

УДК 556.16
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-2
EDN HBZWZB

Оценка многолетнего изменения сезонного стока рек водосбора Воткинского водохранилища

Механошина Е.В., Микова К.Д.

Пермский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15
katya_mehanoshina@mail.ru, mikovak@yandex.ru

Аннотация. Выполнено исследование многолетнего изменения сезонного стока для 28-ми действующих гидрологических постов, расположенных на реках водосбора Воткинского водохранилища. Для оценки влияния климатических изменений на речной сток были использованы разностно-интегральные кривые средней температуры воздуха, суммы атмосферных осадков и речного стока по характерным для территории сезонам. Момент начала выраженных изменений и цикла роста среднесезонной температуры воздуха приходится в среднем на период 1986–1988 г. Анализ сезонных значений атмосферных осадков показал, что ряды подвержены сильным колебаниям циклов снижения и роста, что практически невозможно выявить момент начала выраженных изменений не только для всего водосбора, но и по однородным районам гидрологического районирования территории. Смена циклов водности в рядах стока в весенний период приходится на 1988–1989 гг., в летне-осенний и зимний сезоны на 1977 г. Сопоставление выявленных процентных соотношений сезонного стока до и после начала выраженных изменений дало возможность установить уменьшение стока в весенний сезон в среднем на 6,6 % и значительное увеличение летне-осеннего (на 18 %) и зимнего (на 24 %) стока.

Ключевые слова: сезонный сток, многолетние изменения, среднесезонная температура воздуха, атмосферные осадки, климатические изменения

Для цитирования: Механошина Е.В., Микова К.Д. 2025. Оценка многолетнего изменения сезонного стока рек водосбора Воткинского водохранилища. Региональные геосистемы, 49(4): 669–683. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-2 EDN: HBZWZB

Assessing the Long-Term Changes in the Seasonal Runoff of Rivers in the Votkinsk Reservoir Catchment Area

Ekaterina V. Mekhanoshina, Ksenia D. Mikova

Perm State National Research University
15 Bukirev St., Perm, 614068, Russia

katya_mehanoshina@mail.ru, mikovak@yandex.ru

Abstract. The article presents the results of a study into the long-term changes in seasonal runoff for 28 operating hydrological stations located on the rivers of the Votkinsk Reservoir catchment area. The impact of climate change on river runoff was assessed using difference-integral curves of average air temperature, total precipitation, and aggregate river runoff for typical seasons of the study area. The beginning of pronounced changes and the start of the growth cycle of the average seasonal air temperature falls on the period 1986–1988. An analysis of seasonal values of atmospheric precipitation revealed cycles of decrease and increase in the series, making it impossible to identify the moment of the onset of pronounced changes not only for the entire catchment area, but also for homogeneous areas. The spring water level change in the runoff series took place 1988–1989, while 1977 saw the summer and autumn, as well as the winter changes.

© Механошина Е.В., Микова К.Д., 2025

Comparison of the percentage ratios of seasonal flow before and after the identified changes has made it possible to establish a decrease in the spring flow by an average of 6.6 % and a significant increase in the summer and autumn flow (by 18 %) and in the winter runoff (by 24 %).

Keywords: seasonal runoff, long-term changes, average seasonal air temperature, precipitation, climate change

For citation: Mekhanoshina E.V., Mikova K.D. 2025. Assessing the Long-Term Changes in the Seasonal Runoff of Rivers in the Votkinsk Reservoir Catchment Area. Regional Geosystems, 49(4): 669–683 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-2 EDN: HBZWZB

Введение

Вопросы многолетнего изменения сезонного стока, вызванного изменением климатических условий, являются одними из самых актуальных в настоящее время. Существенное изменение стока рек по сезонам может привести к дефициту водных ресурсов, либо к возникновению опасных гидрологических явлений, связанных с увеличением стока и формированием высоких половодий и паводков. Сезонное изменение речного стока обусловлено изменением климатических условий при практически неизменных физико-географических условиях водосборов.

Первые исследования, посвященные изучению многолетних изменений речного стока в Европейской России, относятся к концу XIX века, в своих работах Е.А. Гейнц [1898] впервые исследовал водность рек. Впоследствии, в начале XX века Е.В. Оппоков на основе работ Е.А. Гейнца, пришел к выявлению взаимосвязи колебаний речного стока с климатическими особенностями и их циклическим характером [Оппоков, 1906; 1911; 1933].

На текущий момент выполнено значительное количество исследований, посвященных оценке многолетних изменений речного стока крупных рек России, таких как рр. Лена, Волга, Урал, Вилюй, Дом и др., а также оценке климатических и антропогенных факторов, оказывающих различное влияние на колебания стока [Дмитриева, 2011; Добровольский, 2011; Георгиади и др., 2013; Георгиади, Кашутина, 2015; 2016; 2019; Магрицкий, 2015; Джамалов и др., 2017; Магрицкий, Кенжебаева, 2017; Юмина, Терешина, 2017; Фролова и др., 2018; Георгиади и др., 2019; Исмаилов, Мурашенкова, 2019; Сивохин, Павлейчик, 2024].

Исследованию многолетних колебаний стока рек водосбора Воткинского водохранилища посвящено немного публикаций. Так, в работе В.Г. Калинина и др. [2020] анализируется влияние климатических изменений на распределение речного стока на некоторых реках водосбора Воткинского водохранилища для двух различных периодов наблюдений 1956–1995 и 1996–2017 гг. Другое исследование В.Г. Калинина и др. [2023], посвящено исследованию многолетней изменчивости годового стока семи рек Верхней и Средней Камы, где выявлено, что с 1978 г. наблюдается увеличение годового стока рек.

Поэтому целью настоящего исследования является изучение многолетнего изменения сезонного стока рек водосбора Воткинского водохранилища.

Объекты и методы исследования

Территория водосбора Воткинского водохранилища расположена в северо-восточной части Восточно-Европейской равнины. В климатических изменениях на Русской равнине в правобережной части территории преобладает широтная зональность, а на территории левобережной части – вертикальная поясность [Ресурсы поверхностных вод, 1973].

На реках водосбора отмечается ярко выраженное весеннее половодье, летне-осенняя межень с дождевыми паводками и длительная устойчивая зимняя межень. Объем

стока в разные фазы водного режима сильно подвержен колебаниям, что связано с неравномерным распределением атмосферных осадков по территории [Калинин, 2014].

Ранее авторами для исследуемой территории проведен анализ пространственных закономерностей внутригодового распределения стока и выполнено уточнение границ существующих схем гидрологического районирования. Объединение гидрографов в группы по соответствию сроков начала, максимума, окончания весеннего половодья и летне-осенних дождевых паводков, а также значений доли их месячного стока в годовом, что явилось критерием районирования территории водосбора по однородности внутригодового распределения стока. В результате получена новая схема гидрологического районирования изучаемой территории, учитывающая однородность внутригодового распределения стока в современных условиях (рис. 1) [Калинин, Механошина, 2024].

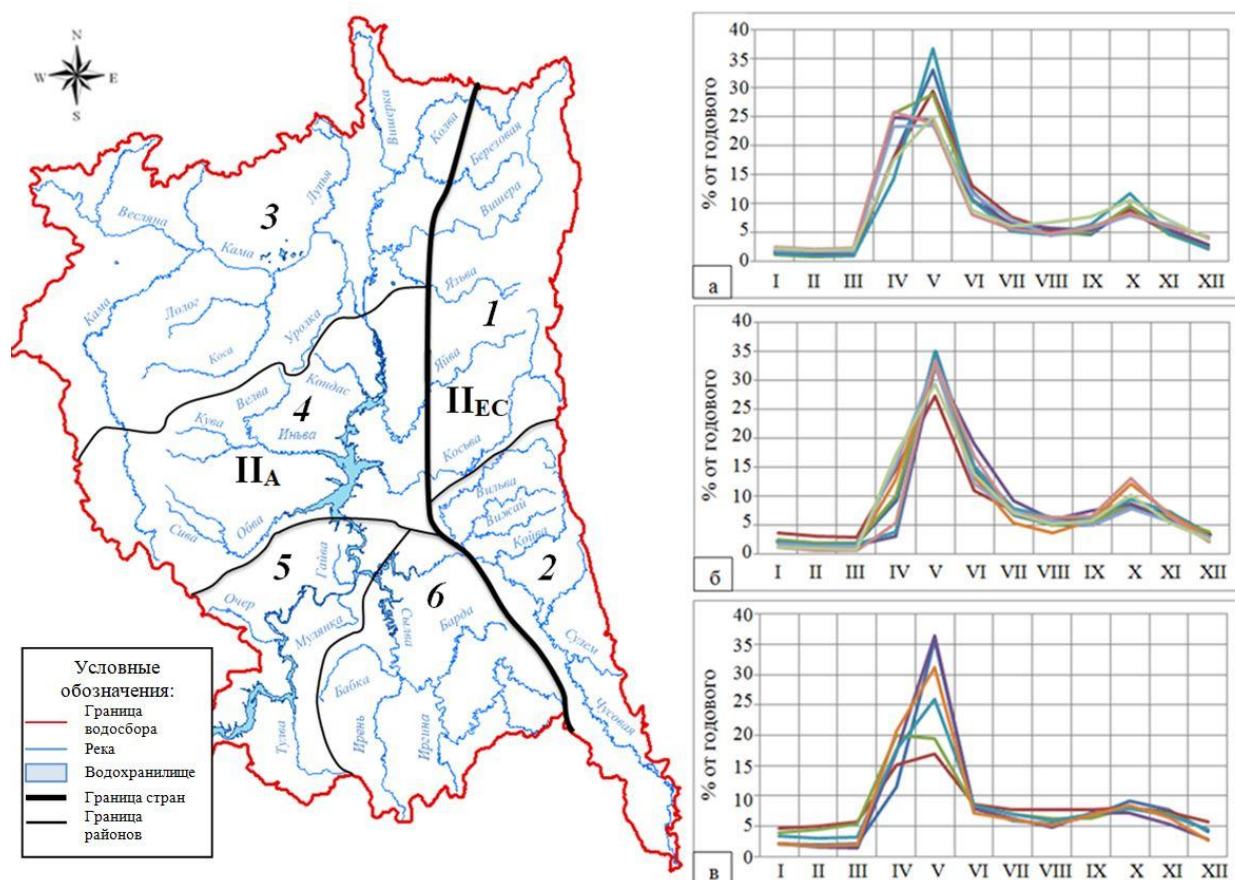


Рис. 1. Схема гидрологического районирования на основе ВГРС:

- а – ВГРС северного равнинного района; б – ВГРС центрального равнинного района;
в – ВГРС юго-западного района [Калинин, Механошина, 2024]

Fig. 1. Scheme of hydrological zoning based on intra-annual distribution of river flow:

- а –intra-annual distribution of flow in the northern lowland region; б–intra-annual distribution of flow in the central lowland region; в–intra-annual distribution of flow in the southwestern region

Для оценки многолетних колебаний сезонного стока собрана база данных среднемесячных расходов воды по 28 гидрологическим постам (г/п) за период с момента начала наблюдений и по 2022 гг., которые расположены в разных однородных таксономических единицах гидрологического районирования территории. Анализ исходных материалов (табл. 1) выявил значительные различия в периодах наблюдений, так на 8 из 28 г/п имеются многолетние ряды расходов с 30-х гг. XX в. до 2022 года.

Таблица 1
Table 1Количество гидрологических постов с разным периодом наблюдений
Number of hydrological stations with different observation periods

Количество лет наблюдений	40–50	51–60	61–70	71–80	> 80
Количество гидрологических постов	5	3	6	6	8

Наиболее продолжительные периоды наблюдений выявлены для таких гидрологических постов как: Кама-Гайны (1931–2022 гг.), Вишера-Рябинино (1929–2022 гг.), Велва-Ошиб (1935–2022 гг.), Иньва-Кудымкар (1936–2022 гг.), Усьва-Усьва (1932–2021 гг.), Сылва-Подкаменное (1936–2021 гг.). Также в рядах наблюдений отдельных постов выявлены пропуски в гидрологических рядах, поэтому для этих постов, были выбраны реки-аналоги и с помощью уравнения линейной регрессии между расчетной рекой и рекой-аналогом было выполнено восстановление данных согласно своду правил [СП 529.1325800.2023].

Характерные черты географического расположения водосбора, являются определяющими в распределении основных климатических характеристик территории, которые в свою очередь вносят изменения в границы сезонов речного стока. Согласно исследованиям ученых Пермского университета для водосбора Воткинского водохранилища они приняты следующими: весна IV–VI, лето-осень VII–X, зима XI–III [Ресурсы поверхностных вод, 1973; Калинин, 2014]. Сток по сезонам рассчитывался как среднеарифметическое значение по выделенным месяцам.

Дополнительно для оценки многолетней динамики изменения сезонного стока выполнен совместный анализ рядов среднемесячных значений температуры воздуха и месячных сумм осадков по 15 ближайшим к г/п метеорологическим станциям (м/с) расположенным в пределах исследуемой территории. Наиболее продолжительные периоды наблюдений имелись для таких м/с как: Гайны (1936–2022 гг.), Чердынь (1899–2022 гг.), Кудымкар (1948–2022 гг.), Ножовка (1948–2022 гг.), Пермь (1883–2022 гг.), Бисер (1889–2022 гг.), Лысьва (1937–2022 гг.).

Для оценки значимости трендов изменения сезонного стока, осадков и температуры воздуха выполнена проверка нулевой гипотезы о его отсутствии. Если уровень значимости $p < 0,05$, то нулевая гипотеза отвергается, которая означает, что существует статистически значимый тренд. В случае, если $p > 0,05$, нулевая гипотеза принимается, что указывает на отсутствие статистически значимого тренда [Калинин и др., 2023].

После восстановления данных, по всем выбранным г/п и м/с с момента начала наблюдений по 2022 гг. выполнен анализ многолетней изменчивости метеорологических характеристик и сезонного стока с помощью построения разностно-интегральных кривых (РИК). РИК отражает накапливающуюся разницу между текущими значениями исследуемой характеристики и их нормой. В большинстве случаев, для упрощения анализа временных колебаний характеристик различных по своей природе, эти отклонения приводятся к безразмерному виду посредством деления на коэффициент вариации.

Результаты и их обсуждение

Анализ трендов стока, температуры воздуха и осадков.

Вся база климатических и гидрологических данных была протестирована на случайность и однородность, в соответствие нормальному закону распределения. Для значительной части г/п и м/с особенно в зимний сезон эта гипотеза была опровергнута, что свидетельствует о наличии значимых изменений, происшедших в сезонных рядах наблюдений.

На втором этапе все гидрологические и метеорологические ряды прошли оценку на значимость трендов (табл. 2, 3), а также были построены хронологические графики изменения рассматриваемых характеристик и сглаженные по 7-леткам кривые стока (рис. 2).

Анализ табл. 2 и графиков многолетнего изменения стока рек на исследуемой территории показал, что по сезонам наблюдаются разнонаправленные тенденции (рис. 2). В весенний и летний сезоны на большинстве постов наблюдаются положительные тенденции в изменении стока рек. В весенний сезон только в пятом и шестом гидрологических районах наблюдаются статистически значимые отрицательные тенденции стока (табл. 2). В летний сезон отрицательные (незначимые за исключением одного поста) тенденции стока наблюдаются в основном в бассейне р. Чусовой (второй гидрологический район).

Таблица 2
Table 2

Оценка значимости трендов сезонного стока
Assessing the significance of seasonal runoff trends

№ района	Река-пост	Весна	Лето-осень	Зима
1	Вишера – Рябиново	0,31	0,18	0,51
	Язьва – Нижняя Язьва	–0,17	–0,20	0,55
	Колва – Петрецово	0,03	0,22	0,70
	Яйва – База	0,11	0,17	0,41
	Яйва – Усть-Игум	0,18	–0,02	0,18
	Косьва – Останино (Перемское)	0,03	0,08	0,41
2	Чусовая – Косой Брод	–0,17	–0,28	0,16
	Чусовая – Староуткино	–0,14	–0,21	0,27
	Чусовая – Кын	0,09	0,01	0,12
	Чусовая – Лямино	0,13	–0,02	0,31
	Серебряная – Серебрянка	0,07	–0,06	0,41
	Усьва – Усьва	–0,04	–0,15	0,58
3	Кама – Гайны	0,03	0,02	0,34
	Кама – Бондюг	–0,10	–0,03	0,44
	Коса – Коса	0,07	0,02	0,37
	Лолог – Сергеевский	0,26	0,10	0,37
4	Иньва – Кудымкар	0,19	0,17	0,54
	Иньва – Слудка	0,08	0,16	0,51
	Кува – Кува	0,05	0,03	0,43
	Велва – Ошиб	–0,09	0,08	0,40
	Кондас – Ощепково	–0,05	0,08	0,29
	Обва – Карагай	0,12	0,14	0,61
5	Гайва – Плотинка	0,06	0,01	0,18
	Мулянка – Субботино	0,06	0,26	0,47
	Очер – Казымово	–0,26	0,22	0,24
6	Сылва – Шамары	–0,29	0,02	0,01
	Сылва – Подкаменное	–0,12	0,07	0,14
	Вогулка – Шамары	0,33	0,02	0,09

Примечание: жирным курсивом показаны статистически значимые величины (при $p < 0,050$).

Таблица 3
Table 3

Оценка значимости трендов среднесезонной температуры воздуха и осадков
Assessing the significance of trends in average seasonal air temperature and precipitation

№ района	Метеостанция	Среднесезонная температура воздуха			Сумма осадков		
		Весна	Лето-осень	Зима	Весна	Лето-осень	Зима
1	Губаха	0,09	0,50	0,34	0,12	–0,08	0,35
2	Кын	0,33	0,46	0,38	0,20	–0,24	–0,02
3	Гайны	0,32	0,37	0,42	0,19	0,23	0,19
	Коса	0,30	0,40	–0,23	0,11	–0,16	0,32
	Чердынь	0,39	0,42	0,46	0,23	0,15	0,38
	Ныроб	0,36	0,43	0,44	0,31	0,19	0,52
4	Березники	0,09	0,51	0,36	–0,07	–0,08	0,31
	Верецагино	0,34	0,43	0,50	–0,01	–0,03	0,21
	Кудымкар	0,27	0,36	0,48	0,20	0,14	0,49
5	Добрянка	0,30	0,33	0,31	0,01	0,33	0,34
	Пермь	0,33	0,43	0,48	0,22	0,05	0,39
	Оханск	0,36	0,43	0,53	0,09	0,08	0,39
6	Лысьва	0,30	0,41	0,39	0,30	–0,01	0,42
	Кунгур	0,24	0,33	0,37	0,32	0,03	0,48
	Шамары	0,28	0,44	0,39	0,29	0,09	0,18

Примечание: жирным курсивом показаны статистически значимые величины (при $p < 0,050$).

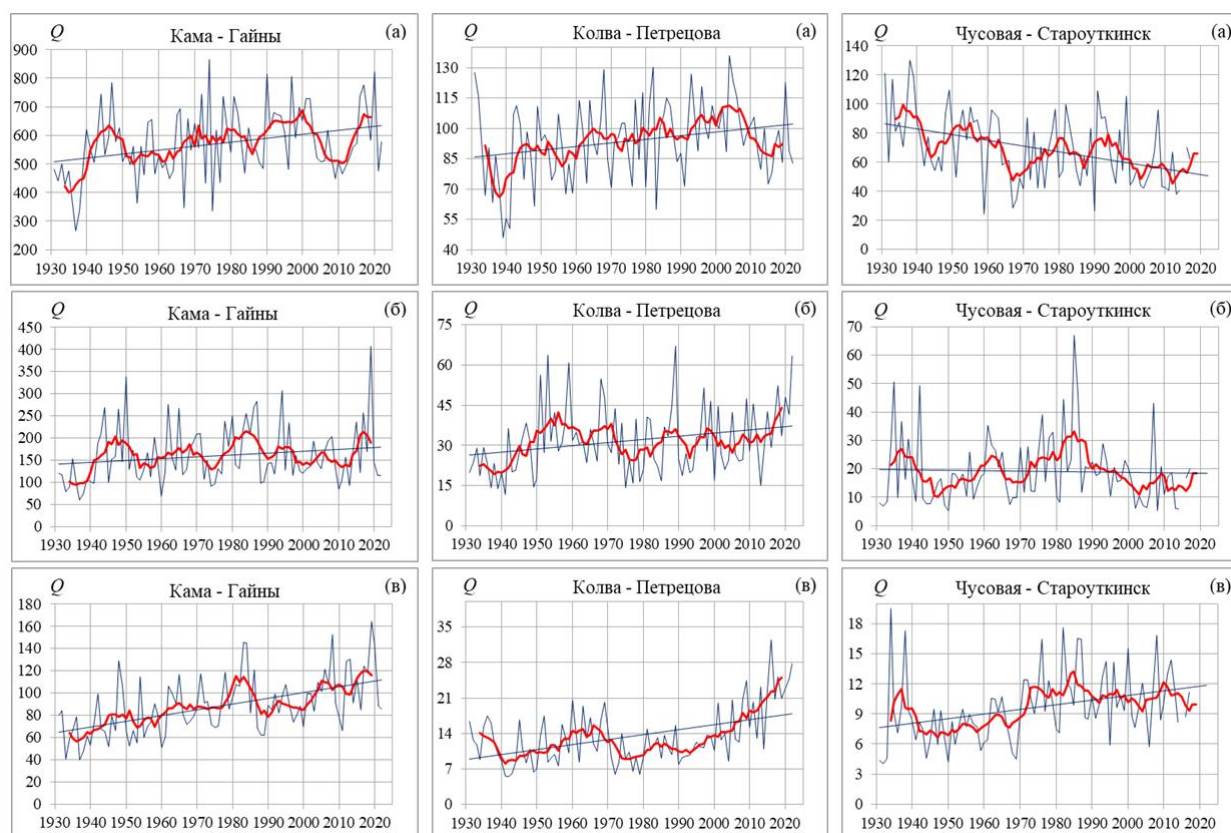


Рис. 2. Многолетнее изменение сезонного стока рек (синяя линия – ежегодные величины стока; красная линия – сглаженные по 7-леткам величины стока) (а) весна; (б) лето-осень; (в) зима

Fig. 2. Long-term changes in seasonal river flow (blue line – annual flow values; red line – flow values smoothed over 7 years) (a) spring; (b) summer and autumn; (c) winter

В зимний сезон на всех исследуемых постах отмечены положительные тенденции увеличения стока рек (см. табл. 2). При этом на большинстве гидрологических постов такие изменения оказались статистически значимыми. Исключение составили пятый и шестой гидрологические районы, где на большинстве постов положительные тенденции изменения зимнего стока оказались статистически не значимыми.

Построенные сглаженные по 7-леткам кривые стока показывают циклы увеличения и уменьшения стока, а также позволяют избавиться от флуктуаций водности конкретных лет, которые прослеживаются на хронологических графиках (рис. 2). Анализ кривых показал, что в рядах выделяются от 3-х и более полных циклов изменения водности, точки перегибов которых совпадают с резкими всплесками повышенных и пониженных значений стока, при этом размываются границы циклов, и их становится труднее выявить.

Климат является одним из основных стокоформирующих факторов, влияющих на водность рек. Изменение климатических условий по сезонам приводит к внутригодовому перераспределению стока между ними. Для оценки изменений климатических условий выполнен расчет значимости трендов средних значений температуры воздуха и осадков за весну, лето-осень и зиму (см. табл. 3). Результаты показали, что температура воздуха стала выше во всех районах за все рассматриваемые периоды. Данное изменение температуры воздуха оказалось статистически значимым. Реальные уровни значимости (p -значения) для большинства м/с находятся в пределах от 0,27 до 0,53, исключением являются м/с Гайны, Верещагино, Кын и Шамары (p -значения составляют от –0,02 до 0,21). Сумма осадков увеличилась только в зимние месяцы, на большинстве м/с выявленные тренды оказались статистически значимыми. Весной осадки преимущественно увеличиваются, но только в шестом районе данные изменения оказались статистически значимыми. В летне-осенний период проявляются разнонаправленные статистически не значимые тенденции.

Очевидно, что повышение температуры воздуха и увеличение количества осадков в зимний сезон приводит к существенному увеличению зимнего стока на исследуемой территории, реальные уровни значимости (p -значения) моделей для большинства г/п находятся в пределах от 0,27 до 0,70. Исключением являются единичные г/п расположенные в Южном горном (2) и Центральном равнинном (5) районах, такие как г/п Чусовая-Лямино, Чусовая-Косой Брод и Очер-Казымово, а также все г/п расположенные в Южном восточном районе (6). Это можно объяснить тем, что сток на выявленных г/п во 2 и 5 районах сильно зарегулирован прудами, а в 6 районе водосборы рек сильно закарстованы. Наличие этих двух факторов влечет за собой сильное изменение водности и гидрологического режима, перераспределение стока внутри года и сглаживание влияния климатических последствий на распределение стока. Полученные результаты свидетельствуют о наличии значимых изменений, происшедших в рядах наблюдений в зимний сезон.

Определение года начала выраженных сезонных изменений.

Для определения года начала выраженных изменений сезонного стока рек водосбора Воткинского водохранилища были построены графики разностно-интегральных кривых, которые в последующем были сгруппированы по новым однородным таксонам гидрологического районирования и определены характерные точки перегибов кривой (табл. 4). Аналогичные расчеты выполнены для сезонных значений температуры воздуха и осадков.

Таблица 4
Table 4

Годы смены циклов водности в однородных районах
Years of water level change in homogeneous areas

№ района	Название района	Средняя температура воздуха			Сумма осадков			Сезонный сток		
		Весна	Лето-осень	Зима	Весна	Лето-осень	Зима	Весна	Лето-осень	Зима
		V–VI	VII–X	XI–III	V–VI	VII–X	XI–III	V–VI	VII–X	XI–III
1	Северный горный	1986	1988	1988	1989–1996	1992–2002	1987–1996	1989	1977	1997
2	Южный горный	1986	1987	1988	1989–1996	1992–2002	1987–1996	1989	1977	1989
3	Северный равнинный	1986	1987	1987	1977–2007	1992–1993	1996–2006	1989	1977	1977
4	Центральный равнинный	1986	1997	1987	1997–2000	1992–1997	1987–1996	1988	1977	1977
5	Южный восточный	1986	1997	1987	1986–2000	1992–2003	1977–1989	1989	1977	1977
6	Южный западный	1986	1997	1987	1986–2004	1989–2002	1989–1996	1989	1982	1989

Анализ разностно-интегральных кривых температуры воздуха за весенний и зимний сезоны, показал, что начиная с конца XIX в. – начала XX в. на территории водосбора Воткинского водохранилища наблюдается синхронное и продолжительное увеличение среднесезонной температуры (рис. 3). Момент начала выраженных изменений температуры воздуха приходится в среднем для всех м/с территории на период 1986–1988 г. (см. табл. 4), при этом статистические характеристики выделенных ветвей подъема и спада (среднее значение, коэффициенты вариации и асимметрии) значительно отличаются. В летне-осенний сезон в южной (5, 6 районы) и центральной равнинной части (4 район) исследуемой территории наблюдается продолжительное снижение средней температуры воздуха вплоть до окончания 90-х гг. XX в. При этом момент начала выраженных климатических изменений приходится на 1997 г., для остальной территории аналогично, как и для весеннего и зимнего сезонов – на 1987–1988 гг. (см. табл. 4).

В то же время на разностно-интегральных кривых сезонного стока момент начала выраженных изменений в гидрологических рядах выделяется более четко и соответствует смене маловодной фазы водности на многоводную (рис. 4). В весенний сезон точка минимума приходится в среднем для всех г/п на 1988–1989 гг., в летне-осенний и зимний сезоны на 1977 г. Исключением является Южный западный район (6) исследуемой территории в летне-осенний и зимний сезоны (см. табл. 4), где наблюдается затяжной характер маловодной фазы, и точка минимума приходится на 1982 и 1989 гг. соответственно. В данном гидрологическом районе снижение температуры воздуха также продолжалось дольше, чем в других районах.

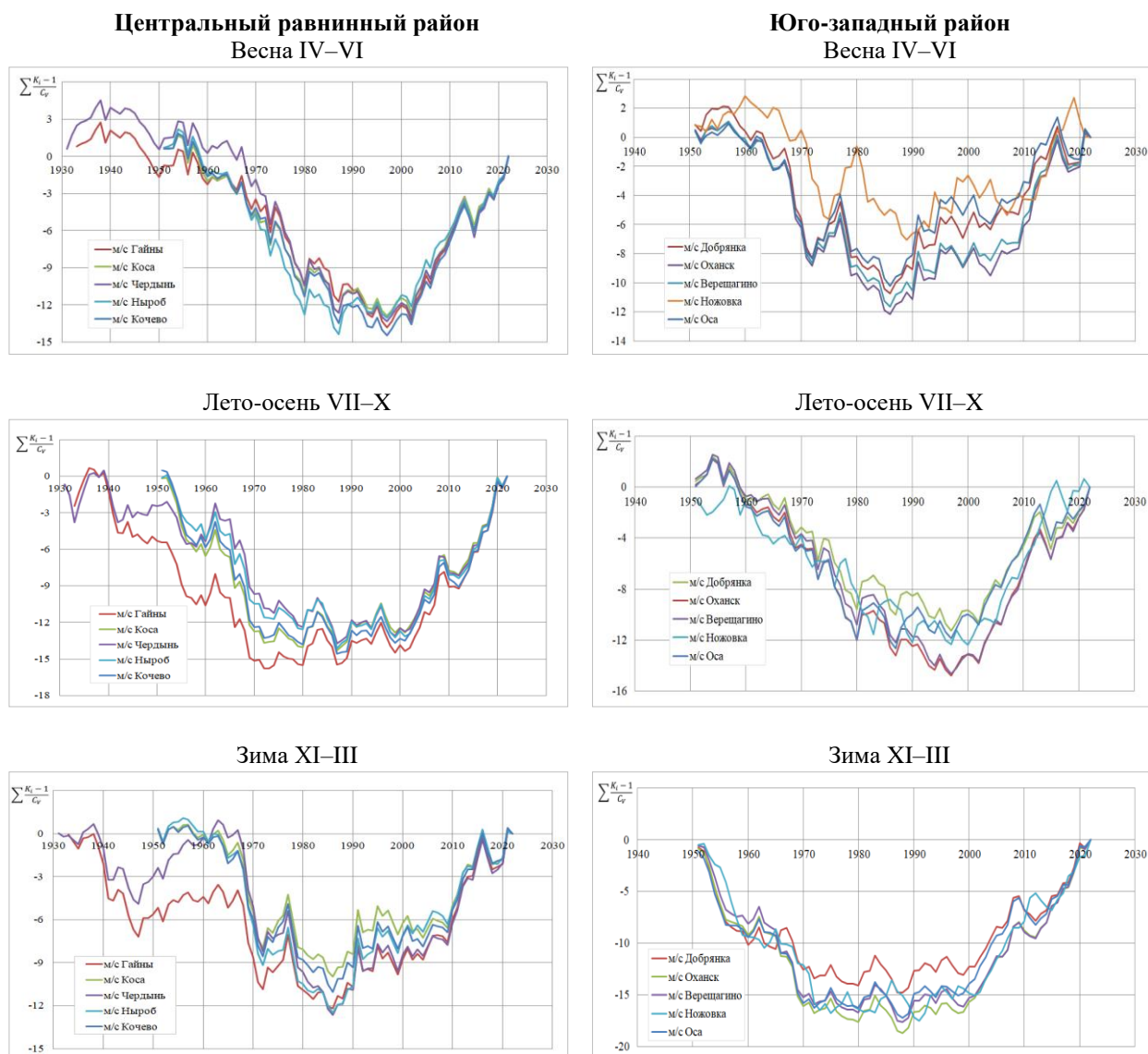


Рис. 3. РИК средней температуры воздуха за разные сезоны для 4 и 5 районов
Fig. 3. Difference-cumulative curves of average air temperature for different
seasons for the 4th and the 5th regions

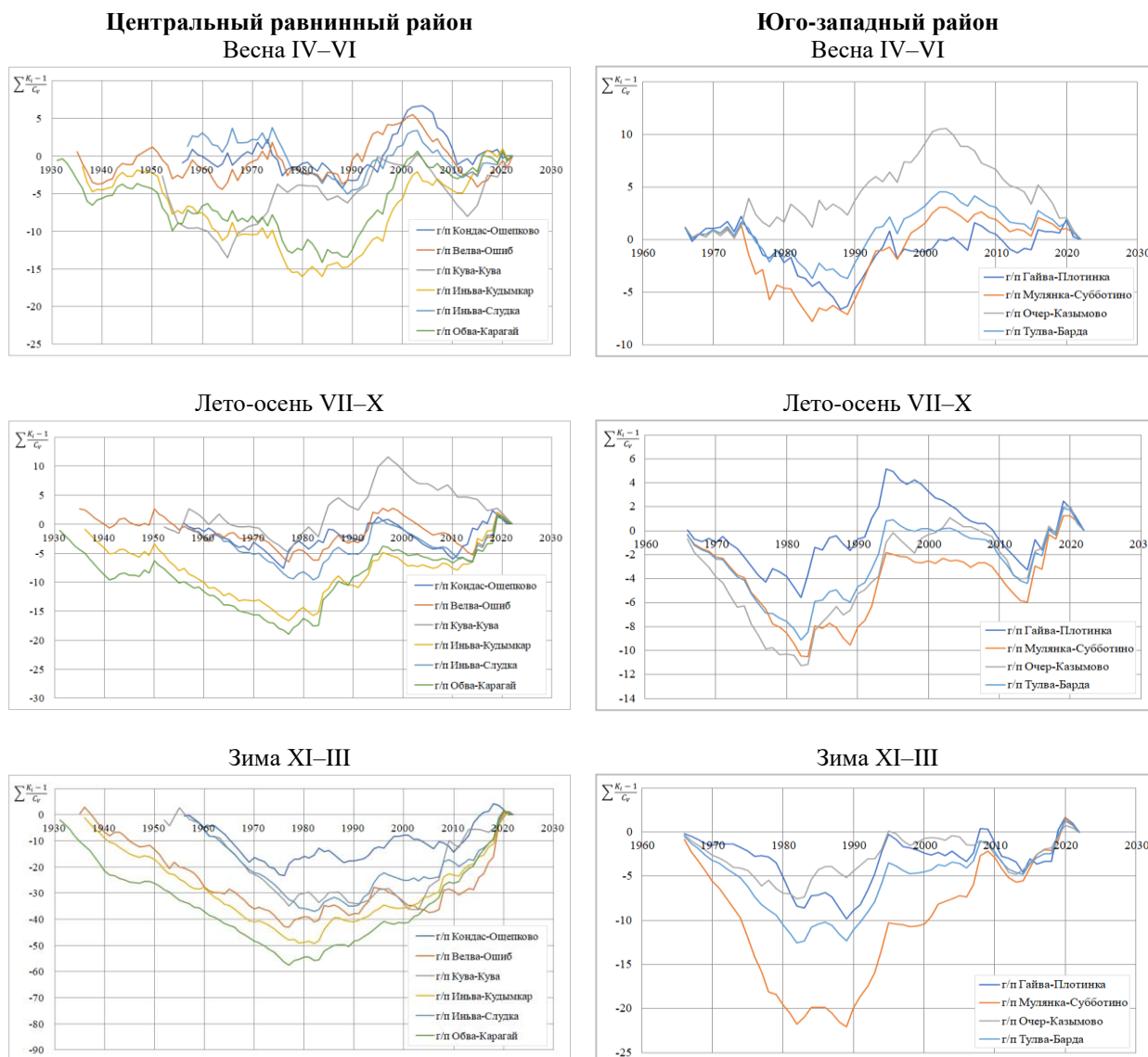


Рис. 4. Разностно-интегральные кривые сезонного стока для 4 и 5 районов
Fig. 4. Difference-cumulative curves of seasonal flow for the 4th and the 5th regions

Затяжной характер маловодной фазы наблюдается и в горных таксонах (1 и 2 районы) в зимний сезон, и точка минимума приходится на 1989 и 1997 гг. соответственно, что обусловлено влиянием вертикальной зональности на водность рек.

Оценка изменений сезонного стока рек.

После выявления точки перегиба на РИК и оценки нарушения стационарности рядов многолетних наблюдений, выполнена оценка перераспределения сезонного стока в % от годового для двух периодов: с 1956 г. до точки минимума и с точки минимума до 2022 г. Это дает возможность выявить перераспределение стока внутри сезонов и определить период, имеющий наибольшее увеличение стока (табл. 5).

В целом для рек водосбора Воткинского водохранилища до начала выраженных изменений за период наблюдений с 1956 по 2022 гг. характерно следующее распределение сезонного стока в %: для горных районов (1 и 2) на весенний период в среднем приходится 71,4 %, летне-осенний – 20,1 %, зимний – 8,5 %. Для равнинных районов (3, 4,

5, 6) весной в среднем составляет 74,4 %, лето-осень – 16,3 %, зима – 9,4 %. После смены цикла водности произошло перераспределение стока внутри сезонов, которое стало соответствовать следующему соотношению в %: для горных районов (1 и 2) на весенний период в среднем приходится 66,8 %, лето-осенний период – 22,0 %, зимний – 11,2 %. Для равнинных районов (3, 4, 5, 6) весенний сток в среднем составляет 69,0 %, лето-осенний – 19,6 %, зимний – 11,3 %.

Таблица 5
Table 5

Процентное соотношение сезонного стока до и после начала выраженных изменений
Percentage of seasonal runoff before and after the onset of pronounced changes

№	Название района	Распределение речного стока по сезонам (в %) для периодов в таблице №3:						Разница между периодами, %		
		Весна	Лето-осень	Зима	Весна	Лето-осень	Зима	Весна	Лето-осень	Зима
		V–VI	VII–X	XI–III	V–VI	VII–X	XI–III	V–VI	VII–X	XI–III
1	Северный горный	69,2	21,5	9,4	66,3	21,9	11,8	–3,5	+1,2	+25,5
2	Южный горный	73,5	18,7	7,7	67,3	22,0	10,6	–7,5	+18,9	+23,4
3	Северный равнинный	74,3	17,6	8,1	71,8	18,5	9,8	–3,3	+5,1	+21,3
4	Центральный равнинный	81,1	13,0	5,9	73,7	17,4	8,8	–9,1	+34,1	+51,4
5	Южный восточный	74,6	16,5	8,9	69,6	19,8	10,5	–6,7	+20,8	+19,5
6	Южный западный	67,5	18,0	14,6	61,0	22,8	16,2	–9,6	+28,0	+11,9

Сопоставление величин сезонного стока до и после начала выраженных климатических изменений дало возможность установить его снижение весной в среднем по всей территории на 6,6 % (см. табл. 5). В лето-осенний период наблюдается увеличение водности в среднем по всей территории на 18,0 %. Незначительное повышение стока в этот период характерно для северной части водосбора – Северного равнинного и Северного горного районов (от 1,2 % до 5,1 %). Для всех остальных районов установлено значительное повышения водности на 20,8–34,1 % с максимальными значениями в Центральном равнинном районе.

Самое существенное увеличение стока на всей изучаемой территории характерно для зимнего периода – в среднем на 24 %. Наибольших значений оно составило на реках Центрального равнинного района (4) – 51,4 %. Анализ данных за периоды до и после начала выраженных климатических изменений показал повышение средних зимних температур воздуха. Это привело к сокращению продолжительности зимнего сезона, и более частым оттепелям, которые вызывали таяние снега зимой и, как следствие, увеличивали количество воды, стекающей с поверхности водосборов в водные объекты. Таким образом, повышение зимних температур напрямую повлияло на увеличение объема зимнего стока в исследуемом регионе.

Заключение

С конца XIX в. – начала XX в. на территории водосбора Воткинского водохранилища наблюдалось синхронное и продолжительное увеличение среднесезонной температуры воздуха. Момент начала выраженных изменений и цикла роста приходится в среднем на период 1986–1988 гг.

Анализ многолетней ритмики сезонных значений атмосферных осадков показал, что их колебания настолько разнообразны и изменчивы по территории Воткинского водохранилища, что практически невозможно выявить момент начала выраженных изменений не только для всего водосбора, но и по однородным районам.

Оценка долговременных циклов и фаз водности сезонного стока показала, что момент начала выраженных изменений в гидрологических рядах в среднем в весенний период приходится на 1988–1989 гг., в летне-осенний и зимний сезоны на 1977 г.

Проверка гипотезы влияния климата на речной сток показала, что построенные модели для 15 м/с и 28 г/п по сезонам оказались статистически значимыми для средней температуры воздуха и стока только для зимнего периода.

Сопоставление выявленных процентных соотношений сезонного стока до и после начала выраженных изменений дало возможность установить его уменьшение в весенний период и значительное увеличение летне-осеннего и зимнего стока.

Список источников

- Гейнц Е.А. 1898. Об осадках, количестве снега и об испарении на речных бассейнах Европейской России. Труды экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России. СПб., Типография императорской академии наук, 54 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. 1973. Средний Урал и Приуралье. Кама. Л., Гидрометеиздат, 11(1), 420 с.
- СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М., Минстрой России, 103 с.

Список литературы

- Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. 2015. Многолетние изменения годового и сезонного стока рек бассейна Лены. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 2: 71–83.
- Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. 2016. Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 5: 70–81. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-5-70-81>.
- Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. 2019. Длительные периоды пониженного/повышенного стока на крупных реках России. В кн.: CITES-2019. Материалы Международной молодежной школы и конференции по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде, Москва, 27 мая – 06 июня 2019. Томск, Томский центр научно-технической информации: 284–287.
- Георгиади А.Г., Милюкова И.П., Бородин О.О. 2019. Особенности многолетних изменений водности рек в бассейне Волги в XIX–XXI веках. В кн.: Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Нижний Новгород, 08–14 сентября 2019. Нижний Новгород, Студия Ф1: 102–105.
- Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Зайцева И.С., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. 2013. Климатические и антропогенные факторы в многолетних изменениях речного стока реки Волги. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 4: 4–19.
- Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Телегина Е.А. 2017. Многолетняя квазипериодичность подземного и поверхностного стока рек России. Недропользование XXI век, 5(68): 98–105.
- Дмитриева В.А. 2011. Внутригодовая и многолетняя динамика сезонного речного стока бассейна верхнего Дона. Аридные экосистемы, 17(2(47)): 23–32.

- Добровольский С.Г. 2011. Межгодовые и многолетние изменения стока рек мира. Водные ресурсы, 38(6): 643–660.
- Исмайылов Г.Х., Муращенкова Н.В. 2019. Исследование временных закономерностей речного стока бассейна Верхнего Дона. Природообустройство, 1: 35–40.
- Калинин В.Г. 2014. Водный режим камских водохранилищ и рек их водосбора в зимний сезон. Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет, 184 с.
- Калинин В.Г., Механошина Е.В., Богданова К.А. 2020. Об изменениях внутригодового распределения стока на реках водосбора Воткинского водохранилища. В кн.: Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению. Международная научная конференция памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова, Санкт-Петербург, 23–31 октября 2020. Санкт-Петербург, Издательство ВВМ: 665–668.
- Калинин В.Г., Механошина Е.В. 2024. Пространственные закономерности внутригодового распределения стока рек водосбора Воткинского водохранилища. Географический вестник, 3(70): 49–58. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2024-3-49-58>.
- Калинин В.Г., Чичагов В.В., Гырдымов Д.А. 2023. Многолетние колебания годового стока рек водосбора Верхней и Средней Камы. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 33(4): 456–466. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2023-33-4-456-466>.
- Магрицкий Д.В. 2015. Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты на нижней Лене и Вилюе. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 6: 85–95.
- Магрицкий Д.В., Кенжебаева А.Ж. 2017. Закономерности, характеристики и причины изменчивости годового и сезонного стока воды рек в бассейне р. Урал. Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник), 3: 39–61.
- Оппоков Е.В. 1906. Многолетние колебания стока на больших речных бассейнах в связи с колебаниями метеорологических элементов. СПб., МПВ, 192 с.
- Оппоков Е.В. 1911. О водоносности рек в связи с атмосферными осадками и другими факторами стока. Записки Русского географического общества, 47: 234–286.
- Оппоков Е.В. 1933. Колебания водоносности рек в историческое время. Исследования рек СССР, 4: 109–128.
- Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М. 2024. Современные изменения максимального стока рек бассейна реки Урал. Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология, 2: 72–80. <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/72-80>.
- Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева МБ., Агафонова С.А., Повалишников Е.С. 2018. Антропогенные и климатически обусловленные изменения стока воды и ледовых явлений рек Российской Арктики. Вопросы географии, 145: 233–251.
- Юмина Н.М., Терешина М.А. 2017. Многолетние изменения стока рек бассейна Вилюя. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 6: 62–70.

References

- Georgiadi A.G., Kashutina Ye.A. 2015. The Features of Long-Term Annual and Seasonal Runoff Changes for Lena Basin Rivers. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 2: 71–83 (in Russian).
- Georgiadi A.G., Kashutina E.A. 2016. Long-Term Runoff Changes of the Largest Siberian Rivers. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 5: 70–81 (in Russian). <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-5-70-81>.
- Georgiadi A.G., Kashutina E.A. 2019. Long Decreased/Increased Water Flow Periods in Large Rivers of Russia. In: CITES-2019. Proceedings of the International Youth School and Conference on Computational and Information Technologies for Environmental Sciences, Moscow, 27 May –6 June 2019. Tomsk, Publ. Tomskiy tsentr nauchno-tekhnicheskoy informatsii: 284–287 (in Russian).
- Georgiadi A.G., Milyukova I.P., Borodin O.O. 2019. Osobennosti mnogoletnikh izmeneniy vodnosti rek v basseyyne Volgi v XIX–XXI vekakh [Features of Long-Term Changes in River Water Content in the Volga Basin in the 19th–21st Centuries]. In: Nauchnyye problemy ozdorovleniya

- rossiyskikh rek i puti ikh resheniya [Scientific Problems of Improving the Health of Russian Rivers and Ways to Solve Them]. Materials of the of the all-Russian scientific conference with international participation, Nizhny Novgorod, 08–14 September 2019. Nizhny Novgorod, Publ. Studiya F1: 102–105.
- Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Zaitseva I.S., Kashutina Y.A., Barabanova Y.A. 2013. Climatic and Anthropogenic Factors in Long-Term Alterations of the Volga River Runoff. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management, 4: 4–19 (in Russian).
- Dzamalov R.G., Safronova T.I., Telegina E.A. 2017. Long-Term Quasi-Periodicity of the Underground and Surface Runoff of the Rivers of Russia. Nedropolzovaniye XXI vek, 5(68): 98–105 (in Russian).
- Dmitrieva V.A. 2011. Intraannual and Multiyear Dynamics of Seasonal River Runoff. ARID Ecosystems, 17(2(47)): 23–32 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S2079096111020028>
- Dobrovolskiy S.G. 2011. Mezhsodovoye i mnogoletnie izmeneniya stoka rek mira [Interannual and Long-Term Changes in River Runoff of the World]. Vodnye resursy, 17(2(47)): 23–32.
- Ismaylov G.Kh., Muraschenkova N.V. 2019. Investigations of Temporal Flow Patterns of the Upper Don River Basin. Prirodoobustroystvo, 1: 35–40 (in Russian).
- Kalinin V.G. 2014. Vodnyy rezhim Kamskikh vodokhranilishch i rek ikh vodosbora v zimniy sezon. [Water Regime of the Kama Reservoirs and Their Tributary Rivers in the Winter Season]. Perm, Publ. Permskiy Gosudarstvenniy Natsionalniy Issledovatel'skiy universitet, 184 p.
- Kalinin V.G., Mekhanoshina E.V., Bogdanova K.A. 2020. Ganges in the Intra Annual Distribution of the Rivers Runoff of the Votkinskoe Reservoir's Catchment. In: The Fourth Vinogradov Readings. Hydrology from Knowledge to Worldview. International Scientific Conference in Memory of the Outstanding Russian Scientist Yuri Borisovich Vinogradov, Saint Petersburg, 23–31 October 2020. Saint Petersburg, Publ. VVM: 665–668 (in Russian).
- Kalinin V.G., Mekhanoshina E.V. 2024. Territorial Features of the Intra-Annual Distribution of River Flow on the Votkinsk Reservoir Catchment. Geographical Bulletin, 3(70): 49–58 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2024-3-49-58>.
- Kalinin V.G., Chichagov V.V., Gyrdaymov D.A. 2023. Annual Runoff Long-Term Fluctuations in the Rivers of the Kama Reservoir Catchment. Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences, 33(4): 456–466 (in Russian). <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2023-33-4-456-466>.
- Magritsky D.V. 2015. Factors and Trends of the Long-Term Fluctuations of Water, Sediment and Heat Runoff in the Lower Reaches of the Lena River and the Vilyui River. Moscow University Bulletin. Series 5, Geography, 6: 85–95 (in Russian).
- Magritsky D.V., Kenzhebayeva A.Zh. 2017. Regularities, Characteristics and Causes of the Rivers in the Ural River Catchment Annual and Seasonal Water Flow Variability. Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin), 3: 39–61 (in Russian).
- Oppokov E.V. 1906. Mnogoletnie kolebaniya stoka na bol'shikh rechnykh basseynakh v svyazi s kolebaniyami meteorologicheskikh elementov [Long-Term Fluctuations in Runoff in Large River Basins Due to Fluctuations in Meteorological Elements]. St. Petersburg, Publ. Ministerstvo putey soobshcheniya, 192 p.
- Oppokov E.V. 1911. O vodonosnosti rek v svyazi s atmosferynymi osadkami i drugimi faktorami stoka [On the Water Content of Rivers in Connection with Atmospheric Precipitation and Other Runoff Factors]. Zapiski Russkogo geograficheskogo obshchestva, 47: 234–286.
- Oppokov E.V. 1933. Kolebaniya vodonosnosti rek v istoricheskoe vremya. [Fluctuations in the Water Content of Rivers in Historical Times]. Issledovaniya rek SSSR, 4: 109–128.
- Sivokhip Zh.T., Pavlechnik V.M. 2024. Current Changes in the Maximum Runoff of the Rivers of the Ural River Basin. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 2: 72–80 (in Russian). <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/72-80>.
- Frolova N.L., Magritsky D.V., Kireeva M.B., Agafonova S.A., Povalishnikova E.S. 2018. Runoff and Ice Phenomena Dynamics on the Rivers of Russian Arctic Due to Anthropogenic and Climate Changes. Problems of Geography, 145: 233–251 (in Russian).
- Yumina N.M., Tereshina M.A. 2020. Estimating Long-Term Changes of River Runoff in the Viluy River Basin. Moscow University Bulletin. Series 5, Geography, 6: 62–70 (in Russian).

*Поступила в редакцию 29.04.2025;
поступила после рецензирования 04.07.2025;
принята к публикации 18.07.2025*

*Received April 29, 2025;
Revised July 04, 2025;
Accepted July 18, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Механошина Екатерина Владимировна старший преподаватель кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

Микова Ксения Дмитриевна, кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina V. Mekhanoshina, Senior Lecturer at the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University, Perm, Russia

Ksenia D. Mikova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University, Perm, Russia