

Научная статья

УДК 556.555.3

DOI: 10.17072/2079-7877-2026-1-86-98

EDN: WVICPM

**МНОГОЛЕТНЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПРИТОКА ВОДЫ В КАМСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ****Ксения Дмитриевна Микова¹, Екатерина Владимировна Механошина², Виктория Николаевна Ромашова³, Матвей Владимирович Колегов⁴**^{1, 2, 3, 4} Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия¹ mikovak@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-1170-5375, Scopus Author ID: 57211207914, ResearcherID: JLL-9653-2023, SPIN-код: 3765-0488, eLibrary Author ID: 153280² katya_mehanoshina@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3822-4662, Scopus Author ID: 57211204998, SPIN-код: 3650-3213, eLibrary Author ID: 1078805³ vikt.romashova@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-8718-142X, ResearcherID: MXL-6160-2025⁴ matvelv@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-4818-3676, SPIN-код: 7926-9132

Аннотация. Статья посвящена изучению многолетнего изменения притока воды в Камское водохранилище. Результаты показали, что во все месяцы (за исключением мая, июня, сентября) прослеживается тренд на увеличение притока, в зимние месяцы (ноябрь-март) тренд оказался значимым ($p > 0,05$). Анализ изменений температуры воздуха и атмосферных осадков по сезонам показал, что в рядах наблюдений отмечается возрастающий тренд. Данные тренды статистически значимы у температуры воздуха во все сезоны и у осадков в зимний сезон. Средняя температура воздуха за 1978–2021 гг. увеличилась на 0,2–0,3° С за десятилетие, осадки также возросли на 2–10 мм за десятилетие.

Выполнено исследование влияния происходящих климатических изменений на величину объема притока воды для двух периодов до и после начала выраженных изменений стока: 1954–1977 и 1978–2021 гг. За период 1978–2021 гг. произошло увеличение притока воды во все сезоны: в период весеннего наполнения на 5 %, в период летне-осенней стабилизации на 17 %, в период зимней сработки на 30 %. Изменения притока в период зимней сработки оказались статистически значимыми. Также произошло перераспределение стока внутри сезонов, которое стало соответствовать следующему соотношению в % от годового: зимняя сработка – 16 % (+3 %), весеннее наполнение – 59 % (–4 %), летне-осенняя стабилизация – 25 % (+1 %).

Совместный анализ цикличности притока воды, температуры воздуха и осадков показал, что объем притока за период зимней сработки имеет схожие циклы со средней температурой воздуха. Для периодов весеннего наполнения и летне-осенней стабилизации выявлена наилучшая скоррелированность циклов притока с осадками. Высокая скоррелированность циклов у периодов зимней сработки $r=0,92$ и летне-осенней стабилизации $r=0,73$. В весенний период скоррелированность циклов ниже $r=0,48$, т.к. на формирование притока также оказывают влияние другие факторы, существенно изменяющиеся год от года.

Ключевые слова: водохранилище, приток воды в водохранилище, многолетнее изменение, скоррелированность циклов

Для цитирования: Микова К. Д., Механошина Е. В., Ромашова В. Н., Колегов М. В. Многолетнее изменение притока воды в Камское водохранилище // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 1(76). С. 86–98. DOI: 10.17072/2079-7877-2026-1-86-98 EDN: WVICPM

Original article

DOI: 10.17072/2079-7877-2026-1-86-98

EDN: WVICPM

LONG-TERM CHANGES IN WATER INFLOW INTO THE KAMA RESERVOIR**Ksenia D. Mikova¹, Ekaterina V. Mekhanoshina², Victoria N. Romashova³, Matvey V. Kolegov⁴**^{1, 2, 3, 4} Perm State University, Perm, Russia¹ mikovak@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-1170-5375, Scopus Author ID: 57211207914, ResearcherID: JLL-9653-2023, SPIN-code: 3765-0488, eLibrary Author ID: 153280² katya_mehanoshina@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3822-4662, Scopus Author ID: 57211204998, SPIN-code: 3650-3213, eLibrary Author ID: 1078805³ vikt.romashova@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-8718-142X, ResearcherID: MXL-6160-2025⁴ matvelv@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-4818-3676, SPIN-code: 7926-9132

© Микова К. Д., Механошина Е. В., Ромашова В. Н., Колегов М. В., 2026

Лицензировано по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, перейдите по ссылке <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Гидрология

Микова К. Д., Механошина Е. В., Ромашова В. Н., Колегов М. В.

Abstract. The article deals with long-term changes in water inflow into the Kama Reservoir. According to the results of the study, in all months (except May, June, and September) there was a trend toward the inflow increase, in the winter months (November-March) the trends were significant ($p>0.05$). An analysis of changes in air temperature and precipitation by seasons has revealed an increasing trend in the data series. These trends are statistically significant for air temperature in all seasons and for precipitation trend in the winter season. Over 1978-2021, the average air temperature increased by 0.2-0.3°C per decade, precipitation also increased by 2-10 mm per decade.

The authors studied the influence of ongoing climate change on the volume of water inflow for two periods before and after the pronounced changes in the runoff: 1954-1977 and 1978-2021. In 1978-2021, there was an increase in water inflow in all seasons: by 5% during the spring season, by 17% during the summer-autumn season, and by 30% during the winter season. Changes in inflow during the winter season were statistically significant. There was also a redistribution of runoff within seasons, which began to correspond to the following ratio in % of the annual: winter season – 16% (+3%), spring season – 59% (-4%), and summer-autumn season – 25% (+1%).

A combined analysis of the cyclicity of water inflow, air temperature, and precipitation has found that the volume of inflow during the winter season has similar cycles with the average air temperature. The best correlation of inflow cycles with precipitation has been revealed for the spring and summer-autumn seasons. High correlation of cycles is noted during the periods of the winter drawdown $r=0.92$ and summer-autumn stabilization $r=0.73$. In the spring period, the correlation of cycles is lower $r=0.48$ since the formation of the inflow is also influenced by other factors that change significantly from year to year.

Keywords: reservoir, water inflow into the reservoir, long-term change, cycle correlation

For citation: Mikova K. D., Mekhanoshina E. V., Romashova V. N., Kolegov M. V. Long-term changes in water inflow into the Kama Reservoir. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 1(76), pp. 86–98. DOI: 10.17072/2079-7877-2026-1-86-98 EDN: WVICPM

Введение

Объем притока воды в водохранилище считается одной из основных характеристик, которая влияет на режим работы гидроэлектростанции. Вопросы многолетнего изменения притока воды к водохранилищам под влиянием как природных, так и антропогенных факторов относятся к числу наиболее актуальных и имеют большое практическое значение при проектировании водохозяйственных мероприятий, а также для разработки долгосрочной политики в области водного хозяйства. Изменение климата может определять особенности гидрологического режима водоемов. Приток воды в водохранилища чувствителен к постепенным изменениям осадков и температуры воздуха, особенно в зимний период. По данным А. С. Калугина [18], годовой приток воды в Камское водохранилище составляет почти четверть от среднегодовалого стока р. Волги.

Существует много публикаций, посвященных изучению многолетних изменений стока рек. Первые исследования касались колебаний водоносности рек Западной Сибири [1] и изменений максимального стока равнинных рек [2]. В 1990 году Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) опубликовала Научную оценку климатических изменений и их последствий [30]. После ее публикации число статей, посвященных изменению климата и связанным с ним изменениям стока рек и притока воды в водохранилища, значительно возросло. Много исследований посвящено оценке многолетних изменений речного стока крупных зарегулированных рек России, таких как рр. Лена, Волга, Урал, Вилюй, Дон и др., а также оценке климатических и антропогенных факторов, оказывающих различное влияние на колебания стока [3–10; 19–20; 21; 25; 27; 29].

Вопросам многолетнего изменения притока воды в водохранилища также посвящено немало работ, в которых анализировалась пространственная и временная изменчивость притока к этим водным объектам [1–12; 13–15], проводились исследования по оценке влияния изменения климата на приток воды [26; 31–32]. Часть исследований была посвящена изменению притока воды в водохранилища Китая из-за меняющихся климатических условий [35] и антропогенных факторов [33].

Исследованию многолетних колебаний притока воды в Камское водохранилище посвящено немного публикаций. Так, в работе А. С. Калугина [18] показано, что приток воды в водохранилище сократился на 8 % в 1990-е гг. по сравнению с 1980-ми гг. В исследованиях В. Г. Калинина и др. [17] уделено внимание многолетней изменчивости стока семи рек Верхней и Средней Камы, где выявлено, что с 1978 г. наблюдается увеличение годового стока рек, а также оценено изменение объемов стока по районам [16]. Обзор современных исследований показывает отсутствие публикаций, посвященных данной тематике. Таким образом, основной целью исследования является оценка многолетнего изменения притока воды в Камское водохранилище.

Характеристика исследуемой территории

Камское водохранилище расположено на северо-востоке Европейской части России. Практически полностью его водосбор расположен на территории Пермского края (рис. 1). Площадь водного зеркала водохранилища при НПУ составляет 1 915 км², объем водной массы – 12,2 км³, длина – 250 км с севера на юг, максимальная глубина водохранилища составляет 30 м, средняя ширина – 5,5 км, с максимальным значением 14 км. Площадь водосбора Камского водохранилища – 168000 км².

Гидрология

Микова К. Д., Механошина Е. В., Ромашова В. Н., Колегов М. В.

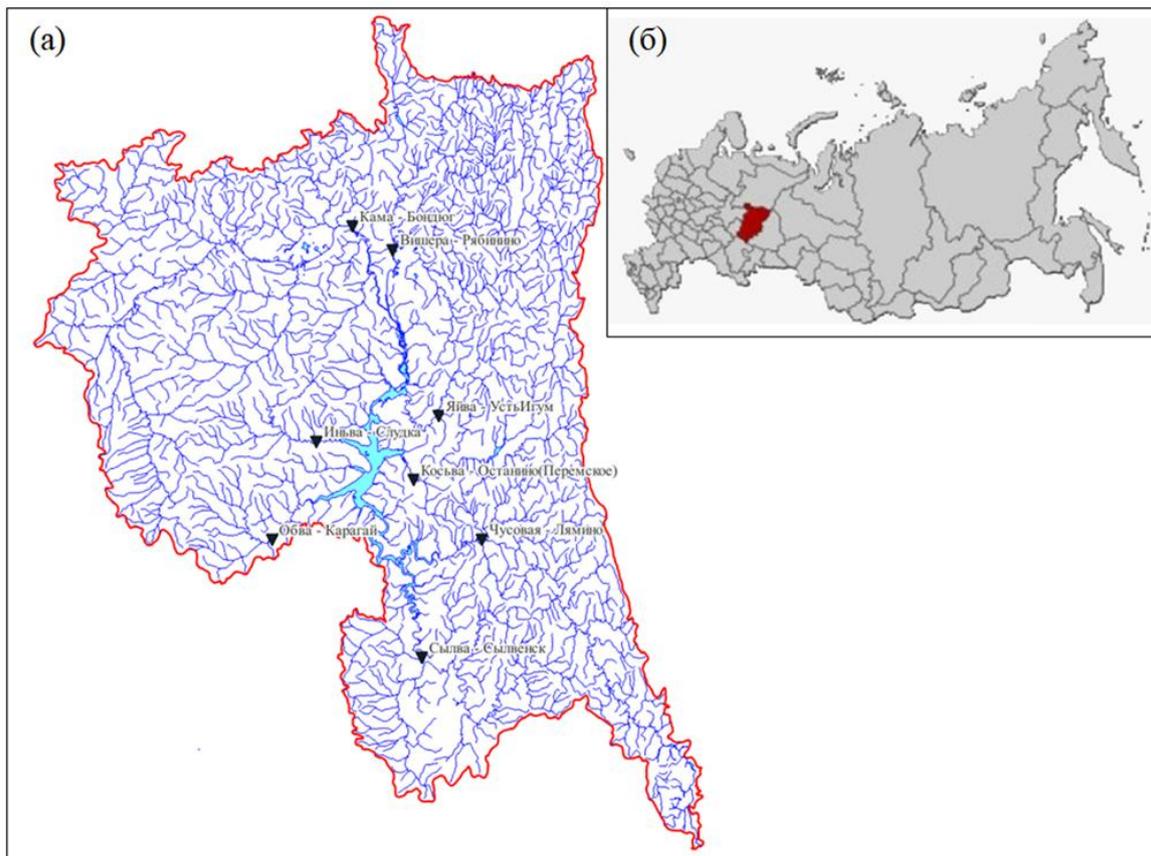


Рис. 1. а – Расположение гидрологических постов на реках, впадающих в Камское водохранилище; б – местоположение Пермского края на территории России [24]
 Fig. 1. а – Location of hydrological stations on rivers flowing into the Kama Reservoir; б – the location of the Perm Region on the territory of Russia [24]

Тепло на водосборе распределяется неравномерно с севера на юг. В течение года северная часть получает на 15 % меньше солнечного тепла, чем южная. Еще большие изменения величин суммарной солнечной радиации наблюдаются по сезонам года. Летом водосборная территория получает 80 % годового количества тепла, а зимой – около 20 % [27]. Северное положение территории способствует частому вторжению холодных арктических воздушных масс, которые определяют суровость климата. Циклоны обуславливают резкую смену погоды – с теплой на холодную. Сумма осадков за год неодинакова в разных частях бассейна и составляет 450–1000 мм, увеличиваясь с запада на северо-восток. Большая часть осадков (70 %) выпадает с апреля по октябрь. Снежный покров устанавливается 6–18 октября и к концу зимы достигает 50–159 см в зависимости от региона [20]. Характерной особенностью рассматриваемой территории является продолжительная зима (5–6 месяцев).

Камское водохранилище является первой ступенью каскада на р. Каме, ниже которого расположены Воткинское и Нижне-Камское водохранилища. Водохранилище принимает сток рек Камы, Вишеры, Чусовой, Сытвы, Иньвы, Косьвы, Обвы, Яйвы и осуществляет сезонное, недельное и суточное регулирование стока, наполняясь весной после таяния снега. На его берегах находятся такие города, как Пермь, Соликамск, Березники, Добрянка.

Исходные данные и методы исследования

В работе были использованы материалы расчетов Пермского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ПЦГМС) по среднемесячному притоку воды в водохранилище Камской ГЭС за период с 1954 по 2021 г. Исследуемая характеристика притока была рассчитана ПЦГМС на основе фактических значений среднесуточных расходов воды в замыкающих створах рек, которые впадают в водохранилище, а также с учетом боковой приточности с неучтенных территорий.

В работе использованы величины объема притока, рассчитанные по месяцам (W , км³/месяц). Также рассчитан сезонный сток (км³/сезон) для трех периодов: зимняя сработка (ноябрь–март), весеннее наполнение (апрель–июнь), летне-осенняя стабилизация (июль–октябрь). Границы сезонов были определены на основе гидрографов притока, а также дат начала и окончания интенсивного притока воды в водохранилище. Годовой приток (км³/год) рассчитан как сумма объемов притока за 12 месяцев. Для оценки изменчивости величин притока воды для каждого месяца были рассчитаны коэффициенты вариации (C_v).

Анализ изменения климатических характеристик на территории водосбора Камского водохранилища выполнен по среднемесячной температуре воздуха и сумме осадков за месяц, полученных из ресурса WorldClim

Гидрология

Микова К. Д., Механошина Е. В., Ромашова В. Н., Колегов М. В.

[34]. Данные рассчитаны путем извлечения зональной статистики для водосбора Камского водохранилища из набора растровых данных модели WorldClim 2. Данные WorldClim 2 созданы на основе информации с 60 000 метеостанций по всему миру, охватывающих временной диапазон с 1960 по 2021 г. Климатические параметры этих метеостанций были интерполированы с применением тонких пластинчатых сплайнов, что позволило достичь высокой точности описания данных. Для увеличения точности WorldClim 2 использованы спутниковые данные MODIS.

Ряды климатических характеристик и притока воды за месяц были протестированы на случайность и однородность по критерию Стьюдента и Фишера. Для рядов притока воды за зимние месяцы (ноябрь-март), среднесезонной температуры воздуха и осадков за период зимней сработки гипотеза об однородности и стационарности была опровергнута, что свидетельствует о наличии значимых изменений, произошедших в рядах наблюдений.

Оценка значимости трендов изменения климатических характеристик и притока воды выполнена проверкой нулевой гипотезы о его отсутствии. Если уровень значимости $p < 0,05$, то нулевая гипотеза отвергалась, что означало, что существует статистически значимый тренд. В случае, если $p > 0,05$, нулевая гипотеза принималась, что указывало на отсутствие статистически значимого тренда.

Для выявления синхронности в циклах выполнено сглаживание объемов притока воды, температуры воздуха и осадков за 7-летние периоды. Средние значения притока воды за 7-летние периоды отнесены к середине ряда. Сглаженные кривые притока были построены за зимние месяцы (ноябрь, декабрь, январь, февраль, март), т.к. для этих месяцев и для годового притока воды был обнаружен статистически значимый тренд.

Для анализа долговременных фаз изменений температуры воздуха, осадков и притока воды в водохранилище, а также определения лет смены их направленности были построены разностно-интегральные кривые (РИК). РИК отражает накапливающуюся разницу между текущими значениями исследуемой характеристики и их нормой.

Результаты и их обсуждение

Многолетние изменения климатических характеристик. Анализ долговременных фаз многолетних изменений температуры воздуха и осадков выполнен по данным ресурса WorldClim [34] за период 1960–2021 гг. Величины средней температуры воздуха и суммы осадков рассчитаны для территории водосбора Камского водохранилища по сезонам. Сглаженные по 7-леткам кривые температуры воздуха и осадков показывают циклы увеличения и уменьшения климатических характеристик, а также позволяют избавиться от флуктуаций конкретных лет, которые прослеживаются на хронологических графиках (рис. 2).

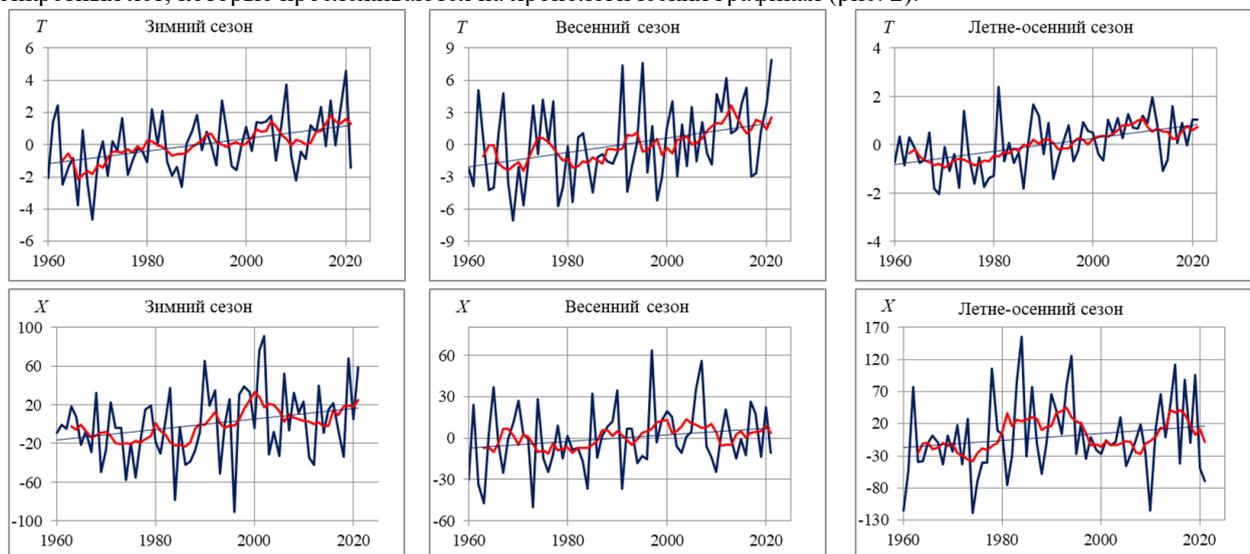


Рис. 2. Многолетнее изменение температуры воздуха (T) и осадков (X) (синяя линия – ежегодные значения сезонной температуры воздуха и осадков; красная линия – сглаженные по 7-леткам величины)

Fig. 2. Long-term changes in air temperature and precipitation (blue line – annual values of seasonal air temperature and precipitation; red line – values smoothed over 7 years)

Анализ кривых показал, что в рядах температуры воздуха и осадков во все сезоны наблюдается возрастающий тренд. При этом у температуры воздуха во все сезоны и у осадков в зимний сезон тренды оказались статистически значимыми. Следовательно, регистрируемое на территории водосбора Камского водохранилища изменение климатических характеристик, связанное с ростом среднесезонной температуры воздуха, также привело к увеличению количества осадков в зимний период, вследствие чего зимы на рассматриваемой территории стали более теплыми и влажными.

Гидрология

Микова К. Д., Механошина Е. В., Ромашова В. Н., Колегов М. В.

Анализ долговременных фаз многолетних изменений температуры воздуха на РИК показал, что на рубеже 1986–1990 гг. начинается фаза роста среднесезонной температуры воздуха (рис. 3). При этом смена фазы снижения на фазу роста происходит почти синхронно во все сезоны. Фаза роста температуры воздуха продолжается и в последние годы. Схожий характер изменения температуры воздуха наблюдается на водосборах крупнейших рек Сибири [4].

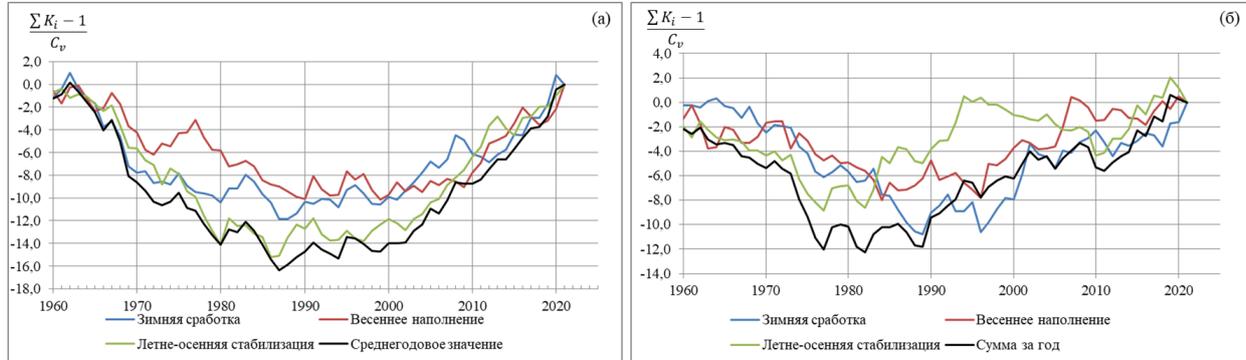


Рис. 3. Разностно-интегральные кривые температуры воздуха (а) и атмосферных осадков (б) для территории водосбора Камского водохранилища за период 1960–2021 гг.

Fig. 3. Difference-cumulative curves of air temperature (a) and precipitation (b) for the Kama Reservoir catchment for 1960–2021

Характер многолетних изменений сумм осадков по сезонам отличается от рассмотренных выше особенностей. Начало увеличения количества осадков происходит в период 1982–1989 гг. Фазы роста и снижения осадков синхронны для периодов зимней сработки и весеннего наполнения. Окончание фазы снижения количества осадков заканчивается в 1984–1989 гг. Затем наблюдается фаза увеличения количества осадков, которая продолжается по настоящее время. Долговременные изменения сумм осадков в летне-осенний сезон носят более сложный характер. При этом наблюдается два долговременных цикла осадков: 1960–1994 (спад 1960–1982, рост 1983–1994) и 1995–2021 гг. (спад 1995–2010, рост 2011–2021).

Для оценки изменения температуры воздуха и суммы осадков выполнен расчет средних значений за два периода: 1960–1977 и 1978–2021 гг. Здесь и далее период до 1977 г. использован как базовый для сравнения. Эти периоды выбраны на основании того, что с 1978 г., по нашим данным и исследованию В. Г. Калинина и др. [17], на исследуемой территории происходит смена циклов водности. Изменение климатических величин оценено за период 1978–2021 гг. по сравнению с 1960–1977 гг. Расчеты показали, что средняя температура воздуха за период 1978–2021 гг. увеличивалась на 0,2–0,3° С за десятилетие во все сезоны. Сезонные величины осадков также росли на 2–10 мм за десятилетие. Существеннее всего увеличились осадки в летне-осенний сезон, где за период 1978–2021 гг. значения выросли на 40 мм (+12 %) по сравнению с 1960–1977 гг.

Таблица 1
Table 1

Средние за период 1960–1977 и 1978–2021 гг. температуры воздуха и сумма осадков и их изменение для территории водосбора Камского водохранилища
Average air temperatures and total precipitation for 1960–1977 and 1978–2021 and their changes for the Kama Reservoir catchment

Период расчета	Зима		Весна		Лето–осень		Год	
	T, °C	X, мм	T, °C	X, мм	T, °C	X, мм	T, °C	X, мм
1960–1977	–11,9	192	10,5	85	10,4	328	0,27	605
1978–2021	–10,5	210	11,4	94	11,2	369	1,23	672
Δ	+1,3	+18	+0,9	+9	+0,8	+40	+1,0	+67
Δ%	+11	+9	+8	+10	+8	+12	–	+11

Примечание: T – средняя температура воздуха, °C; X – сумма осадков, мм; Δ и Δ% – изменение величин, рассчитанных за период 1978–2021 гг. по сравнению с 1960–1977 гг., в абсолютных величинах и в % соответственно

Note: T – average air temperature, °C; X – total precipitation, mm; Δ and Δ% – changes in values calculated for 1978–2021 compared to 1960–1977, in absolute values and in %, respectively

Характеристика среднемесячного притока воды. Расчет среднемесячных величин притока воды в Камское водохранилище выполнен за период 1954–2021 гг. Анализ полученных величин показал, что в зимние месяцы (ноябрь, декабрь, январь, февраль, март) приток воды к Камскому водохранилищу минимален и изменяется в среднем от 1,12 до 3,10 км³/мес (табл. 2). Доля притока в зимние месяцы невелика – изменяется от 1,9 до 5,4 % от годовой величины. Объем стока по месяцам в этот сезон в среднем достигает 1,74 км³/мес.

Гидрология

Микова К. Д., Механошина Е. В., Ромашова В. Н., Колегов М. В.

Таблица 2
Table 2Расчетный среднемесячный приток воды в Камское водохранилище за период 1954–2021 гг.
Estimated average monthly water inflow into the Kama Reservoir for 1954–2021

Показатель	Средний		C _v	Максимальный	Год	Минимальный	Год
	км ³ /мес	%					
Январь	1,38	2,4	0,24	2,50	2009	0,79	1961
Февраль	1,12	1,9	0,21	1,82	2020	0,68	1961
Март	1,23	2,2	0,24	2,44	1981	0,75	1954
Апрель	7,07	12,3	0,56	19,5	2016	1,22	1998
Май	19,7	34,4	0,26	31,3	1979	8,36	1975
Июнь	7,68	13,4	0,44	17,4	1978	2,60	2021
Июль	3,86	6,7	0,43	9,43	1994	1,79	1954
Август	3,02	5,3	0,51	10,4	2019	1,39	1960
Сентябрь	3,23	5,6	0,47	8,94	1962	1,44	1960
Октябрь	4,03	7,0	0,42	9,56	1986	1,67	1974
Ноябрь	3,10	5,4	0,46	8,31	2013	1,12	1960
Декабрь	1,85	3,2	0,35	4,61	2008	0,80	1974
За год	57,3	100	0,16	78,9	2019	37,7	1975

Наибольший среднемесячный приток в течение зимних месяцев зафиксирован в ноябре и составил 3,10 км³/мес. Возможно, это связано с тем, что в ноябре еще поступает некоторое количество воды от дождевых паводков из отдаленных частей водосбора. В последующие месяцы приток постепенно уменьшается и в феврале находился на уровне минимальных значений – 1,12 км³/мес (табл. 2). Наибольший приток достигал 1,82–8,31 км³/мес, что в 1,6–2,7 раза выше среднемноголетних значений в отдельные годы (1981, 2008, 2009, 2020). Наименьший приток составлял 0,68–1,12 км³/мес, что в 1,6–2,8 раза меньше среднего значения, и наблюдался в 1954, 1961, 1974 гг. Изменчивость притока в зимние месяцы наименьшая – C_v = 0,21–0,35 – из-за устойчивого грунтового питания и отсутствия поверхностного притока.

В период *весеннего наполнения* (апрель, май, июнь) приток воды в водохранилище максимальный и находится в диапазоне от 7,07 до 19,7 км³/мес (табл. 2). В данный период в Камское водохранилище поступает в среднем 60 % годового притока. Начиная с апреля, доля притока существенно увеличивается (12,3 % от годового) по сравнению с притоком за март (2,2 % от годового). В мае приток продолжает расти и становится наибольшим (34,4 % от годового). Далее в июне доля притока снижается (до 13,4 %) более чем в 2 раза по сравнению с маем (рис. 3), но остается существенной. Такое уменьшение притока связано с завершением добега талой воды от самых отдаленных частей водосбора до Камского водохранилища. Наибольшие значения максимального притока в весенний период изменялись в пределах 17,4–31,3 км³/мес и наблюдались в 1978, 1979, 2016 гг. В 1978 и 1979 годах зимы были одними из самых холодных на исследуемой территории, поэтому почва существенно промерзла и долго оттаивала весной. Вследствие этого талые воды во время снеготаяния слабо просачивались в почву и в основном стекали по поверхности водосбора. Это привело к существенному сокращению потерь стока на впитывание в почву и увеличению поверхностного стекания в весенние месяцы. Наименьший приток в весенние месяцы был в 2–6 раза ниже среднемноголетнего притока и составил 1,22–8,36 км³/мес (табл. 2). Небольшой приток в весенний период был в 1975 г. из-за малых величин снеготаяния, а в 1998 г. – из-за возврата холодов весной и более растянутого половодья, в результате которого были большие потери на впитывание. Изменчивость притока в период наполнения наибольшая – C_v = 0,26–0,56, т.к. доля поверхностного питания может существенно меняться от месяца к месяцу.

В период *летне-осенней стабилизации* (июль–октябрь) приток воды к Камскому водохранилищу стабилен и изменяется в среднем от 3,02 до 4,03 км³/мес. Доля притока воды в эти месяцы варьирует от 5,3 до 7,0 % от годового (табл. 2). В период летне-осенней стабилизации приток продолжает сокращаться, средний объем притока за сезон летне-осенней стабилизации составил 3,54 км³/мес. Максимальный приток – 10,4 км³/мес в 2019 г. Минимальный приток был более чем в 7 раз ниже максимального притока (1,39 км³/мес). Вместе с этим величина притока изменяется в зависимости от количества дождевых осадков в данный период. Изменчивость притока в данные месяцы высокая – C_v = 0,42–0,51 (табл. 2).

Многолетнее изменение суммарного месячного притока воды. Анализ графиков многолетнего (1954–2021 гг.) изменения объемов месячного притока воды к Камскому водохранилищу (рис. 4) показал, что практически во все месяцы, за исключением мая, июня и сентября, прослеживается видимый тренд на увеличение. Величины изменения объема притока воды в Камское водохранилище по месяцам приведены в табл. 3. Выполненные исследования показали, что наблюдается существенное увеличение объема притока воды за период современных климатических изменений (1978–2021 гг.) по сравнению с периодом стационарного климата (1954–1977 гг.), особенно в зимние месяцы.

Гидрология

Микова К. Д., Механошина Е. В., Ромашова В. Н., Колегов М. В.

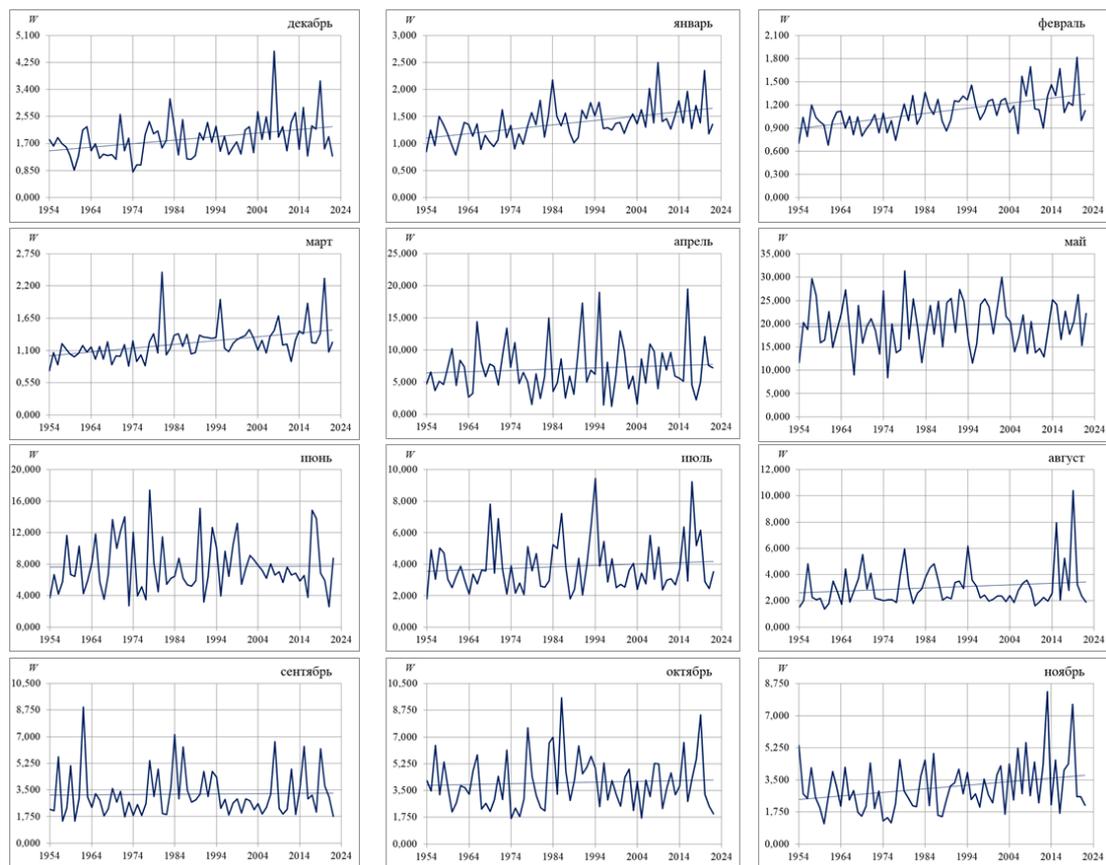


Рис. 4. Многолетнее (1954–2021 гг.) изменение объема месячного притока (W , км³/мес) воды к Камскому водохранилищу

Fig. 4. Long-term (1954–2021) change in the volume of monthly water inflow (W , км³/month) to the Kama Reservoir

Наименьшие изменения объема притока отмечены в период весеннего наполнения с апреля по июнь (1–7 %), где из-за существенных величин притока прирост на +1,30 км³/мес привел к повышению всего на 7 %. С июня по октябрь приток увеличивался уже на 13–21 %, что составляет средний прирост на 0,106–0,189 км³/мес за каждое десятилетие. Наибольшие изменения произошли в зимние месяцы (ноябрь–март) – объем среднего притока воды за период современных климатических изменений (1978–2021 гг.) увеличился на 28–31 %. Данные изменения оказались статистически значимы ($p > 0,05$) (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Изменение объема притока воды в Камское водохранилище
Change in the water inflow into the Kama Reservoir

Месяц	Объем притока, км ³ /мес		ΔW	
	1954–1977	1978–2021	км ³ /мес	%
январь	1,14	1,50	+0,36	+31
февраль	0,94	1,21	+0,27	+28
март	1,03	1,34	+0,31	+30
апрель	7,04	7,09	+0,05	+1
май	18,9	20,2	+1,30	+7
июнь	7,45	7,80	+0,35	+5
июль	3,56	4,02	+0,46	+13
август	2,66	3,22	+0,56	+21
сентябрь	2,95	3,37	+0,42	+14
октябрь	3,54	4,30	+0,76	+21
ноябрь	2,60	3,37	+0,77	+30
декабрь	1,54	2,02	+0,48	+31
Год	53,3	59,4	+6,10	+11

Примечание: ΔW – изменение объема притока воды за период 1978–2021 гг. по сравнению с периодом 1954–1977 гг.; **жирным курсивом** выделены статистически значимые изменения притока

Note: ΔW – change in water inflow volume for the period 1978–2021 compared to the period 1954–1977; statistically significant changes in inflow are highlighted in **bold italics**

Гидрология

Микова К. Д., Механошина Е. В., Ромашова В. Н., Колегов М. В.

Определение года начала значимого увеличения притока в зимние месяцы выполнено по сглаженным 7-летним кривым притока (рис. 5). Результаты показали, что приток воды существенно увеличивается: в ноябре начиная с 1979 г., в декабре с 1977 г., в январе с 1976 г., в феврале с 1977 г., в марте с 1976 г. В среднем начало периода существенного увеличения зимнего притока в Камское водохранилище приходится на 1978 г.

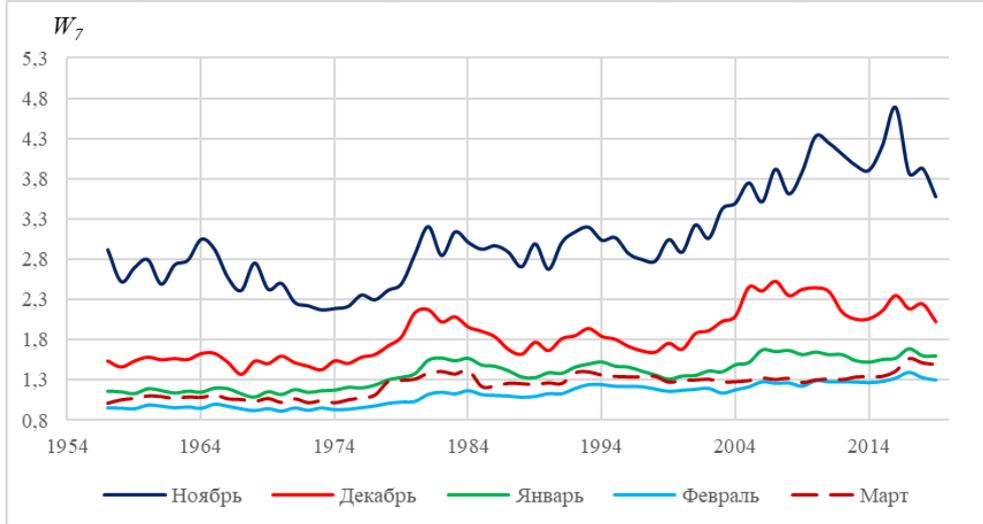


Рис. 5. Сглаженные по 7-леткам объемы притока воды (W_7 , км³/мес) в Камское водохранилище за зимние месяцы
Fig. 5. Volumes of water inflow (W_7 , km³/month) into the Kama Reservoir for the winter months, smoothed over 7 years

Схожие результаты получены в исследовании и других авторов [17], где анализ многолетней изменчивости годового стока семи рек Верхней и Средней Камы показал, что с 1978 г. наблюдается увеличение годового стока рек. Таким образом, в дальнейших расчетах период 1954–1977 гг. принят как период стационарного климата, а период 1978–2021 г. как период современных климатических изменений.

Сезонные изменения притока воды в Камское водохранилище рассчитаны за два выявленных периода: 1954–1977 гг. – период стационарных климатических условий; 1978–2021 гг. – период современных климатических изменений. Среднегодовой объем притока воды в Камское водохранилище за весь период 1954–2021 гг. составил 57,3 км³. При этом после 1978 г. наблюдается увеличение притока в водохранилища во все сезоны на 5–30 %. В период весеннего наполнения (апрель-июнь) приток воды вырос +1,68 км³/сезон (+5 %). В период летне-осенней стабилизации (июль-октябрь) приток воды увеличился на +2,21 км³/сезон, что соответствует увеличению притока на 17 % по сравнению с периодом 1954–1977 гг. Значительно увеличился приток в период зимней сработки (ноябрь-март). Поскольку величины притока в этот сезон небольшие (табл. 4), то увеличение на +2,18 км³/сезон привело к росту притока на 30 % по сравнению с 1954–1977 гг. Данные изменения притока в зимний сезон оказались статистически значимыми.

Таблица 4
Table 4

Среднее значение сезонного притока воды за разные временные периоды и изменение объема среднего притока воды к Камскому водохранилищу
Average value of seasonal water inflow for different time periods and change in the volume of average water inflow to the Kama Reservoir

Сезон	$W_{1954-1977}$		$W_{1978-2021}$		ΔW	
	км ³ /сезон	%	км ³ /сезон	%	км ³ /сезон	%
Зимняя сработка	7,26	13	9,43	16	+2,17	+30
Весеннее наполнение	33,4	63	35,1	59	+1,70	+5
Летне-осенняя стабилизация	12,7	24	14,9	25	+2,20	+17
Приток за год	53,3	100	59,4	100	+6,10	+11

Примечание: $W_{1954-1977}$, $W_{1978-2021}$ – объем среднего притока воды за 1954–1977 и 1978–2021 гг., км³/сезон; ΔW – изменение объема среднего притока воды за период 1978–2021 по сравнению с периодом 1954–1977 гг.; **жирным курсивом** выделены статистически значимые изменения притока

Note: $W_{1954-1977}$, $W_{1978-2021}$ – average water inflow volume for 1954–1977 and 1978–2021, km³/season; ΔW – change in average water inflow volume for the period 1978–2021 compared to the period 1954–1977; statistically significant changes in inflow are highlighted in **bold italics**

До начала выраженных климатических изменений за период наблюдений с 1954 по 1977 г. распределение сезонного стока в % было следующим: зимняя сработка – 13 %, весеннее наполнение – 63 %, летне-осенняя стабилизация – 24 %. После смены цикла водности (1978–2021 гг.) произошло увеличение стока по сезонам и

Гидрология

Микова К. Д., Механошина Е. В., Ромашова В. Н., Колегов М. В.

перераспределение стока внутри сезонов, которое стало соответствовать следующему соотношению в % от годового: зимняя сработка – 16 % (+3 %), весеннее наполнение – 59 % (–4 %), летне-осенняя стабилизация – 25 % (+1 %).

Дополнительно выполнена попытка оценить, насколько климатические изменения оказывают влияние на значения притока воды. Для этого построены разностно-интегральные кривые, которые позволяют выявить долговременные периоды (фазы), в течение которых существенно чаще встречаются значения характеристики ниже или выше ее среднемноголетнего значения (рис. 6). Для определения причин изменения притока воды в Камское водохранилище по сезонам осуществлен совместный анализ цикличности притока воды, температуры воздуха и осадков. Выявлено, что объем притока за период зимней сработки имеет синхронные циклы со средней температурой воздуха. При этом незначительное понижение средней температуры в этот период приводит к более существенному снижению стока. Скоррелированность циклов составляет $r = 0,92$. Для периодов весеннего наполнения и летне-осенней стабилизации выявлена лучшая коррелированность циклов притока с осадками. В весенний период коррелированность циклов невысокая – $r = 0,48$, т.к. на приток также оказывают влияние другие факторы, существенно меняющиеся год от года (температура воздуха, дружность весны, предшествующая увлажненность бассейна, глубина промерзания почвы и т.д.).

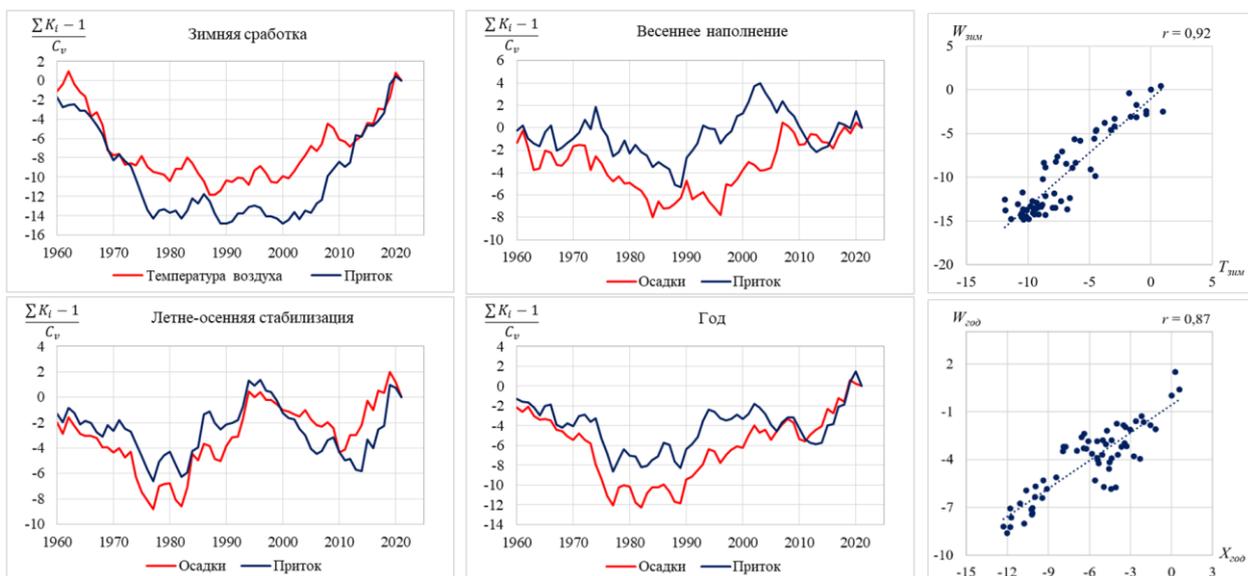


Рис. 6. Совмещенные разностно-интегральные кривые притока воды и климатических характеристик за период 1960–2021 гг. и зависимости циклов:

- (а) притока воды за период зимней сработки ($W_{зим}$) от средней температуры воздуха в этот период ($T_{зим}$)
 (б) годового притока воды ($W_{год}$) от годовой суммы осадков ($X_{год}$)

Fig. 6. Combined difference-cumulative curves of water inflow and climatic characteristics for the period 1960–2021 and dependences of the cycles:

- (а) water inflow during the winter period ($W_{зим}$) vs. the average winter air temperature ($T_{зим}$)
 (б) annual water inflow ($W_{год}$) vs. annual precipitation ($X_{год}$)

В период летне-осенней стабилизации коррелированность циклов высокая ($r=0,73$) и в основном зависит от количества осадков в этот период. Здесь при увеличении осадков наблюдается рост притока воды и наоборот. Циклы годового притока лучше коррелированы с осадками ($r=0,87$), чем с температурой воздуха ($r=0,57$), несмотря на ее существенное изменение.

Многолетние изменения годового притока. Средняя за многолетний период величина годового притока составила $57,3 \text{ км}^3$. Изменчивость годового притока небольшая – $C_v=0,16$. Полученные результаты исследования показали, что за период 1954–2021 гг. наблюдается тенденция к росту притока воды в Камское водохранилище. Оценка значимости тренда величины годового притока воды в водохранилище показала, что тренд статистически значим ($p>0,05$). Увеличение притока в водохранилище во все сезоны в период 1978–2021 гг. привело к росту величины годового притока воды в Камское водохранилище на 11 % (табл. 4).

Выводы

1. Оценка изменений температуры воздуха и осадков для территории водосбора Камского водохранилища за период 1960–2021 гг. показала, что в рядах наблюдается возрастающий тренд во все сезоны. Выявлены статистически значимые тренды у температуры воздуха во все сезоны и у осадков в зимний сезон. Средняя температура воздуха за период 1978–2021 гг. увеличивалась на $0,2\text{--}0,3^\circ \text{C}$ за десятилетие, осадки также росли на $2\text{--}10 \text{ мм}$ за десятилетие. Регистрируемое на территории водосбора Камского водохранилища изменение климатических характеристик, связанное с ростом среднесезонной температуры воздуха, также привело к

Гидрология

Микова К. Д., Механошина Е. В., Ромашова В. Н., Колегов М. В.

увеличению количества осадков в зимний период. Зимы на рассматриваемой территории стали более теплыми и влажными.

2. Наименьший приток воды в Камское водохранилище наблюдался в зимние месяцы (ноябрь, декабрь, январь, февраль, март) и изменялся в среднем от 1,12 до 3,10 км³/мес, что соответствует 1,9–5,4 % от годовой величины. Изменчивость притока в зимние месяцы наименьшая – $C_v=0,21-0,35$ – из-за отсутствия поверхностного притока. Наибольший приток воды наблюдался в весенние месяцы (апрель, май, июнь) – 7,07–19,7 км³/мес. Максимальный приток поступает в мае – 34,4 % от годовой величины. Изменчивость притока в период наполнения наибольшая – $C_v=0,26-0,56$, т.к. доля поверхностного питания может существенно меняться от месяца к месяцу.

3. Оценка влияния современных климатических изменений на величину объема притока воды к Камскому водохранилищу выполнена для периода 1978–2021 гг. по сравнению с периодом стационарного климата 1954–1977 гг. Результаты показали, что среднемесячный приток воды увеличился во все месяцы. Незначительно повысился объем притока в весенний период (1–7 %), т.к. сами величины притока достаточно высоки. Существенно вырос приток с июня по октябрь (на 13–21 %). Значительно вырос объем среднего притока в зимние месяцы (ноябрь–март) – на 28–31 %, при этом изменения оказались статистически значимы ($p > 0,05$). В среднем начало периода существенного увеличения зимнего притока в Камское водохранилище приходится на 1978 г.

4. После 1978 года произошло не только увеличение притока по сезонам, но и перераспределение стока внутри сезонов. Объем притока за периоды зимней сработки и летне-осенней стабилизации стал выше на 3 % (16 % от годового) и 1 % (25 %) соответственно, в период весеннего наполнения приток стал ниже на 4 % (59 %).

5. Оценка синхронности изменения циклов притока воды, температуры воздуха и осадков показала, что для периода зимней сработки долговременные фазы притока воды имеют высокую скоррелированность со средней для водосбора температурой воздуха (0,92). Для периодов весеннего наполнения и летне-осенней стабилизации лучшая скоррелированность циклов притока получена с суммой осадков для всего водосбора Камского водохранилища. Циклы годового притока также лучше скоррелированы с осадками ($r=0,87$), чем с температурой воздуха ($r=0,57$).

Библиографический список

1. Агунов А. В. Нормы стока и колебания водоносности рек Западной Сибири // Колебания и изменения речного стока. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 5–47.
2. Вендров С. Л. Изменения максимального стока равнинных рек в связи с преобразованием природы. М.: Речиздат, 1953. 72 с.
3. Георгиади А. Г., Каишутин Е. А. Многолетние изменения годового и сезонного стока рек бассейна Лены // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015. № 2. С. 71–83.
4. Георгиади А. Г., Каишутин Е. А. Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. № 5. С. 70–81. DOI: 10.15356/0373-2444-2016-5-70-81 EDN: WLWYIR
5. Георгиади А. Г., Каишутин Е. А. Длительные периоды пониженного/повышенного стока на крупных реках России // CITES'2019. 2019. С. 284–287. EDN: APDKSX
6. Георгиади А. Г., Милокова И. П., Бородин О. О. Особенности многолетних изменений водности рек в бассейне Волги в XIX–XXI веках // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения. 2019. С. 102–105. EDN: TCLNON
7. Георгиади А. Г., Коронкевич Н. И., Зайцева И. С., Каишутин Е. А., Барабанова Е. А. Климатические и антропогенные факторы в многолетних изменениях речного стока реки Волги // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 4. С. 4–19. EDN: REWEVB
8. Джамалов Р. Г., Сафронова Т. И., Телегина Е. А. Многолетняя квазипериодичность подземного и поверхностного стока рек России // Недропользование XXI век. 2017. № 5. С. 98–105. EDN: XBZABC
9. Дмитриева В. А. Внутригодовая и многолетняя динамика сезонного речного стока бассейна верхнего Дона // Аридные экосистемы. 2011 Т. 17, № 2(47). С. 23–32. EDN: NTERBF
10. Добровольский С. Г. Межгодовые и многолетние изменения стока рек мира // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, № 6. С. 643–660. EDN: OJHCYD
11. Дубровская К. А. Многолетнее изменение притока воды к Волховскому водохранилищу // Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития / MGO 2020 имени Л. Н. Карлина: труды IV Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 16–17 декабря 2020 г. СПб: Химиздат, 2020. С. 128–130. EDN: EYZUPY
12. Дубровская К. А. Многолетние изменения притока воды к Ириклинскому водохранилищу // Сборник трудов VI Международной конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития» имени Л. Н. Карлина / MGO-2022: сборник трудов VI Международной конференции, Санкт-Петербург, 14–15 декабря 2022 г. СПб: Из-во «Перо», 2022. С. 86. EDN: UWFQAS
13. Законнова А. В., Литвинов А. С. Многолетние изменения гидроклиматического режима Рыбинского водохранилища // Труды Института биологии внутренних вод РАН. 2016. № 75(78). С. 16–22. DOI: 10.24411/0320-3557-2016-10016 EDN: YRNVFT
14. Иванов Е. Г., Исмаилов Г. Х. Оценка пространственной и временной изменчивости притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада // Природообустройство. 2009. № 1. С. 58–62. EDN: JSTOFA
15. Исмаилов Г. Х., Мураценкова Н. В. Исследование временных закономерностей речного стока бассейна Верхнего Дона // Природообустройство. 2019. № 1. С. 35–40. EDN: BFWTUX

Гидрология

Микова К. Д., Механошина Е. В., Ромашова В. Н., Колегов М. В.

16. Калинин В. Г., Механошина Е. В. Пространственные закономерности внутригодового распределения стока рек водосбора Воткинского водохранилища // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 3(70). С. 49–58. DOI: 10.17072/2079-7877-2024-3-49-58 EDN: KGQVXU
17. Калинин В. Г., Чичагов В. В., Гырдымов Д. А. Многолетние колебания годового стока рек водосбора Верхней и Средней Камы // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2023. Т. 33, № 4. С. 456–466. DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-4-456-466 EDN: ISTPAQ
18. Калугин А. С. Моделирование изменения притока воды в Камское водохранилище // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Пермь, 27–30 мая 2021 г. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2021. С. 106–110. EDN: ARQRH
19. Магрицкий Д. В. Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты на нижней Лене и Вилюе // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 6. С. 85–95. EDN: VYTUVT
20. Магрицкий Д. В., Кенжебаева А. Ж. Закономерности, характеристики и причины изменчивости годового и сезонного стока воды рек в бассейне р. Урал // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2017. № 3. С. 39–61. EDN: XCTPQN
21. Механошина Е. В., Микова К. Д., Никитина Т. С., Калинин В. Г. Особенности формирования весеннего половодья на реках водосбора Воткинского водохранилища // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2025. Т. 35, № 1. С. 81–91. DOI: 10.35634/2412-9518-2025-35-1-81-91 EDN: VVVKCQ
22. Назаров Н. Н. География Пермского края: учеб. пособие. Ч. II. Природная (физическая) география. Пермь: Перм. ун-т, 2006. 206 с.
23. Регион 59. 10 фактов про Пермский край // Географ и Глобус : сайт. URL: <https://geoglob.ru/10-fakts/regions/permskij-kraj/> (дата обращения: 05.04.2025)
24. Сивохин Ж. Т., Павлейчик В. М. Современные изменения максимального стока рек бассейна реки Урал // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2024. № 2. С. 72–80. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2024/2/72-80 EDN: GIVZMI
25. Ушаков М. В. Многолетние колебания годового притока воды к каскаду водохранилищ на реке Каменушке и их предвычисление // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2018. № 4(49). С. 139–145. EDN: CLJTIT
26. Ушаков М. В., Лебедева Л. С. Климатические изменения режима формирования притока воды в Колымское водохранилище // Региональные геосистемы. 2016. Т. 37, № 25(246). С. 120–127. EDN: XQVLXF
27. Фролова Н. Л., Магрицкий Д. В., Киреева М. Б., Агафонова С. А., Поваляшников Е. С. Антропогенные и климатически обусловленные изменения стока воды и ледовых явлений рек Российской Арктики // Вопросы географии. 2018. № 145. С. 233–251. EDN: XNFPMD
28. Шкляев А. С., Балков В. А. Климат Пермской области. Пермь: Пермское кн. изд-во, 1959. С. 190.
29. Юмина Н. М., Терешина М. А. Многолетние изменения стока рек бассейна Вилюя // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2017. № 6. С. 62–70. EDN: ZXOJQH
30. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change. The IPCC Scientific Assessment Report Prepared for IPCC by Working Group I. / Eds. by J. T. Houghton, G. J. Jenkins, J. J. Ephraums. 1990. 414 p.
31. Park G. A., Ahn S. R., Lee Y. J., Shin H. J., Park M. J., Kim S. J. Assessment of climate change impact on the inflow and outflow of two agricultural reservoirs in Korea // Transactions of the ASABE. 2009. Vol. 52, No. 6. P. 1869–1883.
32. Shadkam S., Ludwig F., van Oel P., Kirmir Ç., Kabat P. Impacts of climate change and water resources development on the declining inflow into Iran's Urmia Lake // Journal of Great Lakes Research. 2016. Vol. 42, No. 5. P. 942–952.
33. Wang W., Zhu Y., Dong S., Becker S., Chen Y. Attribution of decreasing annual and autumn inflows to the Three Gorges Reservoir, Yangtze River: Climate variability, water consumption or upstream reservoir operation // Journal of Hydrology. 2019. Vol. 579. P. 124180.
34. Historical climate data // WorldClim : website. URL: <https://worldclim.org/data/worldclim21.html> (дата обращения 01.02.25)
35. Zheng J., Sun G., Li W., Yu X., Zhang C., Gong Y., Tu L. Impacts of land use change and climate variations on annual inflow into the Miyun Reservoir, Beijing, China // Hydrology and Earth System Sciences. 2016. Vol. 20, No. 4. P. 1561–1572.

References

1. Agupov A. V. Normy stoka i kolebaniya vodonosti rek Zapadnoy Sibiri [Runoff norms and water content fluctuations of Western Siberian rivers]. *Kolebaniya i izmeneniya rechnogo stoka*, Moscow: USSR Academy of Sciences Press, 1960, pp. 5–47. (In Russ.)
2. Vendrov S. L. *Izmeneniya maksimal'nogo stoka ravninnykh rek v svyazi s preobrazovaniyem prirody* [Changes in maximum runoff of plain rivers due to land transformation]. Moscow: Rechisdat, 1953, 72 p. (In Russ.)
3. Georgiadi A. G., Kashutina E. A. *Mноголетние изменения годового и сезонного стока рек бассейна Лены* [Long-term changes in annual and seasonal runoff of the Lena River basin]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2015, no. 2, pp. 71–83. (In Russ.)
4. Georgiadi A. G., Kashutina E. A. Long-term changes in runoff of the largest Siberian rivers. *Izvestiya RAN (Akad. Nauk SSSR). Seriya Geograficheskaya*, 2016, no. 5, pp. 70–81. (In Russ.) DOI 10.15356/0373-2444-2016-5-70-81
5. Georgiadi A. G., Kashutina E. A. Dlitel'nye periody ponizhennogo/povyshennogo stoka na krupnykh rekakh Rossii [Extended periods of low/high runoff in major Russian rivers]. *CITES'2019*, 2019, pp. 284–287. (In Russ.)
6. Georgiadi A. G., Milyukova I. P., Borodin O. O. Osobennosti mnogoletnikh izmeneniy vodnosti rek v bassejne Volgi v XIX–XXI vekakh [Features of long-term water content changes in the Volga River basin during the 19th–21st centuries]. *Nauchnye problemy ozdorovleniya rossiyskikh rek i puti ikh resheniya*, 2019, pp. 102–105. (In Russ.)
7. Georgiadi A. G., Koronkevich N. I., Zaitseva I. S., Kashutina E. A., Barabanova E. A. Klimaticheskie i antropogennye faktory v mnogoletnikh izmeneniyakh rechnogo stoka reki Volgi [Climatic and anthropogenic factors in long-term changes of the Volga River runoff]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*, 2013, no. 4, pp. 4–19. (In Russ.)
8. Dzhamalov R. G., Safronova T. I., Telegina E. A. *Mноголетняя квазипериодичность подземного и поверхностного стока рек России* [Long-term quasi-periodicity of groundwater and surface runoff in Russian rivers]. *Nedropol'zovanie XXI vek*, 2017, no. 5, pp. 98–105. (In Russ.)

Гидрология

Микова К. Д., Механошина Е. В., Ромашова В. Н., Колегов М. В.

9. Dmitrieva V. A. Vnutrigodovaya i mnogoletnyaya dinamika sezonnogo rechnogo stoka basseyna verkhnego Dona [Intra-annual and long-term dynamics of seasonal runoff in the Upper Don basin]. *Aridnye ekosistemy*, 2011, no. 17(2), pp. 23–32. (In Russ.)
10. Dobrovolsky S. G. Mezhdogodovye i mnogoletnie izmeneniya stoka rek mira [Interannual and long-term changes in global river runoff]. *Vodnye resursy*, 2011, no. 38(6), pp. 643–660. (In Russ.)
11. Dubrovskaya K. A. Mnogoletnee izmenenie pritoka vody k Volkhovskomu vodokhranilishchu [Long-term changes in water inflow to the Volkhov Reservoir]. In *Gidrometeorologiya i ekologiya: dostizheniya i perspektivy razvitiya / MGO 2020 imeni LN Karlina : trudy IV Vserossiiskoi konferentsii, Sankt-Peterburg, 16–17 dekabrya 2020 g.*, Sankt-Peterburg: Khimizdat, 2020, pp. 128–130. (In Russ.)
12. Dubrovskaya K. A. Mnogoletnie izmeneniya pritoka vody k Iriklińskomu vodokhranilishchu [Long-term changes in water inflow to the Iriklin Reservoir]. In *Sbornik trudov VI Mezhdunarodnoi konferentsii "Gidrometeorologiya i ekologiya: dostizheniya i perspektivy razvitiya" imeni L. N. Karlina / MGO-2022 : Sbornik trudov VI Mezhdunarodnoi konferentsii, Sankt-Peterburg, 14–15 dekabrya 2022 g.*, Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo "Pero", 2022, p. 86. (In Russ.)
13. Zakonnova A. V., Litvinov A. S. Long-term changes in the hydroclimatic regime of the Rybinsk Reservoir. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2016, no. 75(78), pp. 16–22. (In Russ.) DOI 10.24411/0320-3557-2016-10016
14. Ivanov E. G., Ismaylov G. Kh. Otsenka prostranstvennoy i vremennoy izmenchivosti pritoka k vodokhranilishcham Volzhsko-Kamskogo kaskada [Assessment of spatial and temporal variability of inflow to the Volga-Kama reservoir cascade]. *Prirodoustroystvo*, 2009, no 1, pp. 58–62 (In Russ.) DOI 10.35634/2412-9518-2023-33-4-456-466
15. Ismaylov G. Kh., Murashchenkova N. V. Issledovanie vremennykh zakonornostey rechnogo stoka basseyna Verkhnego Dona [Study of temporal patterns of river runoff in the Upper Don basin]. *Prirodoustroystvo*, 2019, no. 1, pp. 35–40. (In Russ.)
16. Kalinin V. G., Mekhanoshina E. V. Territorial features of the intra-annual distribution of river flow on the Votkinsk Reservoir catchment. *Geographical Bulletin*, 2024, no. 3(70). pp. 49–58. (In Russ.) DOI: 10.17072/2079-7877-2024-3-49-58
17. Kalinin V. G., Chichagov V. V., Gyrđymov D. A. Annual runoff long-term fluctuations in the rivers of the Kama Reservoir catchment. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, 2023, no. 33(4), pp. 456–466. (In Russ.) DOI 10.35634/2412-9518-2023-33-4-456-466
18. Kalugin A. S. Modelirovanie izmeneniya pritoka vody v Kamskoe vodokhranilishche [Modeling changes in water inflow to the Kama Reservoir]. In *Sovremennyye problemy vodokhranilishch i ikh vodosborov : trudy VIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Perm', 27–30 maya 2021 g.* Perm': Permskii gosudarstvennyi natsional'nyi issledovatel'skii universitet, 2021, pp. 106–110 (in Russ.)
19. Magritsky D. V. Faktory i zakonornosti mnogoletnikh izmeneniy stoka vody, vzveshennykh nanosov i teploty na nizhney Lene i Vilyue [Factors and patterns of long-term changes in water, sediment, and heat runoff in the Lower Lena and Vilyuy Rivers]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, 2015, no. 6, pp. 85–95. (In Russ.)
20. Magritsky D. V., Kenzhebayev A. Zh. Zakonornosti, kharakteristiki i prichiny izmenchivosti godovogo i sezonnogo stoka vody rek v basseynе r. Ural [Patterns, characteristics, and causes of variability in annual and seasonal runoff of rivers in the Ural basin]. *Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnikeskii vestnik)*, 2017, no. 3, pp. 39–61. (In Russ.)
21. Mekhanoshina E. V., Mikova K. D., Nikitina T. S., Kalinin V. G. Features of spring flood formation on the rivers of the Votkinskoe Reservoir catchment. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, 2025, vol. 35, no. 1, pp. 81–91. (In Russ.) DOI: 10.35634/2412-9518-2025-35-1-81-91
22. Nazarov N. N. *Geografiya Permskogo kraya Ch. 1. Prirodnaya (fizicheskaya) geografiya* [Geography of the Perm Region. Part II. Natural (physical) geography]. Perm, 2006. 206 p. (In Russ.)
23. *Region 59. 10 faktov pro Permskiy kray* [Region 59. 10 facts about Perm Kray] website. (In Russ.) URL: <https://geoglob.ru/10-fakts/regions/permskiy-kraj/> (Accessed 04 May 2025).
24. Sivokhip Zh. T., Pavleichik V. M. Recent changes in maximum runoff of rivers in the Ural River basin. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2024, no. 2, pp. 72–80. (In Russ.) DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2024/2/72-80
25. Ushakov M. V. Mnogoletnie kolebaniya godovogo pritoka vody k kaskadu vodokhranilishch na reke Kamenushke i ikh predvyehislenie [Long-term fluctuations in annual water inflow to the cascade of reservoirs on the Kamenushka River and their forecasting]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie (Terra Humana)*, 2018, no. 4(49), pp. 139–145 (in Russ.)
26. Ushakov M. V., Lebedeva L. S. Klimaticheskie izmeneniya rezhima formirovaniya pritoka vody v Kolymskoe vodokhranilishche [Climatic changes in the formation regime of water inflow to the Kolyma Reservoir]. *Regional'nyye geosistemy*, 2016, no. 37(25), pp. 120–127 (in Russ.)
27. Frolova N. L., Magritsky D. V., Kireeva M. B., Agafonova S. A., Povalishnikova E. S. Antropogennyye i klimaticheski obuslovlennyye izmeneniya stoka vody i ledovykh yavleniy rek Rossiyskoy Arktiki [Anthropogenic and climatically driven changes in water runoff and ice phenomena of Russian Arctic rivers]. *Voprosy geografii*, 2018, no. 145, pp. 233–251 (in Russ.)
28. Shklyayev A. S., Balkov V. A. *Klimat Permskoy oblasti* [Climate of the Perm Region]. Perm: Perm Publ, 1959. 190 p. (In Russ.)
29. Yumina N. M., Tereshina M. A. Mnogoletnie izmeneniya stoka rek basseyna Vilyuy [Long-term changes in runoff of rivers in the Vilyuy basin]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, 2017, no. 6, pp. 62–70 (in Russ.)
30. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change. The IPCC Scientific Assessment Report Prepared for IPCC by Working Group I. Eds. by J.T. Houghton, G.J. Jenkins, J.J. Ephraums, 1990, 414 p.
31. Park G. A., Ahn S. R., Lee Y. J., Shin H. J., Park M. J., Kim S. J. Assessment of climate change impact on the inflow and outflow of two agricultural reservoirs in Korea. *Transactions of the ASABE*, 2009, vol. 52, no. 6, pp. 1869–1883.
32. Shadkam S., Ludwig F., van Oel P., Kirmir C., Kabat P. Impacts of climate change and water resources development on the declining inflow into Iran's Urmia Lake. *Journal of Great Lakes Research*, 2016, vol. 42, no. 5, pp. 942–952.
33. Wang W., Zhu Y., Dong S., Becker S., Chen Y. Attribution of decreasing annual and autumn inflows to the Three Gorges Reservoir, Yangtze River: Climate variability, water consumption or upstream reservoir operation. *Journal of Hydrology*, 2019, vol. 579, pp. 124180.
34. Historical climate data. *WorldClim*: website. URL: <https://worldclim.org/data/worldclim21.html> (Accessed 1 February 2025).

Гидрология

Микова К. Д., Механошина Е. В., Ромашова В. Н., Колегов М. В.

35. Zheng J., Sun G., Li W., Yu X., Zhang C., Gong Y., Tu L. Impacts of land use change and climate variations on annual inflow into the Miyun Reservoir, Beijing, China. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2016, vol. 20, no. 4, pp. 1561–1572.

Статья поступила в редакцию: 25.06.25, одобрена после рецензирования: 03.10.25, принята к опубликованию: 12.03.26.

The article was submitted: 25 June 2025; approved after review: 3 October 2025; accepted for publication: 12 March 2026.

Информация об авторах

Ксения Дмитриевна Микова

Кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: mikovak@yandex.ru

Екатерина Владимировна Механошина

Старший преподаватель кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: katya_mehanoshina@mail.ru

Виктория Николаевна Ромашова

Студент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: vikt.romashova@yandex.ru

Матвей Владимирович Колегов

Магистрант 1 курса кафедры картографии и геоинформатики, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: matvelv@yandex.ru

Information about the authors

Ksenia D. Mikova

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Ekaterina V. Mekhanoshina

Senior Lecturer, Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Victoria N. Romashova

Student, Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Matvey V. Kolegov

1st year Master's Student, Department of Cartography and Geoinformatics, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Вклад авторов

Микова К. Д. – идея статьи, численные эксперименты, обработка материала, написание отдельных частей статьи, подготовка таблиц и иллюстраций.

Механошина Е. В. – научное редактирование текста, проведение численных экспериментов, обработка материала, написание отдельных частей статьи.

Ромашова В. Н. – проведение численных экспериментов, обработка материала, написание отдельных частей статьи, подготовка иллюстраций.

Колегов М. В. – проведение численных экспериментов, написание отдельных частей статьи, подготовка иллюстраций.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Ksenia D. Mikova – the idea of the article; numerical experiments; material processing; writing of some parts of the article; preparation of tables and illustrations.

Ekaterina V. Mekhanoshina – scientific editing; numerical experiments; material processing; writing of some parts of the article.

Victoria N. Romashova – numerical experiments; material processing; writing of some parts of the article; preparation of illustrations.

Matvey V. Kolegov – numerical experiments; writing of some parts of the article; preparation of illustrations.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.