

4. Подведены итоги Евразийской студенческой олимпиады по географии «Terra Incognita» // Географический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова. – URL: https://www.geogr.msu.ru/news/podvedeny-itogi-evraziyskoy-studencheskoy-olimpiady-po-geografii-terra-incognita/?sphrase_id=6600 (дата обращения 02.07.2024).

5. Итоги I Евразийского конкурса научно-исследовательских работ студентов и молодых ученых «Terra Prospectus» // Факультет географии и геоинформатики Белорусского государственного университета. – URL: <https://www.geo.bsu.by/index.php?view=article&id=2134:itogi-i-evrazijskogo-konkursa-nauchno-issledovatel'skikh-rabot-studentov-i-molodykh-uchenykh-terra-prospectus&catid=124> (дата обращения 31.12.2024).

6. Итоги I Евразийского конкурса научно-исследовательских работ студентов и молодых ученых «Terra Prospectus» // Географический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. – URL: <https://www.geogr.msu.ru/news/itogi-i-evraziyskogo-konkursa-nauchno-issledovatel'skikh-rabot-studentov-i-molodykh-uchenykh-terra-pr/> (дата обращения 10.01.2025).

7. Евразийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и молодых ученых «Terra Prospectus» // Факультет географии Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена. – URL: <https://www.herzen.spb.ru/about/struct-uni/fac/f-geo/36584/> (дата обращения: 05.02.2025).

УДК 504.453

Р. С. КОМАРОВ^{1,2}, О. С. РЕШЕТНЯК¹

¹Россия, Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет

²Россия, Ростов-на-Дону, Гидрохимический институт

E-mail: KomarovRoman128@yandex.ru, olgare1@mail.ru

ОЦЕНКА МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ИОННОГО СТОКА В БАСЕЙНЕ РЕКИ КУБАНИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Формирование водного и ионного стока в бассейне р. Кубани происходит в условиях значительной антропогенной нагрузки (особенно в среднем и нижнем течении) [1] и климатических изменений [2]. При этом поверхностные воды рек бассейна имеют социально-экономическое и экологическое значение с точки зрения обеспечения водными ресурсами

нужд населения, промышленного и сельскохозяйственного секторов экономики Карачаево-Черкесской Республики, Ставропольского края, Республики Адыгея и Краснодарского края. Происходящие изменения окружающей среды оказывают влияние на процессы формирования химического состава и качества воды. Кроме того, «сток растворенных веществ является одним из важнейших гидрохимических показателей формирования геоэкологической обстановки в бассейне реки» [3, с. 44].

Исходя из этого, цель исследования – проанализировать многолетнюю изменчивость ионного стока в пределах бассейна р. Кубани в условиях антропогенного воздействия и климатических изменений.

Исследование проведено на основе многолетних гидрохимических и гидрологических данных государственной наблюдательной сети Росгидромета. Исходная информация представляет собой ряды данных о расходах воды и концентрациях главных ионов в воде рек бассейна Кубани за период с 1990-го по 2020 г. Расчет ионного стока выполнен прямым способом [4].

Статистически значимые тренды ионного стока определялись с помощью коэффициента ранговой корреляции Кендалла и уровня доверительной вероятности, при котором эти коэффициенты могут считаться статистически значимыми ($p < 0,05$). Для анализа многолетних колебаний ионного стока и установления связи с водным стоком и климатическими параметрами (по данным метеостанций [5]) использовали метод нормализованных разностно-интегральных кривых. Обработка данных осуществлялась в MS Excel 2010 и Statistica 13.0.

На основе данных о концентрациях главных ионов и значениях годового стока воды выполнен расчет ионного стока для восьми участков р. Кубани и пяти основных ее притоков (Лаба, Белая, Пшиш, Псекупс и Адагум). Статистически значимые тенденции ионного стока (при $p < 0,05$) в бассейне р. Кубани выявлены только для пяти участков рек в пунктах наблюдений р. Кубань – г. Краснодар ($r = -0,28$), рукав Протока – г. Славянск-на-Кубани ($r = -0,25$), рукав Протока – хутор Слободка ($r = -0,50$), р. Пшиш – г. Хадыженск ($r = -0,29$) и р. Псекупс – г. Горячий Ключ ($r = -0,30$). В таблице представлены основные статистические характеристики ионного стока за период 1990–2020 гг. для данных участков рек.

Как было показано нами ранее [6], для нижнего течения р. Кубани (г. Краснодар) и для дельтового рукава Протока (г. Славянск-на-Кубани, хутор Слободка) характерно синхронное снижение ионного и водного стока.

На рисунке представлены совмещенные нормализованные разностно-интегральные кривые, отражающие многолетние колебания стока воды, ионного стока и годовой суммы осадков.

Таблица – Статистические характеристики ионного стока для отдельных участков рек (со значимым убывающим трендом) в бассейне р. Кубани (1990–2020 гг.)

Водный объект, пункт наблюдений	Ионный сток, тыс. т/год				Коэффициент линейного тренда, тыс. т/год в год
	Среднее	Мини- мальное	Макси- мальное	Стандартное отклонение	
р. Кубань, г. Краснодар	3864	1975	6116	946	–45,0
рукав Протока, г. Славянск-на Кубани	2191	818	3836	624	–26,5
рукав Протока, хутор Слободка	2592	1459	4679	740	–49,9
р. Пшиш, г. Хадыженск	44,0	19,7	87,2	16,3	–0,69
р. Псекупс, г. Горячий Ключ	117	42,0	220	46,3	–1,76

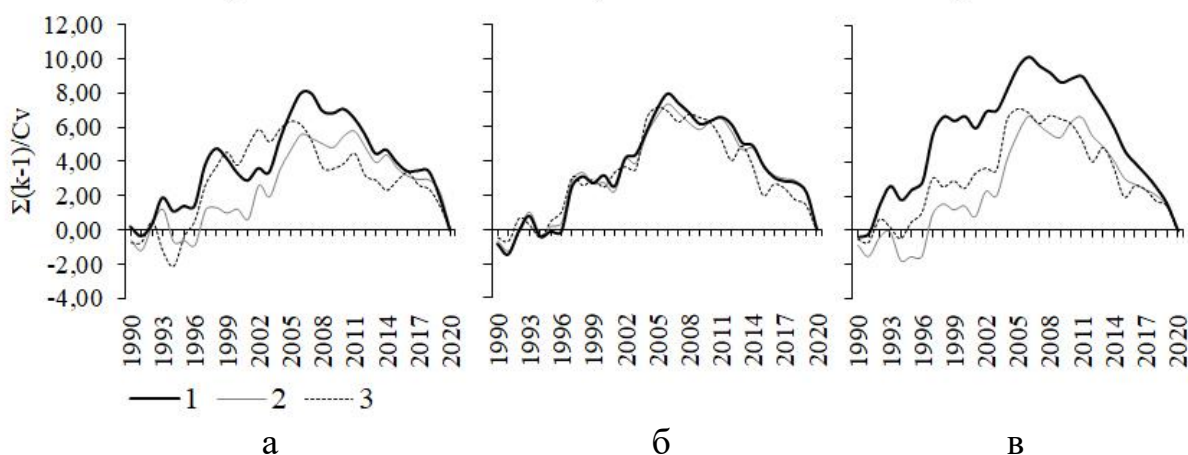


Рисунок – Нормализованные разностно-интегральные кривые ионного стока (1), водного стока (2) и годовой суммы осадков (3) в нижнем течении Кубани: а – р. Кубань, г. Краснодар; б – рукав Протока, г. Славянск-на-Кубани; в – рукав Протока, хутор Слободка

Форма нормализованных разностно-интегральных кривых водного и ионного стока свидетельствует о подобии многолетних колебаний на участках р. Кубани и рукава Протока. При этом наибольшая синхронность колебаний наблюдается на участке рукав Протока – г. Славянск-на-Кубани. Меньшая согласованность характерна для р. Кубани в районе г. Краснодара и участка рукав Протока – хутор Слободка. Это же подтверждается теснотой связи между водным и ионным

стоком в пунктах наблюдений, найденной с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена: 0,84 на участке р. Кубани в районе г. Краснодара, 0,94 – рукав Протока, г. Славянск-на-Кубани, 0,88 – рукав Протока, хутор Слободка.

Разностно-интегральные кривые годовой суммы осадков, построенные по данным метеостанции Приморско-Ахтарск [5], сопоставлялись с динамикой водного стока на участках рукав Протока – г. Славянск-на-Кубани и рукав Протока – хутор Слободка. Сведения со станции Краснодар, Круглик сравнивались с динамикой водного стока на участке р. Кубань – г. Краснодар. Ход кривых водного стока и годовой суммы осадков имеет схожий характер очертаний на всех трех участках. Однако обращают на себя внимание разные годы смены фаз возрастания и снижения параметров в пункте наблюдений р. Кубань – г. Краснодар. Меньшая синхронность кривых на данном участке может быть связана с влиянием Краснодарского водохранилища.

В целом выявленные особенности многолетних колебаний гидролого-гидрохимических параметров указывают на наличие общих причин происходящих изменений в бассейне Кубани. Сокращение количества выпадающих осадков привело к уменьшению водного стока. К тому же вклад в изменения ионного стока вносит уменьшение концентраций главных ионов в воде, связанное со снижением антропогенного воздействия [7; 8].

На участках притоков изменения ионного стока также обусловлены сокращением водного стока. Рассматриваемые притоки относятся к рекам с преобладанием дождевого питания – 70,5 и 89,7 % от годового стока на участках г. Хадыженск и г. Горячий Ключ соответственно [9]. Причиной уменьшения водного стока на участках выступает сокращение количества выпадающих осадков, что подтверждается снижением годовой суммы осадков за период 1990–2020 гг. по данным станции Краснодар, Круглик.

Таким образом, в ходе исследования была проанализирована многолетняя изменчивость ионного стока в бассейне р. Кубани в условиях антропогенного воздействия и климатических изменений. Выявлены статистически значимые тенденции изменчивости ионного стока в пяти пунктах наблюдений. Все тенденции носили характер убывающей линейной зависимости. Выявленные особенности многолетних колебаний гидролого-гидрохимических параметров в бассейне р. Кубани указывают на наличие общих причин происходящих изменений, которые вызваны сокращением количества выпадающих осадков и снижением антропогенной нагрузки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00366, <https://rscf.ru/project/24-27-00366/>.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Решетняк, О. С. Временная изменчивость стока макрокомпонентов и антропогенной составляющей ионного стока реки Лабы / О. С. Решетняк, Р. С. Комаров // Вопросы степеведения. – 2023. – № 4. – С. 14–24.
2. Керимов, И. А. Анализ агроклиматических условий степных ландшафтов Северного Кавказа в связи с глобальными изменениями климата / И. А. Керимов, В. В. Братков, Л. Р. Бекмурзаева // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2022. – Т. 7, № 2 (28). – С. 43–51.
3. Парфенова, Г. К. Антропогенные изменения гидрохимических показателей качества вод : монография / Г. К. Парфенова. – Томск : Аграф-Пресс, 2010. – 203 с.
4. Усовершенствованная методика определения выноса (переноса) загрязняющих веществ с речным стоком : РД 52.24.748-2010. – Ростов н/Д : Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2010. – 73 с.
5. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных : [сайт]. – URL: <http://meteo.ru/data/> (дата обращения: 23.03.2025).
6. Комаров, Р. С. Пространственно-временная изменчивость ионного стока в бассейне р. Кубани / Р. С. Комаров, О. С. Решетняк // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 191–203.
7. Комаров, Р. С. Тенденции изменчивости компонентов ионного стока в бассейне р. Кубани / Р. С. Комаров // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа : материалы XIV Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, Махачкала, 17–22 сент. 2024 г. – М. : Ин-т истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН, 2024. – С. 456–461.
8. Гидрология дельты и устьевого взморья Кубани / под ред. В. Н. Михайлова, Д. В. Магрицкого, А. А. Иванова. – М. : ГЕОС, 2010. – 728 с.
9. Лурье, П. М. Река Кубань: гидрография и режим стока / П. М. Лурье, В. Д. Панов, Ю. Ю. Ткаченко. – СПб. : Гидрометеиздат, 2005. – 498 с.