

Гидрология

Калинин В.Г., Механошина Е.В.

ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 556.535

doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-49-58

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВНУТРИГODOVОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
СТОКА РЕК ВОДОСБОРА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА****Виталий Германович Калинин**¹, Екатерина Владимировна Механошина²^{1, 2} Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия¹ vgkalinin@gmail.com, Scopus Author ID: 7201527612, Researcher ID: ABC-7662-2021, SPIN-код: 9507-2306, Author ID: 70059² katya_mehanoshina@mail.ru, Scopus Author ID: 57211204998, SPIN-код: 3650-3213, Author ID: 1078805

Аннотация. Статья посвящена изучению пространственных закономерностей внутригодового распределения речного стока (ВГРС) на реках водосбора Воткинского водохранилища в разные по водности годы. Анализ существующих схем гидрологического районирования исследуемой территории показал, что они значительно отличаются друг от друга как по количеству выделенных таксономических единиц, так и по местоположению их границ. Выявлено несоответствие сроков наступления фаз водного режима в границах таксонов схемы гидрологического районирования, приведенной в Ресурсах поверхностных вод [15], по причине их сильной генерализации. При использовании схемы А.С. Шкляева [11] проведение анализа ВГРС невозможно из-за малого количества (1–5) центров тяжести водосборов рек, попадающих в округа. Поэтому выполнено уточнение границ гидрологического районирования исследуемой территории. Критерием однородности стали группы гидрографов на реках с одинаковыми сроками начала, максимума, окончания весеннего половодья и летне-осенних дождевых паводков, а также значений доли их месячного стока в годовом. Всего выделено шесть районов: северный горный район (реки Вишера, Березовая, Язва, Яйва, Косьва и верхнее течение р. Колвы); южный горный район (верхнее и среднее течение р. Чусовой с притоками Усьва, Вильва, Вижай, Койва, Серебряная); северный равнинный район (реки Черная, Весляна, Лупья, верхнее течение Камы, Лолог, Коса, Уролка, Пильва, Вишерка, среднее и нижнее течение р. Колвы); центральный равнинный район (верхнее течение р. Камы, бассейны рек Кондас, Иньвы, Обвы.); юго-восточный район (бассейн р. Сылвы и нижнее течение р. Чусовой); юго-западный район (водосборы небольших по площади рек Очер, Тулва, Гайва, Мулянка). В пределах выделенных районов на реках наблюдается соответствие сроков наступления основных фаз водного режима.

Выполнено исследование влияния происходящих климатических изменений на ВГРС рек водосбора Воткинского водохранилища для двух временных периодов наблюдений –1956–1977 гг. и 1978–2021 гг. – до и после момента начала выраженных изменений многолетних колебаний годового стока. За период 1978–2021 гг. на всех реках исследуемой территории выявлено уменьшение доли весеннего стока в среднем по районам на 7,3 %, и увеличение летне-осеннего стока для центрального и южных районов водосбора (от 13,6 до 26,4 %) и зимнего стока до 22,9 %.

Ключевые слова: река, внутригодовое распределение стока, гидрологическое районирование

Для цитирования: 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

HYDROLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-49-58

**TERRITORIAL FEATURES OF THE INTRA-ANNUAL DISTRIBUTION OF RIVER FLOW ON
THE VOTKINSK RESERVOIR CATCHMENT****Vitaliy G. Kalinin**¹, Ekaterina V. Mekhanoshina²^{1, 2} Perm State University, Perm, Russia¹ vgkalinin@gmail.com, Scopus Author ID: 7201527612, Researcher ID: ABC-7662-2021, SPIN-код: 9507-2306, Author ID: 70059² katya_mehanoshina@mail.ru, Scopus Author ID: 57211204998, Researcher ID: ABC-7662-2021, SPIN-код: 3650-3213, Author ID: 1078805

Abstract. The article is devoted to the study of spatial regularities of the intra-annual distribution of flow on the rivers of the Votkinsk Reservoir catchment in years differing in water content. An analysis of existing hydrological zoning schemes of the study area showed that they differ significantly from each other, both in the number of the identified taxonomic units and in the location of their boundaries. We revealed a discrepancy in the time of the onset of the water regime phases within the boundaries of taxa in the hydrological zoning scheme given in [15, 1973] due to their strong generalization.



Гидрология

Калинин В.Г., Механошина Е.В.

When using the scheme of A.S. Shklyayev [11, 1966], an analysis of the intra-annual distribution of flow is impossible due to the small number (1-5) of centers of gravity of river catchment areas falling into the districts. Therefore, we clarified the boundaries of the hydrological zoning of the study area. As the homogeneity criterion we used groups of hydrographs on rivers with the same dates of the beginning, maximum, and end of the spring flood and summer-autumn rain floods as well as the values of their monthly flow share in the annual flow.

A total of six regions have been identified: the northern mountainous region (the rivers Vishera, Berezovaya, Yazva, Yayva, Kosva, and the Upper Kolva); southern mountainous region (the Upper and Middle Chusovaya River with the tributaries Usva, Vilva, Vizhay, Koiva, Serebryannaya); northern lowland region (the rivers Chernaya, Veslyana, Lupya, the upper parts of the Kama, Lolog, Kosa, Urolka, Pilva, Visherka, the Middle and Lower Kolva); central lowland region (upper parts of the Kama River, basins of the Kondas, Inva, Obva rivers); south-eastern region (the basin of the Sylva River and the Lower Chusovaya River); southwestern region (watersheds of the small rivers Ocher, Tulva, Gaiva, Mulyanka). Within the selected areas, there is noted a correspondence in the time of the onset of the main phases of the water regime on the rivers.

We investigated the influence of ongoing climate changes on the intra-annual distribution of river flow in the Votkinskoe Reservoir catchment area for two observation periods (1956–1977 and 1978–2021), before and after the onset of pronounced changes in long-term fluctuations in annual runoff. For the period 1978–2021, on all rivers of the study area was revealed a decrease by 7.3% in the share of spring flow on average by region, and an increase in summer-autumn flow for the central and southern regions of the catchment area (from 13.6% to 26.4%) and winter flow (up to 22.9%).

Keywords: river, intra-annual flow distribution, hydrological zoning

For citation: Kalinin, V.G., Mekhanoshina, E.V. (2024). Territorial features of the intra-annual distribution of river flow on the Votkinsk Reservoir catchment. *Geographical Bulletin*. No. 3(70). Pp. 49–58. doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-49-58

Введение

Изучение пространственных закономерностей формирования речного стока и его внутригодового распределения является одним из необходимых условий для решения проблем водообеспечения населения и хозяйства, предотвращения или ослабления экстремальных гидрологических явлений, улучшения экологического состояния малых и средних рек, выполнения гидрологических расчетов при проектировании и строительстве гидротехнических и других объектов. Поэтому выделение районов с однородными условиями формирования речного стока является важной гидрологической задачей.

Районирование как универсальный метод изучения территориальных особенностей широко используется в гидрологии и имеет большое значение при классификации водных объектов. При районировании территорий основное внимание уделяется системе таксономических единиц, которые должны служить основой для анализа регионов [22]. Среди них чаще всего применяются принципы объективности, территориальной целостности, комплексности, однородности, генетического единства, сочетания зональных и азональных факторов [7; 14]. В гидрологии для этой цели используются: фазы водного режима, источники питания рек, форма гидрографа, ВГРС, среднегодовой расход воды, соотношение элементов водного баланса и т.д. [11].

Первые попытки выделения однородных по водному режиму районов с учетом физико-географических условий на территории нашей страны относятся к концу XIX – началу XX вв. [2; 17; 18]. В середине XX в. появились схемы районирования на основе деления рек по источникам питания, генетического расчленения гидрографа [5; 6; 13; 21], в которых выделены однородные по климатическим условиям и геолого-геоморфологической структуре обширные территории. Однако в этих схемах районирования не были отражены особенности формирования стока на водосборах средних и малых рек.

В изданиях «Ресурсов поверхностных вод» [15], представляющих научное обобщение данных о режиме водных объектов, проведена детализация схем районирования, выполненная на основе следующих критериев:

– коэффициент стока η – отношение величины стока к количеству выпавших на площадь водосбора осадков, обусловивших возникновение этого стока;

– коэффициент естественной зарегулированности φ – показатель неравномерности внутригодового распределения стока, который отражает величину базисного стока в годовом объеме стока, выраженного в долях от единицы. Численно коэффициент φ равен отношению площади гидрографа, расположенной ниже ординаты среднегодового расхода (базисный сток), к общей площади этого гидрографа (годовой сток). Базисная часть стока отражает естественную зарегулированность водосбора и его аккумулирующую способность [20].

В соответствии с особенностями водного режима рек по значениям коэффициентов η и φ на территории водосбора Воткинского водохранилища (рис. 1а) выделено 5 районов [15]:

I-й район – бассейны левых притоков р. Камы, стекающих со склонов Северного Урала: Вишеры, Колвы, Низьвы, Яйвы и др. Режим этих рек характеризуется относительно выровненным распределением стока внутри года. Коэффициенты естественной зарегулированности стока составляют 0,55–0,6,

Гидрология

Калинин В.Г., Механошина Е.В.

а коэффициенты стока $\eta = 0,50-0,70$. Большие площади этого района, сложенные известняками и гипсоносными породами, отличаются интенсивным развитием карста.

II-й район – бассейны рек Косьвы и Чусовой, а также бассейны верхнего и среднего течения р. Сылвы. Распределение стока этих рек внутри года характеризуется меньшей равномерностью ($\varphi = 0,45-0,50$, $\eta = 0,30-0,35$) по сравнению с реками I-го района из-за менее благоприятных условий подземного питания и уменьшения водоносности известняковых толщ. Незначительная регулирующая способность карста на Среднем Урале, по-видимому, обусловлена относительно небольшой толщиной карстующихся пород и тесной связью карстовых вод с поверхностными, что не способствует выравниванию стока внутри года [15].

III-й район – северные левые притоки р. Камы (реки Порыш, Весляна, Южная Кельтма, Пильва) и правый приток р. Колвы – р. Вишерка. Реки отличаются выровненным распределением стока внутри года ($\varphi = 0,55-0,65$, $\eta = 0,35-0,45$).

IV-й район – верхняя часть бассейна р. Камы до г. Перми (без северных левых притоков) – водосборы рек Косы, Иньвы, Обвы. Значения φ на реках района также довольно устойчивы ($0,40-0,45$), а коэффициент стока $\eta = 0,30-0,35$.

V-й район – бассейны рек, впадающих непосредственно в Воткинское водохранилище (реки Очер, Тулва, Сайгатка), а также бассейны левобережных притоков р. Сылвы (Ирени и Бабки). Значения φ на реках района составляют $0,45-0,50$, а коэффициент стока $\eta = 0,30-0,35$ [15].

Еще одна схема районирования территории водосбора Воткинского водохранилища составлена А.С. Шкляевым [11], в которой таксономические единицы выделены с учетом влияния местных условий на формирование речного стока (рис. 1б):

- страны – по источнику влаги, режиму атмосферных осадков и интенсивности увлажнения по В.А. Троицкому [21];
- зоны – по характеру водного баланса, соотношению испарения и стока;
- районы выделяются по особенностям местных условий, влияющих на сток (озерность, заболоченность, густота речной сети, закарстованность и т.д.);
- округа – таксономические единицы, являющиеся критерием однородности гидрологического режима рек [11].

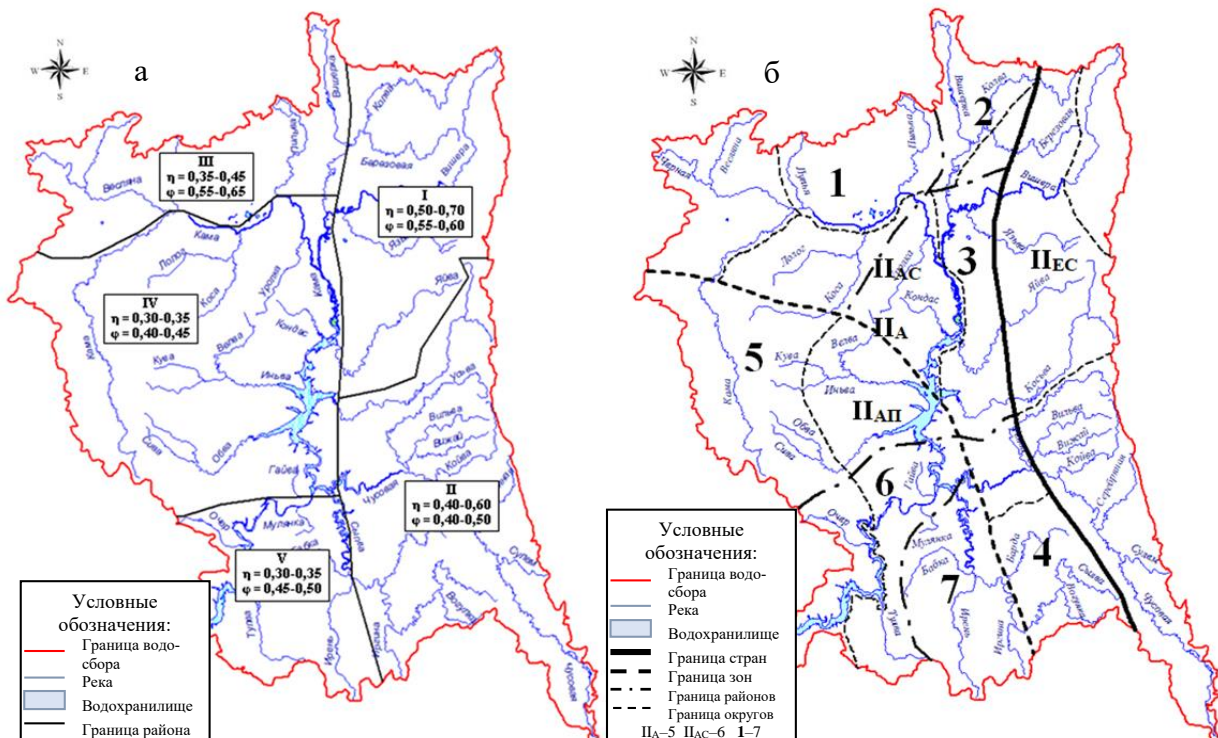


Рис. 1. Схема гидрологического районирования: а – по Ресурсам..., 1973 [15]; б – по схеме А.С. Шкляева [11]

(1 – границы стран, 2 – границы зон, 3 – границы округов, 4 – границы районов, 5 – страны, 6 – зоны, 7 – округа)

Fig. 1. Hydrological zoning scheme: а – according to [15, 1973]; б – according to the scheme of А.С. Shklyayev [11] (1 – country borders, 2 – zone boundaries, 3 – district boundaries, 4 – area boundaries, 5 – borders of the country, 6 – boundaries of the zone, 7 – boundaries of the district)

Гидрология

Калинин В.Г., Механошина Е.В.

Рассматриваемая территория по схеме гидрологического районирования относится к двум странам: Уральской горной (П_{ЕС}), занимающей восточные горные районы (одна провинция, один округ – Западно-Уральский и три района), и Западной Атлантической (П_А), охватывающей остальную территорию (две зоны (П_{АС}, П_{АП}), пятнадцать районов и семь округов: (Верхне-Камский, Колвинский, Камско-Вишерский, Нижне-Чусовской, Иньвинско-Обвинский, Средне-Камский, Нижне-Сылвинский) (рис. 16).

Из рис. 1 видно, что эти схемы значительно отличаются друг от друга как по количеству выделенных таксономических единиц, так и по местоположению их границ. Поэтому возникает вопрос: могут ли рассмотренные схемы районирования быть использованы для характеристики ВГРС?

Цель настоящего исследования – выявление пространственных закономерностей ВГРС на реках водосбора Воткинского водохранилища.

Исследуемая территория

Водосбор Воткинского водохранилища охватывает бассейн Верхней и Средней Камы и расположен на северо-востоке Европейской части России. Правобережная часть водосбора находится на Русской равнине, левобережная – в предгорьях и на западном склоне Уральских гор. Среди характерных черт водосбора Воткинского водохранилища можно выделить следующие: наличие хорошо выраженной широтной зональности на равнине и высотной поясности в горах Урала; распространение легко-растворимых пород (гипсы, ангидриды, известняки) на водосборах рек Колвы, Вишеры, Пильвы, Яйвы, Косьвы, Усьвы, Чусовой, Сылвы и Ирени, которое оказывает влияние на равномерность распределения стока внутри года и увеличение его естественной зарегулированности [8; 10; 15].

Преобладание западного переноса воздушных масс обуславливает характерное для исследуемой территории распределение осадков. Наибольшее количество осадков выпадает на хребтах и северо-западных склонах Уральских гор (1000–1200 мм). На Среднем Урале в северной возвышенной части годовые суммы осадков составляют 800–900 мм, в южной пониженной части – 600–700 мм, на равнинной территории Предуралья количество осадков убывает с севера на юг от 500 до 200 мм [15].

По водному режиму реки водосбора Воткинского водохранилища относятся к восточно-европейскому типу с четко выраженным весенним половодьем, дождевыми паводками в летне-осенний период и длительной устойчивой зимней меженью. Преимущественное питание – снеговое [13]. Большая часть годового объема стока приходится на теплую часть года. По схеме В.Г. Андреенова [1] бассейн р. Камы относится ко второй зоне со следующими границами сезонов: весна IV–VI, лето-осень VII–XI, зима XII–III. Однако, как показывают исследования ученых Пермского университета, особенности географического положения рассматриваемой территории и наличие вертикальной поясности в распределении основных климатических факторов в горной части водосбора вносят изменения в указанные границы сезонов, поэтому они приняты следующими: весна IV–VI, лето-осень VII–X, зима XI–III [11; 15].

Материалы и методы

Исходными данными для выделения районов с однородными условиями формирования речного стока послужили значения ежедневных, среднемесячных и среднегодовых расходов воды по 49 гидрологическим постам (г/п). По каждому г/п ряды со значениями среднегодовых расходов воды ранжировались в порядке убывания и делились на 3 группы характерной водности согласно СП 529.1325800 [16] многоводные ($P < 33,3 \%$), средние по водности ($33,3 \% \leq P \leq 66,7 \%$) и маловодные ($P > 66,7 \%$) годы.

В каждой группе характерной водности были выбраны несколько лет с таким расчетом, чтобы с одной стороны данные имелись для большинства гидрологических постов, а с другой – эти годы представляли как стационарный период, так и период современных климатических изменений (табл. 1).

Таблица 1

Годы разной водности

Years with different water content

Группы водности	Годы	Обеспеченность
Многоводные	1965, 1966, 1971, 1978, 1979, 1984, 1990, 1993, 2002, 2008, 2017, 2019	для 15 г/п – $P \leq 5 \%$, а для 34 г/п – $10 \% \leq P < 33,3 \%$
Средние	1968, 1972, 1973, 1981, 1983, 2000, 2003, 2004, 2006, 2009	для 49 г/п – $33,3 \% \leq P \leq 66,7 \%$
Маловодные	1970, 1973, 1975, 1976, 1977, 1982, 1988, 2010, 2011, 2012	для 32 г/п – $P \geq 95 \%$, а для 17 г/п – $67,5 \% \leq P \leq 95 \%$

Гидрология

Калинин В.Г., Механошина Е.В.

Анализ ВГРС выполнен по графикам ежедневных и среднемесечных расходов воды. Для каждого г/п были определены: даты начала, пика и окончания весеннего половодья; его продолжительность; средние значения расхода воды, объема и слоя стока за период весеннего половодья. Также были рассчитаны доли месячного стока в годовом и построены гидрографы за все исследуемые годы.

Результаты и их обсуждение

Для анализа ВГРС рек водосбора Воткинского водохранилища гидрографы, построенные для каждого г/п, были сгруппированы в соответствии с гидрологическим районированием, приведенным в Ресурсах... [15], а также по округам районирования А.С. Шкляева [11].

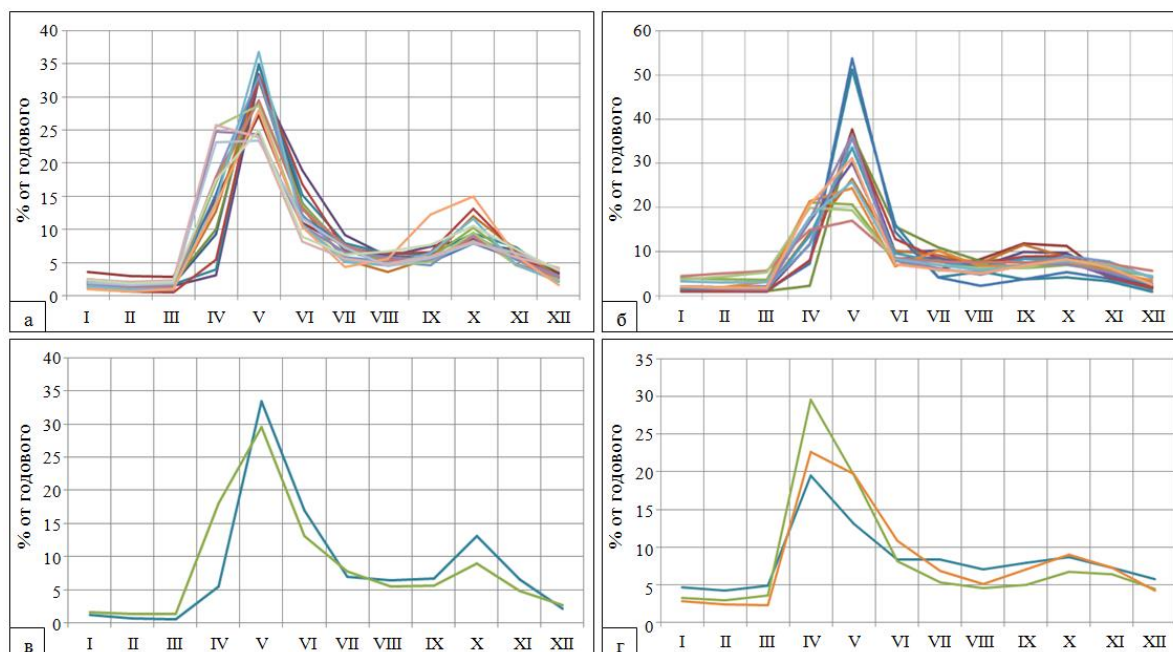


Рис. 2. Внутригодовое распределение стока рек в % от годового, сгруппированных по разным схемам районирования:

а – II район; б – IV район по схеме Ресурсы..., 1973 [15]; в – 2-й округ, г – 6-й округ по схеме А.С. Шкляева [11]

Fig. 2. Intra-annual distribution of river flow as percentage of the annual flow, grouped for different zoning schemes: а - region II, б - region IV according to the scheme from [15, 1973]; в - district 2, г - district 6 according to the scheme of A.S. Shklyayev [11]

В первом случае обнаружено несоответствие сроков начала, максимума, окончания весеннего половодья и летне-осенних дождевых паводков на разных реках (рис. 2а, б). Причиной, на наш взгляд, является сильная генерализация районов, связанная с применением карт мелкого масштаба.

При использовании схемы районирования А.С. Шкляева [11] в округа попадает очень мало (1–5) центров тяжести водосборов рек, на которых организованы наблюдения за стоком (рис. 2в, г), что затрудняет проведение анализа ВГРС.

Поэтому гидрографы были объединены в группы в соответствии со сроками 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 Воткинского водохранилища по однородности внутригодового распределения стока (рис. 3). По сравнению с районированием, приведенным в Ресурсах... [15] (рис. 1а), количество районов увеличилось и изменились их границы. Границы районов в горной части (рис. 3) практически совпадают со схемой А.С. Шкляева [11], но в то же время проведено укрупнение районов и уточнение их границ в равнинной части исследуемой территории (рис. 1б).

Всего выделено шесть районов (рис. 3, табл. 2). Для рек *северного горного района (1)* (реки Вишера, Березовая, Язьва, Яйва, Косьва и верхнее течение р. Колвы) характерно интенсивное увеличение стока весеннего половодья в третьей декаде апреля. Суммарный объем стока за весенний период составляет 52–68 % от годового. Средняя продолжительность весеннего половодья на реках изменяется от 53 до 65 сут. Сроки окончания весеннего половодья в среднем приходятся на третью декаду июня – первую декаду июля. Доля осенних (сентябрь–октябрь) дождевых паводков для рек

Гидрология

Калинин В.Г., Механошина Е.В.

северной горной территории составляет 9–19 % годового стока, доля стока летней межени – 8–15 %, зимней – 11–21 %.

Южный горный район (2) включает верхнее и среднее течения р. Чусовой с притоками Усьва, Вильва, Вижай, Койва, Серебряная и характеризуется увеличением стока со второй декады апреля. Суммарный объём стока за весенний период составляет 50–79 % от годового. Продолжительность весеннего половодья – 41–56 сут. Весеннее половодье заканчивается в среднем в первой декаде июня. На долю осенних паводков, наблюдаемых в сентябре–октябре, приходится 8–23 %, доля стока летней межени – 6–19 %, зимней – 7–22 %.

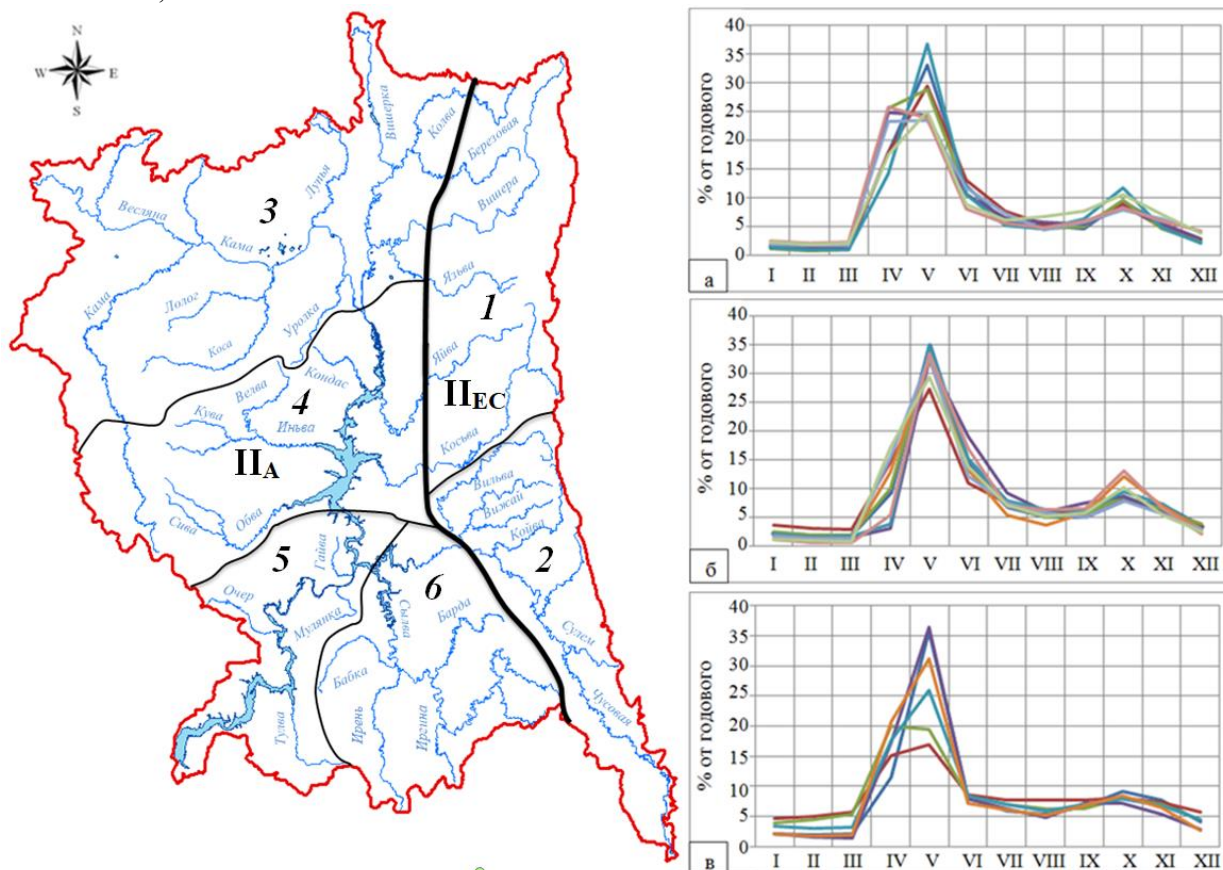


Рис. 3. Схема гидрологического районирования на основе ВГРС: а – ВГРС северного равнинного района; б – ВГРС центрального равнинного района; в – ВГРС юго-западного района

Fig. 3. Scheme of hydrological zoning based on intra-annual distribution of 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 рек **северного равнинного района (3)** (реки Черная, Весляна, Лупья, верхнее течение рек Кама, Лолог, Коса, Уролка, Пильва, Вишерка, среднее и нижнее течение р. Колвы) характерно интенсивное увеличение стока весеннего половодья во второй декаде апреля. Суммарный объём стока за весенний период – 52–77 % от годового. Средняя продолжительность весеннего половодья на реках изменяется от 51 до 64 сут. Сроки окончания весеннего половодья в среднем приходятся на вторую декаду июня. Доля осенних (сентябрь–октябрь) дождевых паводков – 7–20 %, доля стока летней межени – 5–16 %, зимней – 9–22 %.

Центральный равнинный район (4) включает верхнее течение р. Камы, бассейны рек Кондас, Иньвы, Обвы, для которых характерно увеличение стока с середины апреля. Эти реки отличаются повышенным стоком в апреле (до 26 % годового стока), что связано с предполоводной сработкой прудов на реках Иньве и Обве. Суммарный объём стока за весенний период – 51–82 % от годового, а продолжительность весеннего половодья – 35–45 сут. Сроки окончания весеннего половодья в среднем выпадают на первую декаду июня. На долю осенних дождевых паводков достается около 3–27 %, однако в некоторые годы эти значения могут быть выше или составлять такую же долю, как и в период весеннего половодья, доля стока летней межени – 2–13 %, зимней – 7–17 %.

Гидрология
Калинин В.Г., Механошина Е.В.

Таблица 2

Доля стока в % от годового для разных фаз водного в разные по водности годы
Share of runoff as % of annual runoff for different phases of the water regime in years differing in water content

№	Район	Группы водности								
		Многоводные			Средние			Маловодные		
		IV–VI	VII–X	XI–III	IV–VI	VII–X	XI–III	IV–VI	VII–X	XI–III
1	Северный горный	52–60	28–32	11–16	54–68	18–28	12–18	54–65	22–30	13–21
2	Южный горный	50–75	15–37	7–22	63–79	11–26	8–14	52–71	14–26	10–22
3	Северный равнинный	53–61	25–33	11–19	53–77	14–28	9–21	52–75	15–26	9–22
4	Центральный равнинный	51–65	25–37	10–17	68–82	9–17	9–16	69–87	5–16	8–15
5	Южный восточный	41–62	25–31	13–28	40–68	18–32	14–29	40–71	19–29	10–30
6	Южный западный	41–58	22–32	19–27	48–59	20–28	17–24	53–66	16–22	17–24

Юго–восточный район (5) включает бассейн р. Сылвы и нижнее течение р. Чусовой, для которых характерно непродолжительное весеннее половодье (вторая декада апреля – третья декада мая) с максимумом, наблюдаемым в мае, на долю которого приходится 40–71 % годового стока; на долю дождевых паводков в осенний период – 9–16 % годового стока, летней межени – 8–16 %, зимней – 10–30 %.

Юго–западный район (6) включает водосборы небольших по площади рек Очер, Тулова, Гайва, Мулянка, которые протекают по сильно урбанизированной территории и испытывают значительное антропогенное влияние на формирование стока. На этих реках увеличение стока наблюдается в феврале–марте (до 10 % годового стока). Суммарный объём стока за весенний период составляет 41–66 % от годового, продолжительность весеннего половодья на реках – 38–48 сут. Окончание весеннего половодья отмечается в третьей декаде мая. На долю дождевых паводков в осенний период приходится 9–19 % годового стока, на долю стока летней межени – 7–16 %, зимней – 17–27 %.

В пределах выделенных районов на реках наблюдается соответствие сроков наступления основных фаз водного режима, а следовательно, однородность внутригодового распределения стока.

Анализ доли стока разных фаз водного режима в % от годового для лет разной водности (табл. 2) показал, что в средние по водности годы доля стока весеннего половодья по сравнению с многоводными значительно увеличивается на реках 2, 3, 4 районов (на 7–30 %), достигая максимальных значений на малых реках Сива, Койва, Вильва, Сулем. В маловодные годы объем весеннего половодья изменяется незначительно (до 6 % в ту или иную сторону по сравнению со средними по водности годами).

Доля стока в летне-осенний период при уменьшении водности года снижается. На реках 2, 3, 4 районов на 9–28 %, на реках 1, 5, 6 районов – на 4–10 %. Доля стока зимнего периода в годы разной водности изменяется незначительно (1–5 %).

Отдельно следует отметить р. Очер (5 район) и реки Ирень, Иргина (6 район). Сток р. Очер зарегулирован каскадом прудов, что приводит к его перераспределению внутри года. Доля стока весеннего половодья снижается в разные по водности годы в среднем до 46 %, а доли летне-осеннего и зимнего стоков увеличивается до 27% и 24% соответственно.

Территории водосборов рек Ирень и Иргина сильно закарстованы с положительным подземным водообменом и значительной относительной водностью. Для этих рек характерно снижение доли стока весеннего половодья в среднем до 45 % и увеличение долей летне-осеннего и зимнего стоков до 29 и 26 % соответственно.

Для планирования использования водных ресурсов, обеспечения надежной эксплуатации гидротехнических сооружений и систем водоснабжения крайне важным является знание ВГРС различной обеспеченности, которое базируется на установленных закономерностях распределения стока рек по сезонам и внутри сезонов. При недостаточности или отсутствии наблюдений на исследуемом водотоке для приведения ряда к многолетнему периоду, удовлетворяющему понятию репрезентативности, при-

Гидрология

Калинин В.Г., Механошина Е.В.

меняется метод подбора реки-аналога. Одним из основных требований при выборе реки-аналога является однородность физико-географических условий формирования стока [16], которая учитывается в предложенной нами схеме гидрологического районирования (рис. 3).

Для оценки качества расчетов среднегодового объема воды по реке-аналогу, выбранного с учетом и без учета схемы гидрологического районирования, выполнен сравнительный анализ фактических и расчетных значений на независимом материале. С этой целью выбраны несколько гидрологических постов, данные по которым не использовались при построении схемы гидрологического районирования (табл. 3).

Выполненные расчеты показали, что при использовании схемы районирования в выборе реки-аналога ошибка вычисленного среднегодового объема воды составила от 5,8 до 9,8 % (табл. 3), а без учета схемы районирования – от 25 до 42 %.

Таблица 3

Результаты расчета среднегодового объема воды на независимом материале
Results of calculating the average annual volume of water using independent material

№	Местоположение водосбора	Гидрологический пост	Площадь водосбора	Среднегодовой объем воды м ³ /год		Ошибка, %
				вычисленный	фактический	
1	Северный горный	Яйва – Усть-Игум	5320	2432	2669	9,8
3	Северный равнинный	Лолог – Сергиевский	1600	294,5	266,3	9,6
4	Центральный равнинный	Иньва – Кудымкар	2050	328,9	310,8	5,8
6	Южный западный	Мулянка – Субботино	336	43,7	50,2	6,4

Отдельно следует рассмотреть вопрос о влиянии происходящих климатических изменений на ВГРС рек водосбора Воткинского водохранилища. Характеристика ВГРС дана для двух периодов – 1956–1977 и 1978–2021 гг. (табл. 4) – до и после момента начала выраженных изменений многолетних колебаний годового стока [9]. Анализ ВГРС (табл. 4) показал, что доля весеннего стока снизилась в среднем по районам на 7,3 %. Для летне-осеннего стока в северной горной и равнинной частях водосбора изменения практически отсутствуют, а в центральном и южных районах водосбора выявлено его увеличение – от 13,6 до 26,4 %. Наибольшие изменения зафиксированы для зимнего стока, который увеличился в среднем по территории на 22,9 %.

Таблица 4

Изменение внутригодового распределения стока для разновременных периодов по сезонам
Changes in the intra-annual runoff distribution by season for different periods

№	Район	Распределение годового стока по сезонам (в %) для периодов:						Разница между периодами, %		
		1956–1977 гг.			1978–2021 гг.					
		весна IV–VI	лето–осень VII–X	зима XI–III	весна IV–VI	лето–осень VII–X	зима XI–III	весна IV–VI	лето–осень VII–X	зима XI–III
1	Северный горный	58,6	26,8	14,6	58,0	26,3	15,7	–1,02	–1,87	7,53
2	Южный горный	65,9	23,5	10,6	60,5	26,7	12,8	–8,19	13,6	20,8
3	Северный равнинный	66,2	21,6	12,2	64,2	21,5	14,3	–3,00	–0,46	17,2
4	Центральный равнинный	74,6	16,3	9,10	66,4	20,6	13,0	–11,0	26,4	42,9
5	Южный восточный	67,3	19,6	13,1	61,5	23,2	15,3	–8,62	18,4	16,8
6	Южный западный	62,8	19,5	17,7	54,3	24,4	21,3	–13,5	25,1	20,3

Для центрального равнинного района перераспределение стока по сезонам внутри года оказалось наиболее выраженным – весенний сток снизился на 11,0 %, а летне-осенний и зимний сток увеличился на 26,4 и 42,9 % соответственно. Одной из причин явилось увеличение количества осадков в летне-осенний период и значительное повышение средней температуры воздуха в зимний сезон [4], что способствовало таянию снега и формированию поверхностного стока за период 1978–2021 гг.

Выводы

1. Для территории водосбора Воткинского водохранилища существуют две схемы гидрологического районирования, которые значительно отличаются друг от друга как по количеству выделенных таксономических единиц, так и по местоположению их границ. Группировка гидрографов по таксонам, приведенным в Ресурсах... (1973), показала несоответствие сроков начала, максимума, окончания весеннего половодья и летне-осенних дождевых паводков на разных реках вследствие сильной генерализации районов. При использовании схемы районирования А.С. Шкляева (1966) в округа попадает очень мало (1–5) центров тяжести водосборов рек, на которых организованы наблюдения за стоком, что затрудняет проведение анализа ВГРС.

Гидрология

Калинин В.Г., Механошина Е.В.

2. 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 явилось критерием районирования территории водосбора Воткинского водохранилища по однородности внутригодового распределения стока. В результате получена новая схема гидрологического районирования исследуемой территории.

3. Оценка качества расчетов среднегодового объема воды на независимом материале по реке-аналогу, выбранному с учетом схемы гидрологического районирования, показала, что ошибка вычислений искомой характеристики не превышает 9,8 %.

4. Для центрального равнинного и южных районов территории водосбора Воткинского водохранилища характерно перераспределение стока по сезонам внутри года за период 1978–2021 гг. по сравнению с периодом 1956–1977 гг. В этих районах весенний сток снизился в среднем на 10,3 %, а летне-осенний и зимний стоки увеличились на 20,9 и 25,2 % соответственно.

Библиографический список

1. Андриянов В.Г. Внутригодовое распределение речного стока. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 327 с.
2. Воейков А.И. Избранные сочинения. М.; Л., 1948. Т. 1. 751 с.
3. Гвоздецкий Н.А. Физико-географическое районирование СССР. М.: Изд-во МГУ, 1968. С. 118–155.
4. Гельфан А. Н., Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Мотовилов Ю.Г., Гусев Е.М. Влияние изменения климата на годовой и максимальный сток рек России: оценка и прогноз // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 7, №. 1. С. 36–79.
5. Давыдов Л.К. Классификация рек Средней Азии по типу их питания. Зап. ГГИ. Л., 1933. Т. 10. С. 143–151.
6. Зайков Б.Д. Средний сток и его распределение в году по территории СССР. Тр. НИУ ГУГМС. Л.; М., 1946. Сер. IV. Вып. 24. С. 67–95.
7. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высш. шк., 1991. 366 с.
8. Калинин В.Г. Водный режим камских водохранилищ и рек их водосбора в зимний сезон: монография. Пермь, 2014. 184 с.
9. 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, Вып. 4. С. 456–466.
10. Комлев А.М. Закономерности формирования и методы расчетов речного стока. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2002. 163 с.
11. Краткий справочник для гидрологических расчетов на реках Западного Урала (Водосбор Воткинского водохранилища). Перм. гос. ун-т им. А.М. Горького. Лаборатория воздухоз. проблем. Пермь, 1966. 160 с.
12. Кузин П.С. Классификация рек и гидрологическое районирование СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 456 с.
13. Львович М.И. Элементы режима рек земного шара. М.: Гидрометеиздат, 1945. 126 с.
14. Николаев В.А. Проблемы регионального ландшафтоведения. М.: МГУ, 1979. 160 с.
15. Ресурсы поверхностных вод СССР. Средний Урал и Приуралье. Кама. Л.: Гидрометеиздат, 1973. Т. 11, Вып. 1. 420 с.
16. СП «Определение основных расчетных гидрологических характеристик» от 11.09.2023 № 529.1325800 // Приказ Минстроя России. 11.09.2023 г. № 654.
17. Семенов-Тянь-Шанский В.П. Гидрологическая районизация Северной Евразии. Тр. первого Всерос. гидрол. съезда. Л., 1925. С. 150–151.
18. Семенов-Тянь-Шанский В.П. Опыт гидрологического районирования Азиатской части СССР на основе построения климатических зон // Изв. ГГИ. 1933. № 57–58. С. 71–80
19. Соколов А.А. Гидрография СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1952. 535 с.
20. Соколовский Д.Л. Гидрологические и воздухохозяйственные расчеты при проектировании малых ГЭС. Л.: Гидрометеиздат, 1946. 361 с.
21. Троицкий В.А. Гидрологическое районирование СССР. М.; Л., 1948. 112 с.
22. Физико-географическое районирование. 2-е. изд. М.: Изд-во МГУ, 1981. 127 с.

References

1. Andreyanov, V.G. (1960), *Vnutrigodovoye raspredeleniye rechnogo stoka* [Intra-annual distribution of river flow] Leningrad: Gidrometizdat Publ
2. Voyeykov, A.I. (1948), *Izbrannyye sochineniya* [Selected writings] Leningrad: Akad. nauk SSSR Publ
3. Gvozdetkiy, N.A. (1968), *Fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye SSSR* [Physico-geographical zoning of the USSR] Moskva: MGU Publ
4. Gelfan, A.N., Frolova, N.L., Magritskiy, D.V., Kireyeva, M.B., Grigor'yev, V. YU., Motovilov, YU.G., Gusev, Ye.M. (2021), *Vliyaniye izmeneniya klimata na godovoy i maksimal'nyy stok rek Rossii: otsenka i prognoz* [Climate change impact on annual and maximum runoff of Russian rivers: diagnosis and projections] in *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya* [Fundamental and applied climatology], vol. 7, no. 1, pp. 36–79
5. Davydov, L.K. (1933), *Klassifikatsiya rek Sredney Azii po tipu ikh pitaniya* [Classification of the rivers of Central Asia according to the type of their food] Leningrad: Gidrometizdat Publ
6. Zajkov, B.D. (1973), *Ocherki gidrologicheskikh issledovaniy v Rossii* [Essays on hydrological research in Russia] Leningrad: Gidrometizdat Publ
7. Isachenko, A.G (1991), *Landshaftovedeniye i fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye* [Landscape science and physical-geographical zoning] Moskva: Vysshaya shkola Publ
8. Kalinin, V.G. (2014), *Vodnyy rezhim kamskih vodohranilishchirekih vodosbora v zimniy jsezon: monografiya* [Water regime of Kama reservoirs and rivers of their catchment in the winter season: monograph] Perm: Perm Publ

Гидрология

Калинин В.Г., Механошина Е.В.

9. Kalinin, V.G., Chichagov, V.V., Gyrdymov, D.A. (2023), *Mноголетние колебания годового стока рек водосбора Верхней и Средней Камы* [Annual runoff long-term fluctuations in the rivers of the Kama reservoir catchment] in *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle* [Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences], vol. 33, no. 4, pp. 456–466
10. Komlev, A.M. (2002), *Zakonomernosti formirovaniya i metody raschetov rechnogo stoka* [Regularities of formation and methods of rivers runoff calculations] Perm: Perm Publ
11. *Kratkiy spravochnik dlya gidrologicheskikh raschetov na rekakh Zapadnogo Urala (Vodosbor Votkinskogo vodokhranilishcha)* (1966) [A Brief Reference for Hydrological Calculations on the Rivers of the Western Urals (Watershed of the Votkinsk Reservoir)] Leningrad: Gidrometizdat Publ.
12. Kuzin, P.S. (1960), *Klassifikatsiya rek i gidrologicheskoye rayonirovaniye SSSR* [Classification of rivers and hydrological zoning of the USSR] Leningrad: Gidrometizdat Publ.
13. L'vovich, M.I. (1945), *Elementy rezhima rek zemnogo shara* [Elements of the regime of the rivers of the globe] Moskva: Gidrometizdat Publ.
14. Nikolayev, V.A. (1979), *Problemy regional'nogo landshaftovedeniya* [Problems of regional landscape science] Moskva: MGU Publ.
15. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Srednij Ural i Priural'e. Kama* (1973), [Resources of the surface waters of the USSR. Middle Ural and the Urals. Kama], Leningrad: Gidrometizdat Publ.
16. *SP «Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik» ot 11.09.2023 № 529.1325800, Prikaz Ministroya Rossii* [Joint venture "Determination of basic calculated hydrological characteristics" dated 09/11/2023 No. 529.1325800 / The order of the Ministry of Construction of Russia. 09/11/2023, No. 654] Moskva: Moskva Publ.
17. Semenov–Tyan–Shanskiy, V.P. (1925), *Gidrologicheskaya rayonizatsiya Severnoy Yevrazii* [Hydrological regionalization of Northern Eurasia] *Trudy Pervogo Vserossiyskogo gidrologicheskogo syezda v Leningrade 7–14 maya 1924 g.*, no.1, pp. 150–151.
18. Semenov–Tyan–Shanskiy, V.P. (1933), *Opyt gidrologicheskogo rayonirovaniya Aziatskoy chasti SSSR na osnove postroyeniya klimaticheskikh zon* [Experience in hydrological zoning of the Asian part of the USSR based on the construction of climatic zones]
19. Sokolov, A.A. (1952), *Gidrografiya SSSR* [Hydrography of the USSR] Leningrad: Gidrometizdat Publ
20. Sokolovskiy, D.L. (1948), *Gidrologicheskiye i vodokhozyaystvennyye raschety pri proyektirovanii malykh GES* [Hydrological and water management calculations in the design of small hydroelectric power plants] Leningrad: Gidrometizdat Publ
21. Troitskiy, V.A. (1948) *Gidrologicheskoye rayonirovaniye SSSR* [Hydrological zoning of the USSR] Leningrad: Gidrometizdat Publ
22. *Fiziko–geograficheskoye rayonirovaniye* (1981) [Physiographic zoning] Moskva: MGU Publ

Статья поступила в редакцию: 13.10.2023, одобрена после рецензирования: 02.11.2023, принята к опубликованию: 12.09.2024.

The article was submitted: 13 October 2023; approved after review: 2 November 2023; accepted for publication: 12 September 2024.

Информация об авторах

Виталий Германович Калинин

доктор географических наук, заведующий кафедрой гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15
e-mail: vgkalinin@gmail.com

Екатерина Владимировна Механошина

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

Information about the authors

Vitaliy G. Kalinin

Doctor of Geographical Sciences, Head of the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068
e-mail: vgkalinin@gmail.com

Ekaterina V. Mekhanoshina

Assistant of the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia
e-mail: kattya_mehanoshina@mail.ru

Вклад авторов

Калинин В.Г. – идея статьи, научное редактирование текста, написание отдельных частей статьи. Механошина Е.В. – выполнение расчетов, обработка материала, написание отдельных частей статьи, подготовка иллюстраций.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Kalinin V.G. – the idea of the article; scientific editing; writing individual parts of the article. Mekhanoshina E.V. – calculations; processing of the scientific material; writing individual parts of the article; preparation of illustrations.

Conflict of interest. The authors declare that the conflict of interest is absent.