

УДК 504.064:504.45
DOI 10.17513/use.38439

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ГЛАВНЫХ ИОНОВ В ВОДЕ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ДОН (2000–2024 ГГ.)

Сазонов А.Д. ORCID ID 0000-0002-1700-9314

*Гидрохимический институт Росгидромета, Россия, Ростов-на-Дону,
e-mail: alexei.sazonow2016@ya.ru;*

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Россия, Ростов-на-Дону

Статья посвящена изучению пространственно-временной изменчивости минерализации воды и содержания в ней главных ионов в нижнем течении р. Дон. Материалами настоящего исследования послужили первичные гидрохимические данные государственной наблюдательной сети Росгидромета о содержании в воде реки хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, ионов магния, кальция, суммы натрия и калия за современный период с 2000 по 2024 г. по данным пунктов наблюдений, расположенных между городами Константиновск и Азов. В результате проведения статистического анализа первичных гидрохимических данных и сравнительного анализа было установлено увеличение содержания главных ионов в нижнем течении р. Дон в направлении вниз по течению реки. Отмечено, что по данным пунктов гидрохимических наблюдений г. Константиновск и ст-ца Раздорская разброс среднесуточных значений был выше, чем в пунктах наблюдений Ростов-на-Дону и Азов. Показано, что в самые маловодные годы концентрация в воде реки главных ионов по сумме была выше, чем в самые многоводные и средние по объему водного стока годы. Полученные результаты свидетельствуют о влиянии климатических изменений на трансформацию ионного состава воды нижнего течения р. Дон в современный период.

Ключевые слова: минерализация, река Дон, главные ионы, ионный состав, Нижний Дон

SPATIAL-TEMPORAL VARIABILITY OF THE CONTENT OF MAIN IONS IN THE WATER OF THE LOWER REACH OF THE DON RIVER (2000–2024)

Sazonov A.D. ORCID ID 0000-0002-1700-9314

*Hydrochemical Institute of Roshydromet, Russia, Rostov-on-Don,
e-mail: alexei.sazonow2016@ya.ru;*

Southern Federal University, Russia, Rostov-on-Don

The article is devoted to the study of spatiotemporal variability of water mineralization and the content of major ions in it in the lower reaches of the Don River. The materials of this study are primary hydrochemical data of the state observation network of Roshydromet on the content of chlorides, sulfates, hydrocarbonates, ions of magnesium, calcium, total sodium and potassium in river water according to the data of observation points located between the cities of Konstantinovsk and Azov for the modern period from 2000 to 2024. As a result of the statistical analysis of the primary hydrochemical data and comparative analysis, an increase in the content of major ions in the lower reaches of the Don River in the downstream direction was established. It is noted that, according to the hydrochemical observation points of the town of Konstantinovsk and the village of Razdorskaya, the spread of average long-term values was greater than at the observation points of Rostov-on-Don and Azov. It is shown that in the driest years, the concentration of major ions in total in the river water was higher than in the highest-flow years and years with average water runoff volume. The obtained results indicate the influence of climate change on the transformation of the ionic composition of water in the lower reaches of the Don River in the modern period.

Keywords: mineralization, Don River, main ions, ionic composition, Lower Don

Введение

В последние десятилетия в условиях климатических изменений и антропогенной нагрузки химический состав воды рек способен претерпевать значительные трансформации [1–3]. Этим может обуславливаться пространственная и временная неоднородность химического состава воды рек и, в частности, содержание в речной воде главных ионов [4].

Нижнее течение р. Дон находится в регионе с преобладанием засушливых условий с недостатком увлажнения [5–7]. В последние десятилетия наблюдалось увели-

чение среднегодовой температуры воздуха и сокращение суммы атмосферных осадков на территории Донского водосбора, что привело к увеличению темпов аридизации территории [2; 3]. Кроме того, бассейн Нижнего Дона испытывает высокую антропогенную нагрузку, которая может негативно воздействовать на водные объекты рассматриваемой территории [5; 6; 8].

Цель исследования – изучение содержания главных ионов в воде нижнего течения р. Дон в современный период (2000–2024 гг.).

Материалы и методы исследования

Материалами исследования послужили первичные гидрохимические данные государственной наблюдательной сети Росгидромета о минерализации воды нижнего течения р. Дон и содержании в ней главных ионов (сульфатов, хлоридов, гидрокарбонатов, кальция, ионов магния, суммы натрия и калия) по данным пунктов (створов) наблюдений: г. Константиновск, ст-ца Раздорская, г. Ростов-на-Дону и г. Азов (рис. 1).

В ходе исследования была оценена пространственная и временная изменчивость содержания главных ионов в воде реки. Статистическая обработка многолетних данных и построение графиков производилось с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам статистической обработки рядов многолетних гидрохимических данных была оценена пространственная изменчивость содержания главных ионов в воде нижнего течения р. Дон (рис. 2). Согласно полученным результатам, можно отметить, что в направлении вниз по течению реки за исследуемый период наблюдалось заметное пространственное увеличение содержания в воде сульфатов, хлоридов, кальция, натрия и калия (по сумме). Обращает на себя внимание отличие размахов среднегодовых значений: в пунктах наблюдений г. Константиновск и ст-ца Раздорская диапазон значений содержания в воде сульфатов, хлоридов, гидрокарбонатов, кальция и суммы натрия и калия был значительно выше, чем в пунктах наблюдений Ростов-на-Дону и Азов. Это может свидетельствовать о наличии

факторов, приводящих к пространственной неоднородности содержания исследуемых веществ в воде нижнего течения р. Дон.

На участке расположения пунктов г. Константиновск и ст-ца Раздорская в р. Дон впадают притоки р. Северский Донец и Сал, которые могут оказывать воздействие на ионный состав воды р. Дон.

При этом между Ростовом-на-Дону и Азовом какие-либо крупные притоки отсутствуют. Этим можно объяснить более стабильный ионный состав воды на данном участке: на фоне отсутствия значимых источников поступления главных ионов в р. Дон наблюдается менее выраженный размах среднегодовых значений.

Как известно, объем водного стока может оказывать влияние на трансформацию химического состава вод, так как влияет на способность водных объектов к самоочищению. Повышенный водный сток создает условия для увеличения кратности разбавления веществ, пониженный – для их концентрирования [9; 10].

В табл. 1 представлена информация о содержании главных ионов (по сумме) в нижнем течении р. Дон в годы повышенного, пониженного и среднемноголетнего водного стока. В рамках рассматриваемого периода отмечались наибольшие концентрации в воде реки главных ионов (по сумме) в годы пониженного водного стока. В Константиновске в маловодные годы концентрация компонента была на 37% выше, чем в годы среднемноголетнего стока, в Раздорской – на 38%, в Ростове-на-Дону – на 10%, в Азове – на 13%. В самые многоводные и средние по объему стока годы содержание в воде суммы главных ионов было заметно ниже.

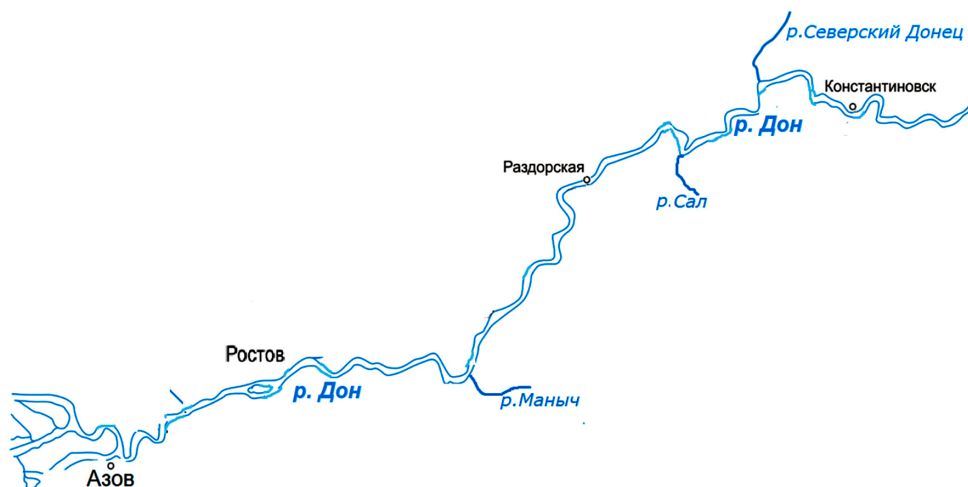


Рис. 1. Схема расположения пунктов (створов) гидрохимических наблюдений
Источник: составлено автором

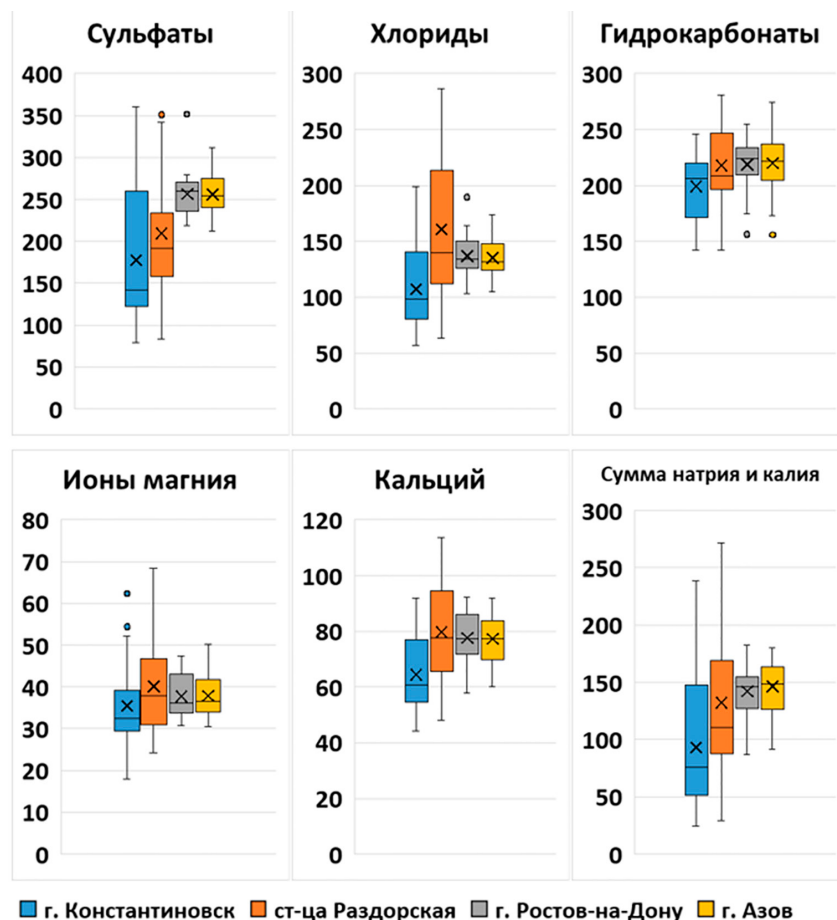


Рис. 2. Диаграммы размаха («ящики с усами») содержания главных ионов в воде нижнего течения р. Дон, мг/л
Источник: составлено автором на основе используемых данных

Таблица 1

Среднемноголетние показатели минерализации воды (суммы главных ионов), осредненные по разным группам лет по величине водного стока р. Дон, мг/л

Пункт наблюдений (км от устья)	Пониженный сток	Повышенный сток	Средний сток
Г. Константиновск (203)	767	484	559
Ст-ца Раздорская (151)	999	739	721
Г. Ростов-на-Дону (47)	931	803	843
Г. Азов (18)	949	817	843

Примечание. Красным цветом выделено максимальное значение, зеленым – минимальное.
Источник: составлено автором на основе используемых данных.

При рассмотрении ионного состава воды важно уделить внимание хронологической изменчивости содержания главных ионов в воде реки. В ранее проведенных исследованиях отмечалось, что в связи с введением в эксплуатацию Цимлянского водохранилища в 1953 г. и созданием сети ирригационных каналов в левобережной части бассейна

Нижнего Дона наблюдалось увеличение солевого загрязнения воды в нижнем течении р. Дон [11–13].

На рис. 3 представлен график, характеризующий содержание в воде нижнего течения р. Дон главных ионов (по сумме) по данным пунктов гидрохимических наблюдений за период с 2000 по 2024 г.

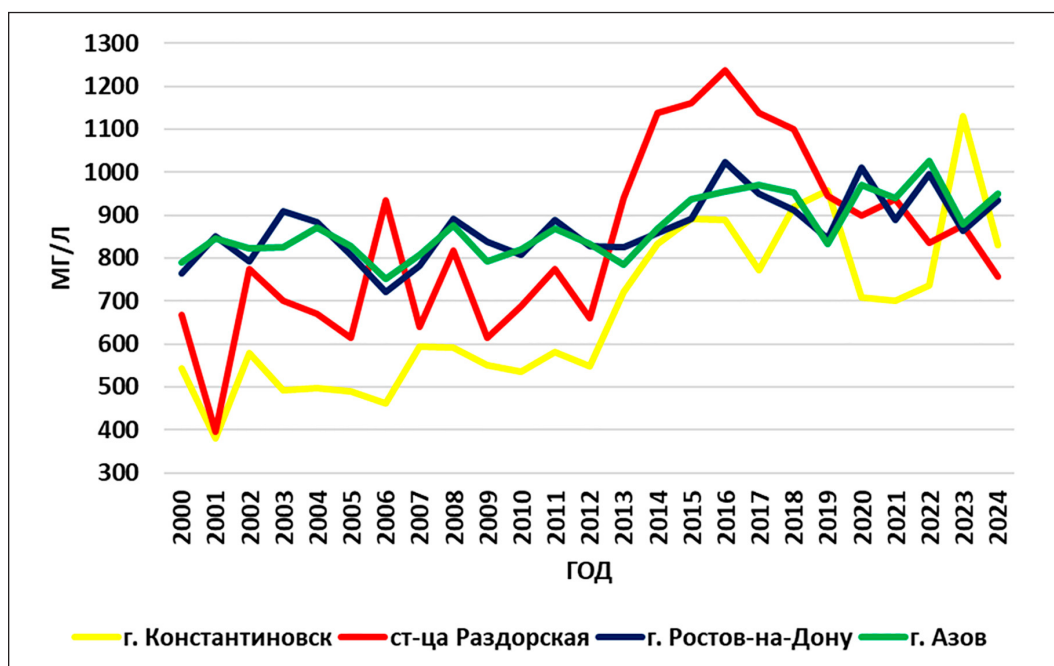


Рис. 3. Хронологическая изменчивость содержания главных ионов (по сумме) в нижнем течении р. Дон, мг/л

Источник: составлено автором на основе используемых данных

Таблица 2

Классификация воды нижнего течения р. Дон по ионному составу по многолетним периодам

Пункт наблюдений	2001–2012 гг.		2013–2024 гг.	
	Класс	Группа	Класс	Группа
Г. Константиновск	Гидрокарбонатно-сульфатный	Кальциево-магниевая	Сульфатно-хлоридный	Натриевая
Ст-ца Раздорская	Сульфатно-хлоридный	Натриево-кальциевая	Хлоридно-сульфатный	Натриевая
Г. Ростов-на-Дону	Сульфатный	Натриевая	Сульфатно-хлоридный	Натриевая
Г. Азов	Сульфатный	Натриевая	Сульфатный	Натриевая

Источник: составлено автором с использованием классификации О.А. Алекина [14, с. 106].

Представленные результаты свидетельствуют о заметном увеличении содержания в воде реки главных ионов (по сумме). Стоит отметить, что наиболее интенсивный рост концентрации компонента отмечался в пунктах гидрохимических наблюдений г. Константиновск и ст-ца Раздорская. Начиная с 2016 г. в пункте наблюдений г. Константиновск отмечалось снижение содержания главных ионов (по сумме), что может свидетельствовать об ослаблении факторов, оказывающих воздействие на поступление компонента в реку.

В пунктах гидрохимических наблюдений г. Ростов-на-Дону и г. Азов также на-

блюдалось увеличение содержания в воде реки суммы главных ионов, но оно было менее выраженным, что, как и в случае с пространственной изменчивостью, может быть связано с отсутствием значимых факторов воздействия.

Согласно представленным выше результатам, за рассматриваемый период наблюдалась пространственная и временная изменчивость содержания в воде нижнего течения р. Дон главных ионов. В связи с этим целесообразно оценить масштабность происходящих изменений с применением классификации О.А. Алекина, с помощью которой можно определить трансформацию класса

и группы вод [14, с. 106]. Особенно актуально использовать подобные классификации с целью наблюдения за многолетними изменениями [15]. Данные о трансформации ионного состава воды представлены в табл. 2.

Основываясь на полученных результатах, можно отметить, что за рассматриваемый период произошла хронологическая трансформация ионного состава воды. По данным пунктов наблюдений г. Константиновск и ст-ца Раздорская наблюдалась трансформация как класса, так и группы вод, что связано с увеличением преобладания в ионном составе сульфатных и хлоридных анионов, а также катионов натрия. В пункте наблюдений г. Ростов-на-Дону отмечалась трансформация класса вод, в пункте наблюдений г. Азов класс и группа вод не изменялись.

Выводы

Проведено исследование пространственно-временной изменчивости содержания главных ионов в воде нижнего течения р. Дон в современный период. По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

1. Наблюдалось пространственное возращание содержания главных ионов в направлении вниз по течению реки.

2. За период с 2000 по 2024 г. отмечалось хронологическое увеличение концентрации суммы главных ионов.

3. В маловодные годы содержание в воде реки суммы главных ионов было выше, чем в годы повышенного водного стока.

4. Отмечалась трансформация ионного состава (класса и группы) воды реки по классификации О.А. Алекина.

Список литературы

1. Гельфан А.Н., Калугин А.С., Крыленко И.Н., Лавренев А.А., Мотовилов Ю.Г. Гидрологические последствия изменения климата в крупных речных бассейнах: опыт совместного использования региональной гидрологической и глобальных климатических моделей // Вопросы географии. 2018. № 145. С. 49–63. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34913822> (дата обращения: 20.08.2025). EDN: XNFPIL.
2. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милокова И.П., Барабанова Е.А., Кашутина Е.А. Современные и сценарные изменения стока Волги и Дона // Водное хозяйство России. 2017. № 3. С. 6–23. DOI: 10.35567/1999-4508-2017-3-1.

3. Георгиади А.Г., Милокова И.П., Кашутина Е.А. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейне Дона // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 6. С. 651–662. DOI: 10.31857/S0321059620060061.

4. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А., Хорошавин В.Ю. Прогноз влияния возможного потепления климата на химический состав вод суши // Доклады Академии наук. 2011. Т. 441. № 5. С. 666–669. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17238718> (дата обращения: 20.08.2025). EDN: ONGCQD.

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

6. Дандара Н.Т., Немыкина Д.Е. Гидрологический анализ реки Дон на участке ниже Кочетовского гидроузла: гидрографическая сеть, расходы, уровни и уклоны воды // Вестник современных исследований. 2018. № 5.3. С. 88–99. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35287843> (дата обращения: 20.08.2025). EDN: XTTPVP.

7. Лурье П.М., Панов В.Д. Влияние изменений климата на гидрологический режим р. Дон в начале XXI столетия // Метеорология и гидрология. 1999. № 4. С. 90–97. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27399748> (дата обращения: 20.08.2025). EDN: XBPNSP.

8. Дандара Н.Т., Немыкина Д.Е. Гидрологический анализ реки Дон на участке ниже Кочетовского гидроузла: посадка уровней воды, связь расходов и уровней, скоростной режим // Вестник современных исследований. 2018. № 10.5 (25). С. 134–144. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36465725> (дата обращения: 20.08.2025). EDN: VMPFRE.

9. Thompson J.R., Gosling S.N., Zaherpour J., Laizé C.L.R. Increasing risk of ecological change to major rivers of the world with global warming // Earth's Future. 2021. Т. 9. № 11. P. e2021EF002048. DOI: 10.1029/2021EF002048.

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

11. Никаноров А.М., Иваник В.М., Пирумова Е.И. Тенденции многолетних изменений солевого состава воды р. Дон в нижнем течении // Метеорология и гидрология. 2004. № 11. С. 83–89. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18112810> (дата обращения: 20.08.2025). EDN: PGJKZJ.

12. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. Геоэкологический феномен в условиях маловодья и зарегулирования реки Дон // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2024. Т. 519. № 1. С. 560–566. DOI: 10.31857/S2686739724110201. EDN: GNBSES.

13. Матишов Г.Г., Хорошев О.А., Сушко К.С., Степаньян О.В., Малик Ю.В. Нижний Дон: уникальная речная артерия и ее экологические проблемы // Природа. 2023. № 3 (1291). С. 36–50. DOI: 10.7868/S0032874X23030043.

14. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1953. 296 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geokniga.org/books/7838> (дата обращения: 20.08.2025).

15. Широкова В.А. Классификации природных вод: прошлое, настоящее, будущее // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. Т. 18. № 3. С. 1023–1027. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?idn=pwmkhd> (дата обращения: 20.08.2025). EDN: PWMKHD.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.