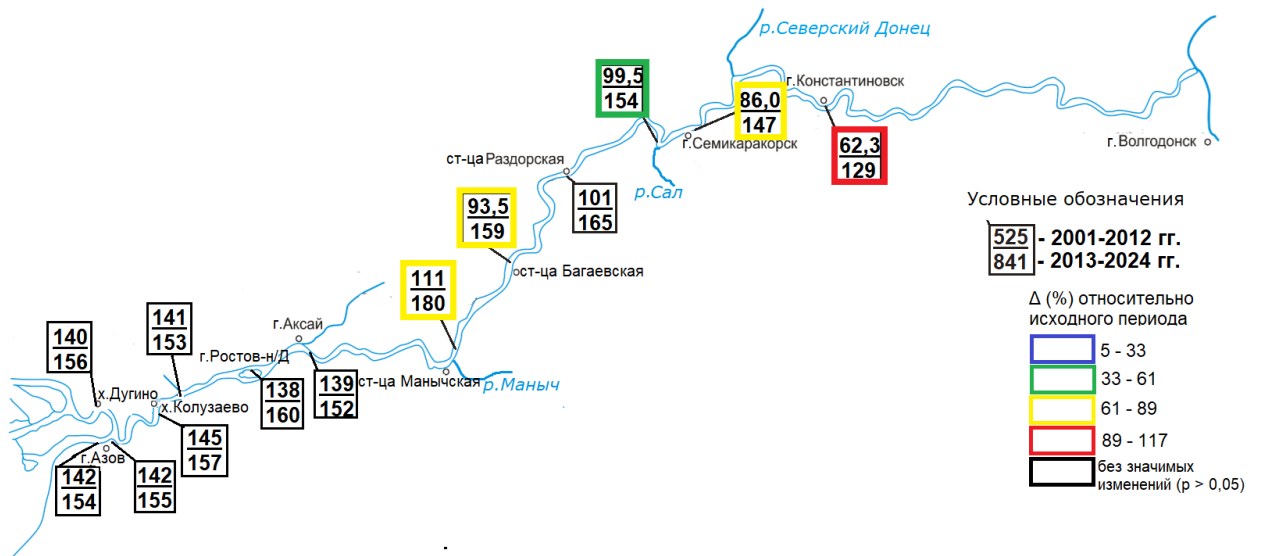


Рисунок 7 – Пространственно-временная изменчивость содержания натрия и калия (по сумме) в воде нижнего течения р. Дон, мг/л