

СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЕ В МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА, ОСАДКОВ И СТОКА В БАССЕЙНАХ РЕК ДОНА И УРАЛА

© 2025 г. С.В. Долгов*, Н.И. Коронкевич*, Ж.Т. Сивохип**, В.М. Павлейчик**

**Институт географии РАН*

Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4

E-mail: svdolgov1978@yandex.ru; koronkevich@igras.ru

***Институт степи Ульского отделения РАН*

Россия, 460000, г. Оренбург, ул. Пионерская, д. 11. E-mail: sivohip@mail.ru

Поступила в редакцию 03.04.2025. После доработки 10.05.2025. Принята к публикации 01.07.2025.

Приведены результаты сравнительного географо-гидрологического анализа многолетних колебаний температуры воздуха, атмосферных осадков, годового речного стока, максимального и минимального месячного стока в бассейнах рек Дон и Урал. Показано, что на фоне сравнительно мало изменившихся осадков основным фактором гидрологических изменений за последние десятилетия (с 1990-х гг.) стал рост температуры воздуха в холодный период года, приведший к снижению поверхностного склонового стока и стока половодья. В результате, несмотря на увеличившийся сток в зимнюю и летне-осеннюю межень, годовой речной сток за 1992-2021 гг. в бассейнах данных рек значительно снизился – на 31 и 27% относительно нормы по состоянию на начало 1960-х гг. и на 30 и 15% по отношению к норме 1980 г.

Ключевые слова: лесостепь и степь, потепление климата, водный баланс, сток рек Дона и Урала, современные изменения.

DOI: 10.24412/1993-3916-2025-3-4-11

EDN: ADBGGP

Реки Дон и Урал располагаются преимущественно в лесостепной и степной зонах. Большая часть их водосборов находится в пределах России, но часть располагается за рубежом – в Украине и Казахстане, т.е. и та, и другая река являются трансграничными. Они впадают в морские водоемы с высокой степенью автономности по отношению к мировому океану, имея или весьма ограниченную связь с ним (Азовское море) или полное отсутствие таковой (Каспийское море). Весьма схоже естественное сезонное распределение режима стока в среднем многолетнем аспекте – высокое весеннее половодье и низкая зимняя и летняя межень. Схожи и современные климатически обусловленные изменения этого режима – в сторону уменьшения стока весеннего половодья и повышения меженного стока. И Дон, и Урал подвергаются интенсивному антропогенному воздействию, обе реки в значительной мере зарегулированы. Вместе с тем бассейн Дона располагается в юго-западной части Европейской территории страны (ЕТС), включая небольшую водосборную территорию в пределах Украины, а Урал – в юго-восточной части ЕТС, захватывая Азиатскую территорию России, отчасти – Казахстана. Площадь бассейна Дона в 1.8 раза больше площади бассейна Урала, а средний многолетний сток выше почти в 3 раза.

Есть и другие сходства и различия. Обоим бассейнам посвящена обширная гидрометеорологическая литература: Дону – А.Г. Георгиади с соавторами (2014), В.А. Дмитриева (2020), в т.ч. с соавторами (2022), С.В. Долгов с соавторами (2020), Н.И. Коронкевич с соавторами (2023); Уралу – Д.Ю. Васильев (2023), А.П. Демин (2023), Д.В. Магрицкий (2024), в т.ч. с соавторами (2018), В.З. Родионов (1977), Н.Б. Прохорова и А.Е. Косолапов (2011), Ж.Т. Сивохип с соавторами (2019, 2021). Кроме того, обеим рекам уделено большое внимание в различных статистических справочниках (Водные ресурсы и водный баланс, 1967; Водные ресурсы СССР, 1987; Воскресенский, 1962; Государственный водный кадастр, 1982-2022).

Однако сопоставление гидрологии именно Дона и Урала и основных климатических факторов формирования их стока не проводилось. Цель данной статьи – осуществить такой сравнительный географо-гидрологический анализ рассматриваемых рек с учетом последних данных и тем самым

выявить сходство и различие в формировании и режиме стока в юго-западной и юго-восточной частях Европейской территории России. Имея в виду при этом и антропогенное влияние на сток, которое достигло максимума в середине 1980-х гг. и привело к уменьшению стока Дона на $7.5 \text{ км}^3/\text{год}$ (Водные ресурсы ..., 2008) и около $2.5 \text{ км}^3/\text{год}$ Урала (Магрицкий, 2024). Впрочем, к настоящему времени антропогенное воздействие на сток этих рек снизилось в 1.5-1.7 раза.

Исходная информация и методы исследования. В качестве исходной информации использовались опубликованные литературные данные, результаты наблюдений Росгидромета за стоком р. Дон у ст. Раздорская и Казанская (рис. 1), а также данные об элементах водного баланса (Автоматизированная ..., 2024; Водные ресурсы ..., 1967; Ресурсы ..., 1982-2021). Кроме того, анализировались временные ряды осадков и температуры воздуха, приведенные на сайте ВНИИГМИ МЦД (Всероссийский ..., 2025). Другой массив исходной информации представлен многолетними данными по стоку (р. Урал – с. Кушум), осадкам и температуре воздуха в бассейне р. Урал (г. Оренбург; рис. 1).

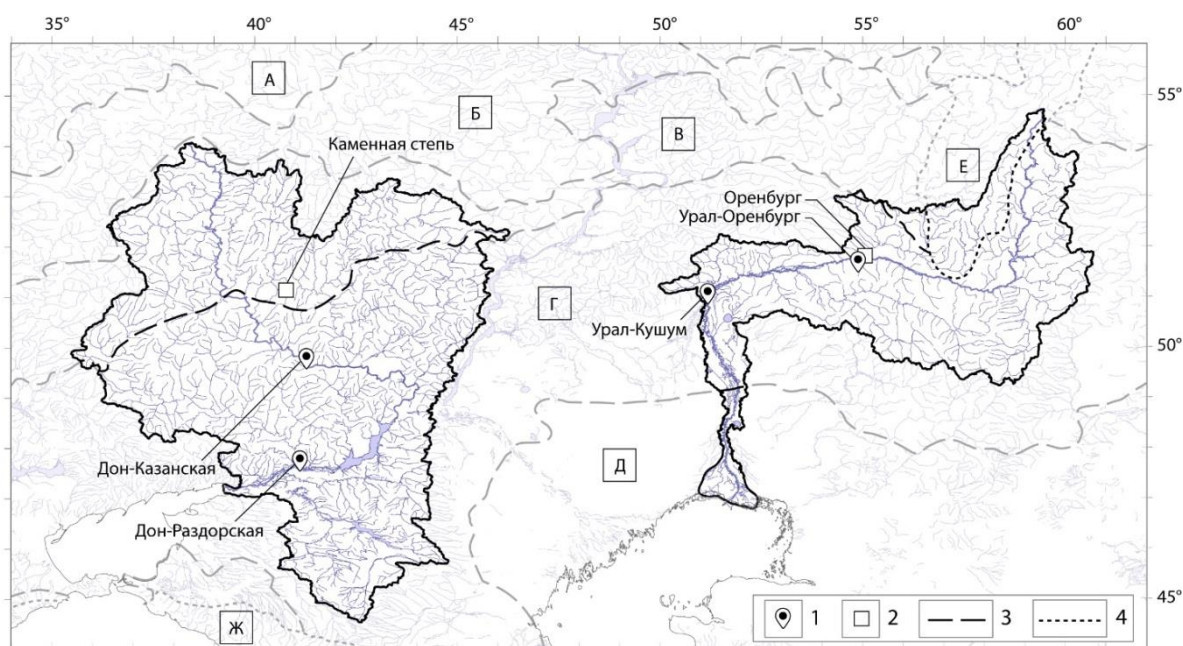


Рис. 1. Схема расположения исследуемых речных бассейнов. Условные обозначения: 1 – гидрологические посты, 2 – метеостанции, 3 – границы природных зон (А – широколиственные леса, Б – тайга, В – лесостепи, Г – степи, Д – пустыни (Зоны ..., 1999)), 4 – границы горных областей (Е – Урал, Ж – Кавказ).

Поскольку приведенные на сайте ВНИИГМИ МЦД (Всероссийский ..., 2025) осадки после 2015 г. включают в себя не все поправки, то для ориентировочного учета всех их видов за период с 1967 по 2015 гг. мы рассчитали отношение величины осадков с устраненными в них погрешностями измерений к величине измеренных осадков. Это отношение в среднем составило для бассейнов Дона (в среднем по 11 метеостанциям) и Урала (по 6 метеостанциям) 1.07 и 1.14. Рассчитанные с учетом этого отношения осадки позволяют сравнивать воднобалансовые характеристики за разные многолетние периоды.

Основные методы исследования – сравнительный географо-гидрологический анализ и статистические обобщения. Для анализа реакции многолетней динамики речного стока на динамику климатических факторов в бассейнах Дона и Урала рассчитывались разностные интегральные кривые температуры воздуха и атмосферных осадков.

Результаты и обсуждение

Многолетние колебания температуры воздуха в бассейнах рр. Дон и Урал обладают весьма существенным сходством, но прежде всего – синхронностью. Так, коэффициент корреляции

динамики годовой температуры воздуха за 1945-2022 гг. между метеостанциями в пос. Каменная степь (бассейн Дона) и в г. Оренбург (бассейн Урала), несмотря на значительную удаленность их друг от друга (1200 км), составил 0.88, а температуры за теплый (апрель-октябрь) и холодный (ноябрь-март) периоды – 0.82 и 0.88. Следствием достаточно высокой степени синхронности является синфазность многолетних колебаний температуры в сравниваемых пунктах (рис. 2). В них отчетливо выражены лишь 2 фазы: пониженных значений годовой температуры до 1987-1988 гг. и повышенных впоследствии, вплоть до настоящего времени. Такая же ситуация отмечается для межгодовой динамики температуры холодного периода. В то время как переход к фазе повышенных значений в теплый период произошел позже – в 1995 г., одновременно в Каменной степи и Оренбурге.

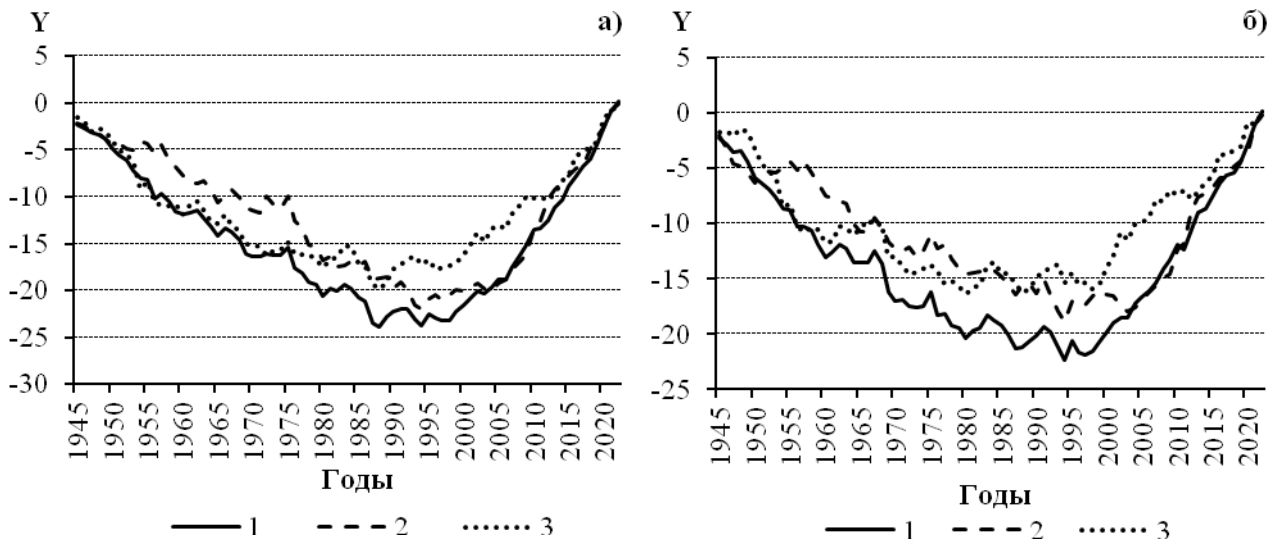


Рис. 2. Нормированные разностные интегральные кривые температуры воздуха на метеостанциях Каменная степь (А) и Оренбург (Б). Условные обозначения к рис. 2-3: $Y = \sum (k_i - 1) / C_v$, где k_i – отношение температуры за i -й год к средней многолетней ее величине, C_v – коэффициент вариации, 1 – год, 2 – теплый период (IV-X), 3 – холодный период (XI-III).

Для обоих бассейнов характерно повышение температуры воздуха за последние десятилетия (1991-2023 гг.) во все месяцы. Наиболее существенный рост произошел в холодный сезон – с ноября по март в среднем на 2.1°C в Каменной степи и на 1.7°C в Оренбурге; в меньшей степени увеличилась температура в теплый сезон – за апрель-октябрь в среднем на 1.2°C в Каменной степи и на 1.1°C в Оренбурге.

В отличие от температуры сходство многолетних колебаний осадков в рассматриваемых бассейнах существенно меньше (рис. 3). Так, в колебаниях в бассейне Дона (выше ст. Казанской) каких-либо отчетливо выраженных тенденций не обнаружено. Их изменение за 1991-2023 гг. по отношению к средней величине за 1967-1990 гг. составило лишь 1-2%. В то время как в динамике осадков в бассейне Урала (выше г. Оренбурга) до 2008 г. преобладали повышенные величины и лишь в самые последние годы в колебаниях годовых осадков и осадков теплого сезона сформировалась фаза пониженных по сравнению с нормой осадков. Сокращение годовых осадков за 1991-2023 гг. составило 5.5%, а осадков теплого периода – 10.5%.

В то же время осадки холодного сезона не только не уменьшились, но даже несколько выросли – на 4.5%, что, возможно, привело к меньшему сокращению годового стока р. Урала по сравнению с р. Доном (рис. 4). Так, сток Дона у ст. Раздорской относительно нормы по состоянию на 1980 г. (Водный кадастр ..., 1982-2021) снизился в среднем за 1992-2021 гг. на 25%, а сток р. Урал у с. Кушум – лишь на 15%, несмотря на уменьшившееся в этот период антропогенное воздействие.

Многолетние колебания речного стока в бассейнах на фоне небольшой изменчивости осадков в значительной мере обусловлены многолетней динамикой температуры воздуха. Отмеченный выше рост привел к уменьшению глубины промерзания почвы, учащению оттепелей, росту инфильтрации воды в почву, резкому сокращению поверхностного склонового стока (Барабанов и др., 2018),

вплоть до его отсутствия в отдельные годы, что стало основной причиной снижения стока весеннего половодья и годового стока. Так, сокращение стока Дона у ст. Казанской в период половодья относительно нормы (1927-1980 гг.) достигло 40-60% в 2007-2016 гг. Вместе с тем как в холодный, так и в теплый периоды увеличился дренируемый реками подземный сток, включая верховодку (Долгов и др., 2020). В наибольшей степени вырос сток в ноябре-феврале – на 55-65%, в меньшей мере – в июне-августе – на 25-30% (рис. 5А). Аналогичные изменения внутригодового распределения стока зафиксированы для р. Урал (рис. 5Б). Сокращение стока весеннего половодья в п. Кушум за 1981-2022 гг. по сравнению с 1945-1980 гг. составило 35%. Максимальное увеличение стока Урала отмечается в ноябре-марте и августе-октябре – на 30-65% и 20-25%.

В итоге внутригодовое распределение стока стало более равномерным. В связи с этим фазы разной водности в многолетних колебаниях годового стока могут быть слабо выраженными (рис. 6) в отличие от колебаний годовой температуры воздуха (рис. 2).

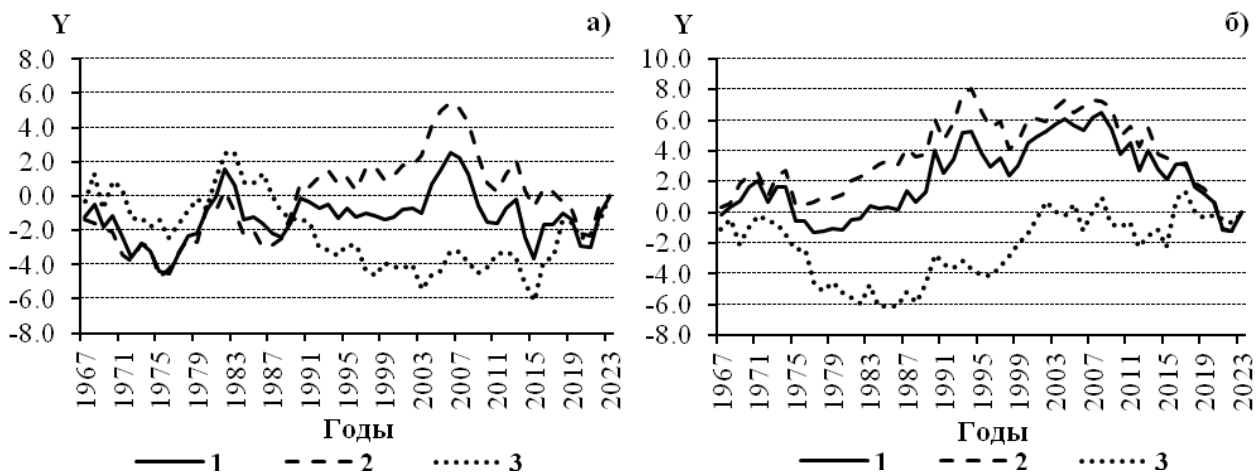


Рис. 3. Разностные интегральные кривые осадков, средних по бассейнам Дона (А) и Урала (Б).

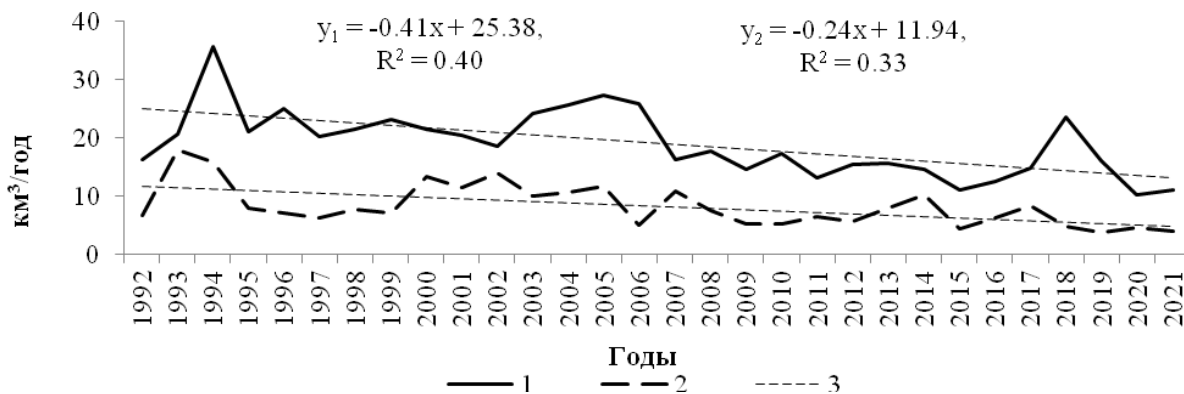


Рис. 4. Динамика годового стока. Условные обозначения: 1 – р. Дон–Раздорская, 2 – р. Урал–Кушум, 3 – линии линейных трендов рр. Дон и Урал, y_1 и y_2 – уравнения линейных трендов рр. Дон и Урал, R^2 – коэффициенты детерминации.

Наиболее отчетливо выражены фазы разной водности в многолетних колебаниях генетически однородных показателей речного стока, в т.ч. минимального месячного стока в зимнюю и летне-осеннюю межень, формирующегося преимущественно за счет подземной составляющей. Из рисунка 6 следует, что переход к фазе повышенных значений минимального месячного стока произошел на Дону в конце 1970-х – начале 1980-х гг.; одновременно отмечался переход к фазе пониженных значений максимального месячного стока. Снижение годового стока стало проявляться позднее – с 2007 г. по настоящее время.

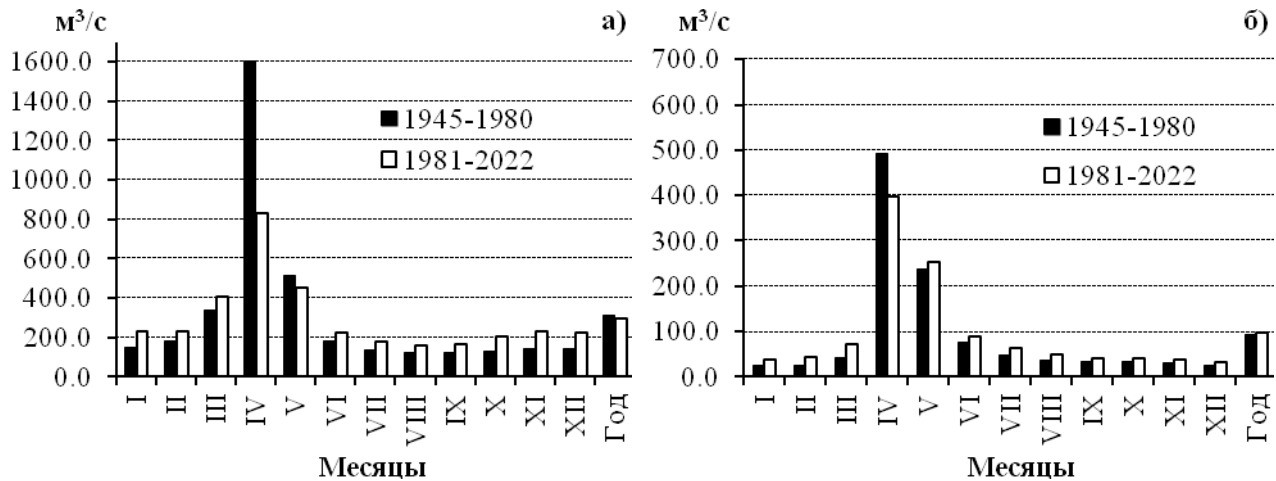


Рис. 5. Внутригодовое распределение месячного стока за разные периоды. Условные обозначения: а) р. Дон–Казанская, б) р. Урал–Оренбург.

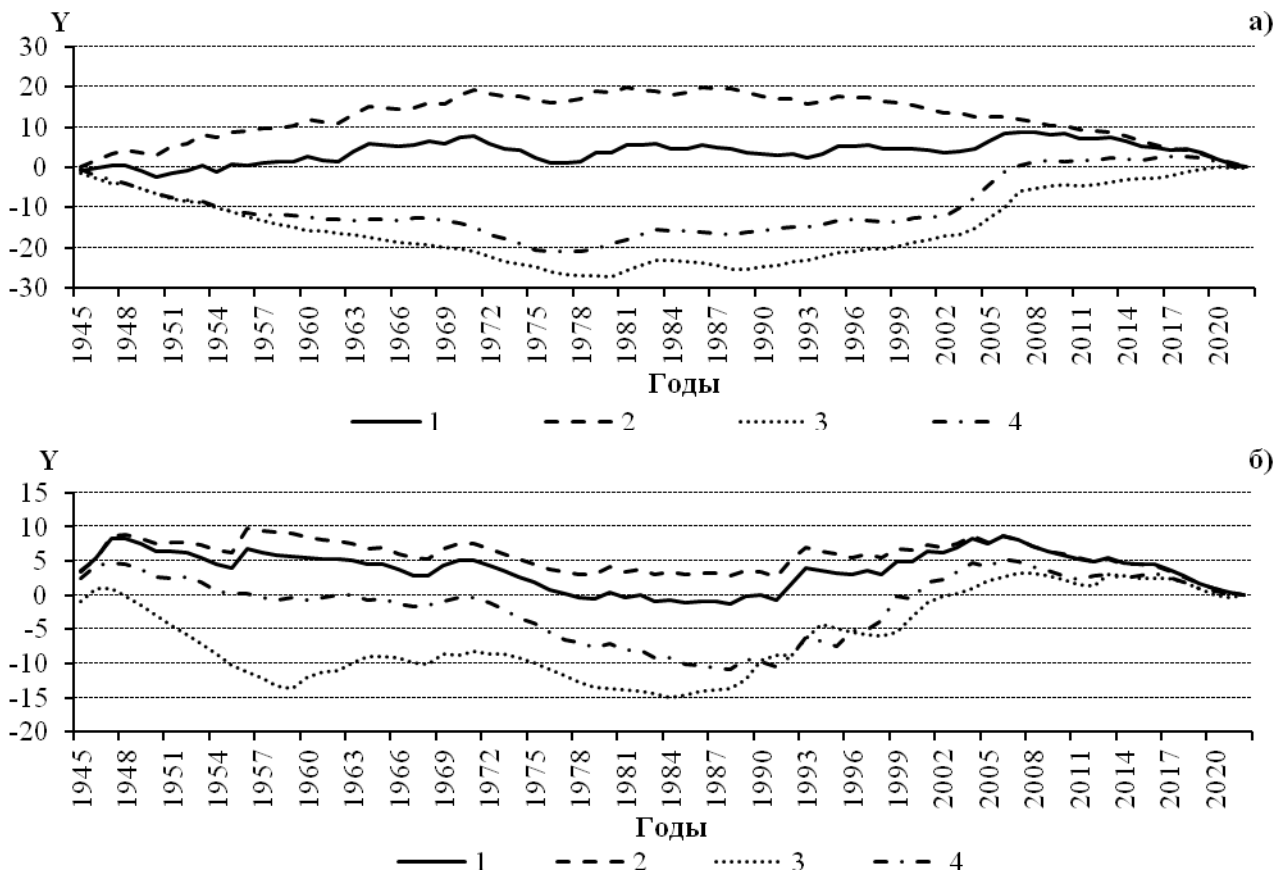


Рис. 6. Нормированные разностные интегральные кривые стока р. Дон–Казанская (а) и р. Урал–Оренбург (б). Условные обозначения: $Y = \sum (ki - 1) / Cv$, где ki – отношение стока за данный год к его среднему значению за анализируемый период, Cv – коэффициент вариации, 1 – годовой сток, 2 – максимальный месячный сток, 3 – минимальный месячный зимний сток, 4 – минимальный месячный летне-осенний сток.

Иная ситуация сложилась в бассейне Урала, где фаза повышенных значений минимального месячного стока сформировалась позже – в середине 1980-х гг. и продолжалась до 2007 г.

Затем вплоть до настоящего времени прослеживается фаза пониженных значений как минимального месячного стока, так и максимального месячного и годового.

Воднобалансовые изменения. В таблице приведены опубликованные сведения о среднем многолетнем водном балансе (Водные ресурсы ..., 1967, 1987), включая результаты наших расчетов за последние годы (Всероссийский ..., 2025; Водный кадастр ..., 1982-2021).

Таблица. Водный баланс рек Дона и Урала.

Река, створ	Площадь водосбора, км ²	P		R		S		U		E		W		Коэффициент стока	Доля подземного стока в сумме, %
		мм/год	км ³ /год	мм/год	км ³ /год	мм/год	км ³ /год	мм/год	км ³ /год	мм/год	км ³ /год	мм/год	км ³ /год		
Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза (1967)															
Дон–Казанская	102000	605	61.7	99	10.1	49	5	50	5.1	506	51.6	556	56.7	0.16	56
Дон–Раздорская	378000	570	216	73	27.5	–	–	–	–	497	188	–	–	0.13	–
Дон (устье)	422000	570	240	70	29.5	–	–	–	–	500	210	–	–	0.12	–
Урал–Оренбург	82300	435	35.8	54	4.42	51	4.17	3	0.25	381	31.4	384	31.6	0.12	56
Урал–Кушум	190000	450	85.5	59	11.3	–	–	–	–	391	74.2	–	–	0.13	–
Урал, с. Тополи	229100	445	102	51	11.6	–	–	–	–	394	90.4	–	–	0.11	–
Водные ресурсы СССР и их использование (1987)															
Дон–Раздорская	378000	598	226	72	27.3	55.6	21	16.7	6.33	526	199	330	125	0.14	23
Урал (устье)	236000	545	95	135	10.1	92	8.2	43	1.9	410	84.7	292	540	0.25	32
В среднем за 1992-2021 гг. (Всероссийский ..., 2025; Водный кадастр ..., 1982-2021)															
Дон–Казанская	102000	575	58.6	92	9.33	–	–	–	–	483	49.3	–	–	0.16	–
Дон–Раздорская	378000	552	209	50	19	–	–	–	–	502	190	–	–	0.09	–
Урал–Кушум	190000	424	80.6	43	8.25	–	–	–	–	381	72.4	–	–	0.10	–

Примечания к таблице: P – осадки, R – суммарный сток, S – поверхностный сток, U – подземный сток, E – испарение, W – инфильтрация.

Из таблицы следует, что за рассматриваемый 60-летний период произошли существенные воднобалансовые изменения. Значительно снизился годовой речной сток в бассейнах Дона и Урала –

на 31 и 27% относительно нормы на начало 1960-х гг. Заметно и практически одинаково уменьшился коэффициент стока – с 0.13 до 0.09 в бассейне Дона, с 0.13 до 0.10 в бассейне Урала.

По отношению к норме на начало 1960-х гг. (Водные ресурсы ..., 1967) осадки в среднем за 1992-2021 гг. сократились на небольшую величину: в бассейне Дона у ст. Раздорской – на 3.5%; на водосборной площади р. Урала у с. Кушум – на 5.5%.

Выводы

Многолетние колебания годового речного стока и его составляющих – стока в половодье, минимального месячного стока в летне-осеннюю и зимнюю межень в бассейнах Дона и Урала – обладают определенным сходством, поскольку в значительной мере обусловлены влиянием динамики одних и тех же климатических факторов. С конца 1980-х – начала 1990-х гг. вследствие потепления климата произошли кардинальные изменения в формировании речного стока в бассейне Дона и Урала. Они не имеют аналогов за весь период инструментальных наблюдений. За последние десятилетия (1991-2023 гг.), когда стала отчетливо выраженной фаза повышенных значений температуры воздуха, она возросла в среднем на 1.6°C в бассейне Дона и на 1.3°C в бассейне Урала. Главным фактором гидрологических изменений стал рост температуры воздуха в холодный период года (на 2.1°C в бассейне Дона, на 1.7°C в бассейне Урала), что привело к резкому сокращению поверхностного склонового стока, вплоть до его отсутствия в отдельные годы, и стока половодья на реках. Несмотря на увеличение стока в зимнюю и летне-осеннюю межень и уменьшение антропогенного воздействия, годовой сток данных рек в нижнем течении значительно снизился – на 31 и 27% относительно нормы на начало 1960-х гг., на 30 и 15% по отношению к норме 1980 г. (табл.). Такой ситуации способствует сформировавшаяся в середине 1990-х гг. фаза повышенных значений температуры воздуха в теплый период года, а также небольшое сокращение годовых осадков (по отношению к норме на начало 1960-х гг. (табл.)) – на водосборной площади Дона на 3.5%, Урала – на 5.5%.

В будущем весьма велика вероятность сохранения выявленных тенденций в изменениях климатических условий и стока. Для более детального изучения этих тенденций, в т.ч. с учетом антропогенного воздействия, важно организовать и реанимировать сеть воднобалансовых станций в бассейнах Дона и Урала.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках темы госзадания Института географии РАН № FMWS-2024-0007 (1021051703468-8) 2024-2028 гг. «Биотические, географо-гидрологические и ландшафтные оценки окружающей среды для создания основ рационального природопользования» (бассейн реки Дон) и Института степи УрО РАН № АААА-А21-121011190016-1 «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем» (бассейн реки Урал).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). 2024 [Электронный ресурс <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения 08.03.2024)].
- Барбанов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И. 2018. Влияние современных изменений климата и сельскохозяйственной деятельности на весенний поверхностный склоновый сток в лесостепных и степных районах Русской равнины // Водные ресурсы. Т. 45. № 4. С. 332-340.
- Васильев Д.Ю. 2023. Особенности изменения климата на Южном Урале: причины и последствия. Автореф. ... док. геогр. наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате. М. 42 с.
- Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. 1967. Л.: Гидрометеиздат. 199 с.
- Водные ресурсы России и их использование. 2008 / Ред. И.А. Шикломанов. СПб.: ГГИ. 598 с.
- Водные ресурсы СССР и их использование. 1987. Л.: Гидрометеиздат. 230 с.
- Водный кадастр Российской Федерации. 1982-2021. Ресурсы поверхностных вод, их использование и качество.
- Воскресенский К.П. 1962. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат. 548 с.
- Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. 2025 [Электронный ресурс <http://meteo.ru> (дата обращения 20.02.2025)].
- Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барбанова Е.А. 2014. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Ч. 2: Бассейны рек Волги и Дона.

М.: Макс Пресс. 214 с.

- Демин А.П. 2023. Динамика сброса загрязняющих веществ и качество воды в российской части бассейна трансграничной реки Урал // Вопросы степеведения. № 3. С. 26-40.
- Дмитриева В.А. 2020. Современные изменения водного режима и морфометрии рек Верхнедонского бассейна // Известия РАН. Серия «Географическая». № 1. С. 103-113.
- Дмитриева В.А., Сушков А.И., Закусилов В.П. 2022. Климатическая обусловленность современных гидроэкологических процессов в речных потоках бассейна Верхнего Дона // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «География. Геоэкология». № 2. С. 118-127.
- Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А. 2020. Ландшафтно-гидрологические изменения в бассейне Дона // Водные ресурсы. Т. 47. № 6. С. 674-685.
- Зоны и типы растительности России и сопредельных территорий. 1999. Масштаб 1:8 000 000 / Ред. Г.Н. Огурева. М.-СПб.: Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова; Ботанический институт им. В.Л. Комарова. 1 л.
- Магрицкий Д.В. 2024. Водохранилища, водопотребление в российской части бассейна реки Урал и их воздействие на годовой сток // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. № 6. С. 61-80.
- Магрицкий Д.В., Евстигнеев В.М., Юмина Н.М., Торопов П.А., Кенжебаева А.Ж., Ермакова А.Ж. 2018. Изменения стока в бассейне р. Урал // Вестник Московского университета. Серия 5 «География». № 1. С. 90-101.
- Прохорова Н.Б., Косолапов А.Е. 2011. Современный водохозяйственный баланс реки Урал на территории Российской Федерации // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. № 2. С. 4-20.
- Родионов В.З. 1977. Влияние хозяйственной деятельности на сток р. Урала // Влияние хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим / Ред. И.А. Шикломанов. Труды ГГИ. Вып. 239. С. 109-122.
- Сивохиц Ж.Т., Павлейчик В.М., Падалко Ю.А. 2021. Изменение минимального стока в бассейне реки Урал // Известия РАН. Серия «Географическая». № 6. С. 900-913.
- Сивохиц Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилёв А.А. 2019. Изменение водного режима рек бассейна реки Урал // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. Т. 488. № 5. С. 103-107.