УДК 556.53 *https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-4-64-80*

Оригинальная статья/Original paper

Пространственно-временная изменчивость внутригодового распределения стока рек бассейна Верхней Оби

С. Ю. Самойлова[1], А. Б. Голубева[1], В. А. Казанцева[2]

bastet@iwep.ru

[1] *Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Барнаул, Россия*
[2] *Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия*

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Исследование закономерностей внутригодового распределения стока является актуальной научно-практической задачей. В условиях изменяющегося климата и антропогенного воздействия происходят существенные изменения водного режима рек, что затрудняет планирование водохозяйственных мероприятий и прогнозирование притока в водохранилища. В статье представлена оценка многолетней изменчивости естественной зарегулированности стока рек бассейна Верхней Оби (до Новосибирского водохранилища). **Методы.** В качестве показателя, отражающего естественную внутригодовую изменчивость, использован коэффициент естественной зарегулированности стока. Коэффициент рассчитывался как соотношение площади гидрографа, лежащей ниже ординаты среднегодового расхода, к общей площади гидрографа. В качестве исходных данных использованы расходы воды с суточным и месячным разрешением по 13 гидропостам за период с 1960 по 2020 г. **Результаты.** Среднемноголетние коэффициенты естественной зарегулированности стока исследуемых рек изменяются от 0,41 до 0,69 и зависят от средней высоты бассейна и типа водного режима. Для горных рек с алтайским типом водного режима, а также крупных рек с полизональным режимом характерны более высокие и стабильные в многолетнем масштабе значения коэффициентов зарегулированности. За период с 1960 по 2020 г. по всем гидропостам отмечается рост коэффициентов зарегулированности, в большинстве случаев тренд статистически достоверен на 1%-ном уровне. На р. Оби наблюдается рост стока зимней межени на 50 % и снижение половодья на 9 %. Полученные данные свидетельствуют о росте водности рек в период сработки водных ресурсов, что необходимо учитывать при планировании водохозяйственных мероприятий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бассейн Верхней Оби, водные ресурсы, водный режим, внутригодовое распределение стока, коэффициент естественной зарегулированности, климатические изменения

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследование выполнено в рамках базового госбюджетного проекта ИВЭП СО РАН.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Самойлова С. Ю., Голубева А. Б., Казанцева В. А. Пространственно-временная изменчивость внутригодового распределения стока рек бассейна Верхней Оби// Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2026. № 4. С. 64–80; https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-4-64-80; EDN: KFXVTH

© Самойлова С. Ю., Голубева А. Б., Казанцева В. А., 2026

Spatiotemporal Variability of Intra-Annual River Runoff Distribution in the Upper Ob Basin

Svetlana Yu. Samoilova[1], **Anastasia B. Golubeva**[1], **Vasilina A. Kazantseva**[2]

bastet@iwep.ru

[1] *Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia*
[2] *Altai State University, Barnaul, Russia*

ABSTRACT

Relevance. Studying the patterns of intra-annual runoff distribution is a pressing scientific and practical issue. Climate change and anthropogenic impacts cause significant alterations in river water regimes that makes the planning of water management measures and forecasting of reservoir inflows more difficult. The aim of this study is to assess the long-term variability of natural runoff regulation parameters in the Upper Ob River basin (up to the Novosibirsk Reservoir). **Methods.** The natural runoff regulation coefficient is used as an indicator reflecting the natural intra-annual variability. The coefficient is calculated as the ratio of the hydrograph area below the ordinate of the average annual discharge to the total hydrograph area. The initial information includes daily and monthly water discharge data for 1960–2020 from 13 gauging stations. **Results.** The average long-term natural flow regulation coefficients for the studied rivers range from 0.41 to 0.69 and depend on the average basin elevation and water regime type. Mountainous rivers with the Altai type of water regime, as well as large rivers with a polyzonal one are characterized by higher and more stable long-term flow regulation coefficients. The period from 1960 to 2020 shows an increase in flow regulation coefficients for all gauging stations; in most cases, the trend is statistically significant at the 1 % level. On the Ob River, a 50 % increase in winter low-water runoff and a 9 % decrease in flood flow are observed. The obtained data are evidence of an increasing river water content during the periods of water resource depletion that should be considered when planning water management measures.

KEYWORDS: Upper Ob basin, water resources, water regime, intra-annual flow distribution, natural flow regulation coefficient, climate change

FOR CITATION: Samoilova S. Yu., Golubeva A. B., Kazantseva V. A. Spatiotemporal Variability of Intra-Annual River Runoff Distribution in the Upper Ob Basin. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2026. No. 4. P. 64–80. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-4-64-80; EDN: KFXVTH

ВВЕДЕНИЕ

Характерной особенностью рек умеренного пояса с длительным устойчивым снежным покровом является значительная внутригодовая и межгодовая изменчивость стока, усложняющая использование водных ресурсов. Наиболее существенное влияние изменения климата на режим рек умеренного пояса проявляется в перераспределении стока между гидрологическими сезонами и смещении дат их наступления, при этом в большинстве случаев зна-

чимых тенденций в среднегодовых расходах не отмечается [1, 2]. В высоких северных широтах (выше 50° с.ш.), в Западной Сибири, отмечается заметное ослабление сезонности речного стока [2, 3]. С ростом зимних температур и сокращением периода залегания снежного покрова связана общая тенденция увеличения зимнего стока рек [4–7]. В то же время региональные исследования водного режима указывают на чрезвычайную неоднородность изменений стока в другие гидрологические сезоны, даже на уровне суббасейнов [1, 4, 8]. Исследование закономерностей этих изменений является важнейшей задачей для принятия решений по управлению водными ресурсами, прогнозирования сезонного стока и наполнения водохранилищ.

В качестве критерия, отражающего естественную внутригодовую изменчивость стока, часто используется коэффициент естественной зарегулированности (КЕЗ) φ, характеризующий долю базисного стока в годовом. Чем равномернее распределен сток в году, тем больше значение φ. КЕЗ может служить показателем устойчивого водообеспечения в период сработки водных ресурсов бассейна [9–12] и является ключевым показателем для решения управленческих задач при строительстве и эксплуатации водохранилищ [13].

Основным фактором, определяющим степень естественной зарегулированности стока рек, выступает климат. В первую очередь, насколько равномерно распределены в году осадки и какова доля твердых осадков, формирующих снеговое половодье. Для рек со значительной долей половодья в годовом стоке характерна высокая внутригодовая и межгодовая изменчивость стока и низкие коэффициенты естественной зарегулированности. Вторым важнейшим фактором является водопоглощающая способность речного бассейна: свойства почвогрунтов, определяющие их водопроницаемость, и, как следствие, долю подземного питания, а также степень заозеренности, заболоченности и залесенности бассейна. Установлено, что значение коэффициента естественной зарегулированности растет с юга на север при переходе от полупустынной зоны к лесной [14]. Значение КЕЗ больше в заболоченных бассейнах [11], в речных бассейнах со значительным озерным регулированием, а также в бассейнах, сложенных преимущественно хорошо проницаемыми для влаги песчаными грунтами [14]. Кроме того, высокие коэффициенты естественной зарегулированности характерны для рек с большой глубиной эрозионного вреза, распространением карста и повышенной долей подземного питания [10]. Большая степень естественной зарегулированности присуща и бассейнам крупных рек с полизональным режимом, расположенным в нескольких географических зонах.

Обобщающая работа по пространственной изменчивости коэффициентов естественной зарегулированности на территории России проведена сотрудниками МГУ [14]. На региональном уровне эти данные дают общее представление о внутригодовой изменчивости стока: так, равнинная часть исследуемо-

го бассейна, расположенная преимущественно в степной и лесостепной зонах (северо-западная часть Алтайского края и запад Новосибирской области) характеризуется значениями КЕЗ, равными 0,25–0,5, а предгорные и горные районы – 0,5–0,75. Исследование закономерностей изменчивости КЕЗ выполнялось также для отдельных рек бассейна Верхней Оби [3, 11, 12], однако детальных оценок на региональном уровне в последние десятилетия не проводилось.

Цель представленного в статье исследования – оценка многолетней изменчивости показателей естественной зарегулированности стока рек бассейна Верхней Оби (до Новосибирского водохранилища).

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является р. Обь в верхнем течении (до створа в г. Камень-на-Оби) и ее притоки (рис. 1, табл. 1), включая крупные, средние и малые реки. Район исследования – один из наиболее освоенных и населенных в Сибири, ресурсы речного стока играют важную роль в развитии его экономики.

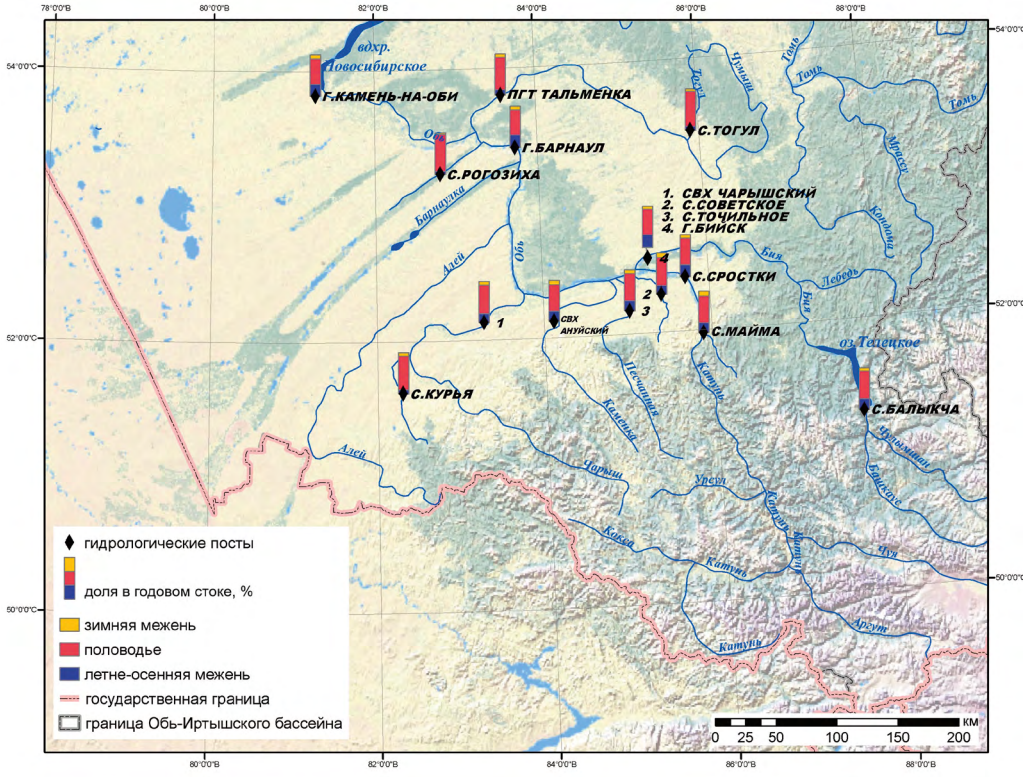


Рис. 1. Объекты исследования
Fig. 1. Study objects

Поверхностный сток р. Оби и ее притоков формирует приток в крупнейшее в Западной Сибири Новосибирское водохранилище, которое является водохранилищем сезонного регулирования. В последние десятилетия из-за особенностей водного режима наблюдается ряд проблем, связанных как с пропуском больших расходов, так и с недостаточным обеспечением водой водопользователей в маловодные периоды [15].

Основной объем притока в верхний бьеф Новосибирского водохранилища (гидропост р. Обь – г. Камень-на-Оби) формируется за счет поверхностного стока реками Катунь, Бия, Чарыш и Чумыш (табл. 1). Их доля в совокупности составляет около 85 %, изменяясь от 52–55 % в зимние месяцы до 92–97 % в половодье (апрель – июнь).

Выше Новосибирского гидроузла на р. Оби и ее притоках, за исключением р. Алей, крупные водохранилища отсутствуют. Из-за влияния подпора Новосибирского водохранилища в створе гидропоста (г/п) г. Камень-на-Оби для анализа внутригодовой изменчивости р. Оби выбран г/п в г. Барнауле.

Таблица 1. Характеристика исследуемых рек и их бассейнов [16, 17]
Table 1. Characteristics of the studied rivers and their basins [16, 17]

Река	Гидропост	Площадь бассейна до створа гидропоста, км^2	Среднегодовой расход воды, м^3/с	Среднегодовой слой стока, мм	Средняя высота бассейна, м	Озерность, %	Заболоченность, %	Лесистость, %
Бия	г. Бийск	36 900	477	407	1370	–	–	–
Чулышман	с. Балыкча	16 600	156	297	2030			
Катунь	с. Сростки	58 400	629	340	1770	–	–	–
Майма	с. Майма	780	8,7	352	670	0	0	45
Каменка	с. Советское	1730	12,0	220	480	0	0	5
Песчаная	с. Точильное	4720	32,4	216	920	0	менее 5	40
Ануй	свх Ануйский	4870	31,1	201	790	0	0	20
Чарыш	свх Чарышский	20 700	194	296	793	0	менее 5	15
Локтевка	с. Курья	1020	8,0	249	430	–	–	30
Касмала	с. Рогозиха	1650	2,07	40	230	1	5	20
Чумыш	пгт Тальменка	20 600	144	220	289	–	–	–
Тогул	с. Тогул	1200	12,8	337	350	–	менее 5	20
Обь	г. Барнаул	169 000	1470	274	–	–	–	–

Характерной чертой бассейна Верхней Оби является разнообразие рельефа. По физико-географическому районированию западная и северо-западная части бассейна относятся к степной и лесостепной зональным областям, южную и юго-восточную часть занимает северный макросклон Алтайской горной области, а северную и северо-восточную – невысокие западные отроги Салаиро-Кузнецко-Алатусской горной области. Реки региона имеют весьма разнообразные условия формирования водного режима, при этом определяющим фактором является абсолютная высота бассейна.

Бассейны стекающих с Алтайской горной области рек имеют сложное геоморфологическое строение и включают несколько высотных зон. По классификации Б. Д. Зайкова, эти реки относятся к алтайскому типу водного режима, для которого характерно многопиковое, растянутое во времени половодье, что связано с неравномерным таянием снега в разных высотных зонах. Начало половодья приходится на конец марта – начало апреля (на Чулышмане – вторая половина апреля). Продолжительность половодья зависит от амплитуды высот в бассейне и составляет от 2–3 месяцев на малых реках в низкогорной зоне (Майма, Каменка) до 3,5–5 месяцев (Чарыш, Бия, Катунь). В летне-осенний период часто наблюдаются дождевые паводки, зимняя межень низкая и устойчивая. Левобережные притоки Оби, бассейны которых располагаются на равнине (Барнаулка, Касмала, Алей), по характеру питания и внутригодовому распределению стока относятся к восточно-европейскому типу водного режима с высоким весенним половодьем, низкой летне-осенней меженью с дождевыми паводками и устойчивой зимней меженью. Схожий тип водного режима имеет р. Чумыш и ее притоки, берущие начало на низкогорном Салаирском хребте и имеющие преимущественно равнинные бассейны.

Бия, Катунь и Обь являются крупными реками полизонального режима с преобладающими чертами алтайского типа.

В качестве исходных данных были использованы ряды среднесуточных (6 г/п) и среднемесячных (13 г/п) расходов воды на реках Верхнеобского бассейна с минимальными пропусками в рядах наблюдений. Для крупных рек (Бия, Катунь, Чарыш, Чумыш) отобраны данные по замыкающим створам, пропуски восстанавливались по бассейнам-аналогам. Источники данных – материалы государственного водного кадастра[1] [16, 17], фонд АИС ГМВО[2] и электронная сеть гидрографических данных для Арктического региона R-ArcticNET[3]. Период – с 1960 по 2020 г.

Традиционно для расчета коэффициента естественной зарегулированности используется кривая продолжительности суточных расходов воды. Расходы воды (ординаты) выражаются в долях от среднего многолетнего расхода, а продолжительность стояния (абсциссы) – в долях от года. Коэффициент естественной зарегулированности φ представляет собой отношение площади графика кривой продолжительности до ординаты, равной единице, к общей площади кривой продолжительности суточных расходов воды [9, 11, 18]. В данной работе расчет КЕЗ выполнен в соответствии с методикой, описанной в [10, 14, 19]. Коэффициент рассчитывался как отношение площади гидрографа, расположенной ниже ординаты среднегодового расхода (базисный сток),

1 Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1. Реки и каналы. Т. 1. Российская Федерация. Вып. 10. Бассейны Оби (без бассейна Иртыша), Надыма, Пура, Таза. Новосибирск. 1967–1988.

2 Электронный ресурс: https://gmvo.skniivh.ru (дата обращения: 1.04.2025).

3 Электронный ресурс: https://www.r-arcticnet.sr.unh.edu/v4.0/Tiles/arctic9.html (дата обращения: 1.05.2025).

к общей площади гидрографа (годовой сток) (рис. 2). Расчет выполняли как по среднесуточным (для 6 постов), так и по среднемесячным (для всех постов) данным с последующим сравнительным анализом результатов [10].

Многолетняя изменчивость коэффициентов естественной зарегулированности оценивалась с помощью линейных трендов. Оценка значимости трендов выполнялась по соотношению коэффициента корреляции r и его средней квадратичной ошибке σ_r. Если $r/\sigma_r > 2$, тренд значим при уровне значимости 5 %; при $r/\sigma_r > 3$ тренд значим при уровне значимости 1 %[4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выполненный ранее анализ годового и сезонного стока рек бассейна Верхней Оби за период с начала 1960-х до начала 2020-х годов выявил существенные изменения водного режима, связанные с потеплением климата, которые проявляются в повсеместном увеличении расходов зимней межени и их дисперсии. Для отдельных горных водосборов северного макросклона Алтайской горной области отмечен рост расходов половодья и летне-осенней межени, связанный, очевидно, с общим ростом увлажненности территории [20]. Вместе с тем для р. Оби и ее крупного притока р. Чумыш характерно снижение объема и максимальных расходов половодья [21, 22]. Наблюдаемые изменения, несомненно, указывают на увеличение степени естественной зарегулированности стока.

На первом этапе были рассчитаны ежегодные коэффициенты естественной зарегулированности (КЕЗ) стока φ на основании данных среднесуточных и среднемесячных расходов воды за период 1960–2020 гг. по гидрологическим постам, имеющим наиболее полный ряд наблюдений: р. Бия – г. Бийск, р. Обь – г. Барнаул, р. Чумыш – пгт Тальменка, р. Чарыш – свх Чарышский, р. Ануй – свх Ануйский, р. Касмала – с. Рогозиха. На рис. 2 представлены примеры расчетов КЕЗ для рек Чарыш (алтайский тип водного режима) и Чумыш (восточно-европейский тип). Обе относятся к средним рекам, площадь водосборов около 20 тыс. км^2.

Далее был проведен корреляционный анализ коэффициентов φ, рассчитанных разными способами (рис. 3, табл. 2). Установлено, что во всех случаях связь характеризуется коэффициентами корреляции r более 0,90, а ошибка составляет не более 8,4 %, что позволяет использовать для оценки КЕЗ среднемесячные данные о расходах воды. Согласно исследованиям в бассейне Волги [10], при расчете КЕЗ по среднемесячным данным ошибка составляет не более 10 %, для бассейна Припяти – еще ниже, менее 3 % [19], что ожидаемо ввиду относительно малой внутригодовой изменчивости стока р. Припяти и ее притоков (КЕЗ от 0,7 до 0,9).

4 Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. СПб.: Нестор-История, 2010. 162 с.

При расчете по среднемесячным данным, по сравнению со среднесуточными, значения коэффициентов завышены на 3–7 %. Аналогичные закономерности установлены в [19], причем чем выше значение КЕЗ, тем меньше ошибка.

Таблица 2. Результаты сравнительного анализа КЕЗ, рассчитанных по среднемесячным и суточным данным

Table 2. Results of the comparative analysis of natural regulation coefficients calculated from monthly and daily average data

Пункт наблюдения	Среднемноголетнее значение КЕЗ по среднемесячным данным, φ мес	Среднемноголетнее значение КЕЗ по суточным данным, φ сут	Ошибка, %	R^2	r
Ануй – Ануйский	0,68	0,66	3,5	0,93	0,96
Бия – Бийск	0,62	0,63	5,2	0,84	0,92
Касмала – Рогозиха	0,41	0,38	8,4	0,94	0,97
Обь – Барнаул	0,67	0,65	3,8	0,9	0,95
Чарыш – Чарышский	0,61	0,59	4,3	0,9	0,95
Чумыш – Тальменка	0,54	0,52	5,2	0,95	0,97

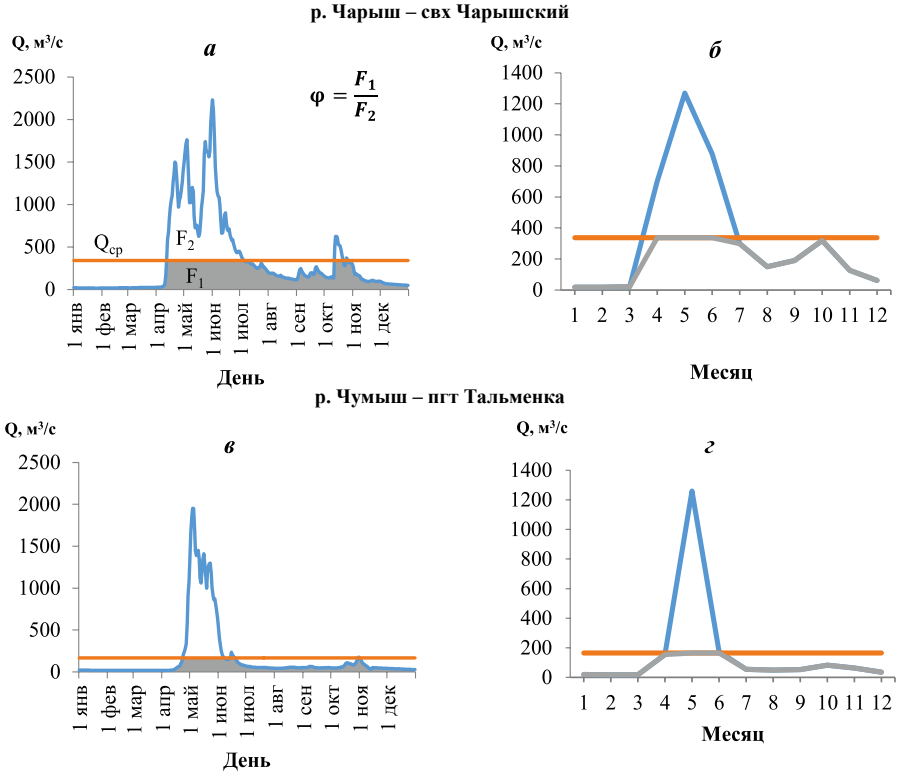


Рис. 2. Коэффициенты естественной зарегулированности стока р. Чарыш – свх Чарышский (вверху) и р. Чумыш – пгт Тальменка (внизу): *а, в* – рассчитанные по суточным данным; *б, г* – рассчитанные по среднемесячным данным. Многоводный 1969 г.

Fig. 2. Natural flow regulation coefficients for the Charysh River – Charyshsky farm (top) and the Chumysh River – Talmenka settlement (bottom): *a, c* – calculated from daily data; *b, d* – calculated from monthly average data in 1969 (high-water year)

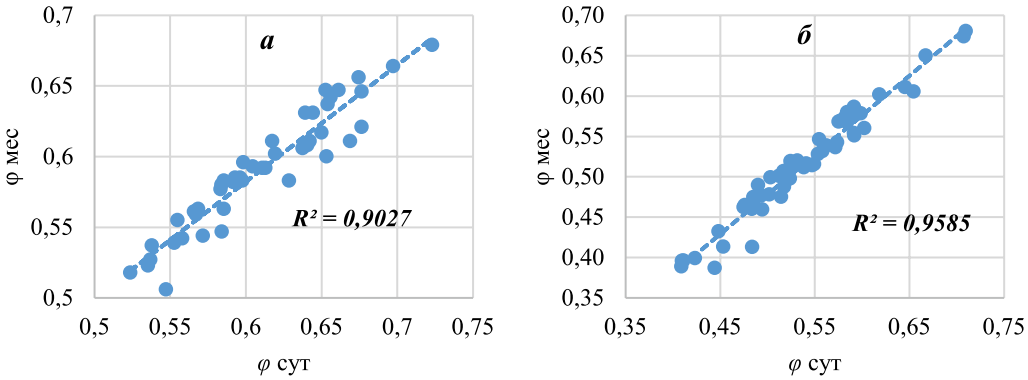


Рис. 3. Связь коэффициентов естественной зарегулированности, рассчитанных по среднесуточным и среднемесячным данным: *а* – р. Чарыш – свх Чарышский; *б* – р. Чумыш – пгт Тальменка

Fig. 3. Relationship between natural flow regulation coefficients calculated based on daily and monthly average data: *a* – the Charysh River – Charyshsky farm; *b* – the Chumysh River – Talmenka settlement

Дальнейший расчет коэффициентов естественной зарегулированности и анализ их временной динамики выполнялся по данным о среднемесячных расходах воды по 13 гидропостам. Среднемноголетние КЕЗ исследуемых рек изменяются от 0,41 до 0,69 (табл. 3). Прослеживается тесная прямая связь КЕЗ и доли подземного питания реки, которую характеризует доля зимней межени в годовом стоке. При этом с увеличением доли половодья КЕЗ снижаются (рис. 4).

Минимальные коэффициенты естественной зарегулированности характерны для равнинных или преимущественно равнинных рек – Касмалы, Локтевки, Тогула, Чумыша. Для них же характерна высокая межгодовая изменчивость КЕЗ: коэффициенты вариации от 12 до 22 %.

На реках Алтайской горной области наблюдается высокая степень естественной зарегулированности: орографическая неоднородность горных бассейнов, большой перепад высот, неравномерность таяния снега способствуют более равномерному распределению стока в безледоставный период. В большинстве случаев (за исключением р. Чулышман) КЕЗ превышают 0,60. Коэффициенты вариации не превышают 9 %, а связь КЕЗ с водностью года не прослеживается, что свидетельствует об относительной стабильности доли базисного стока в многолетнем масштабе. Высокая степень естественной зарегулированности левых притоков Оби (реки Ануй, Песчаная и др.), вероятно, связана со значительным распространением известняков и наличием карста.

В целом для рек Алтайской горной области величина КЕЗ находится в обратной зависимости от средней высоты бассейна (рис. 5). Этот результат можно считать предварительным, т. к. анализ проводился для ограниченного числа гидропостов. Использованы данные только по замыкающим створам рек, формирующим основной приток в Новосибирское водохранилище, а также расположенным в наиболее населенных районах. В анализе не участвовали реки со

значительной долей ледникового питания, что актуально в условиях потепления климата и деградации оледенения. Связь коэффициентов зарегулированности стока с заозеренностью и заболоченностью на данном этапе проанализировать весьма затруднительно по причине их незначительной изменчивости. Значимой связи с лесистостью, площадью водосбора и водоносностью рек не прослеживается.

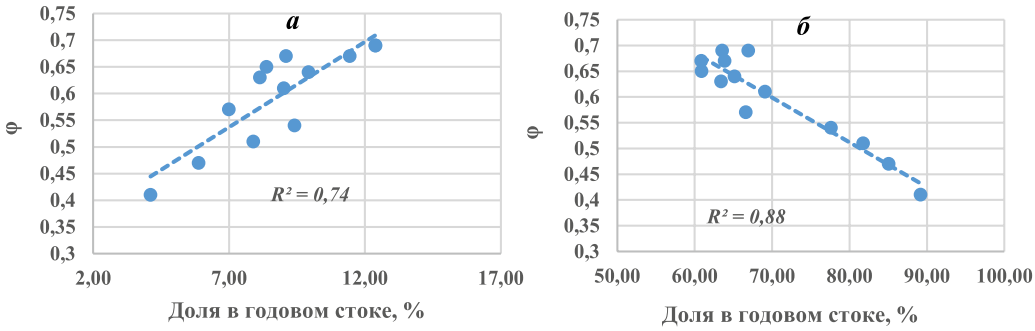


Рис. 4. Связь КЕЗ и доли в годовом стоке: *а* – зимней межени; *б* – половодья

Fig. 4. Relationship between natural regulation coefficients and shares in the annual runoff: *a* – of the winter low water; *b* – of the flood

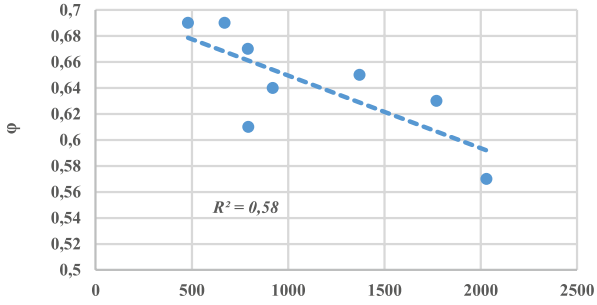


Рис. 5. Связь КЕЗ и средней высоты бассейнов

Fig. 5. Relationship between natural regulation coefficients and average basin elevation

Анализ многолетних (1960–2020 гг.) тенденций показал повсеместный устойчивый рост значений коэффициентов естественной зарегулированности (табл. 3). В большинстве случаев тренды статистически достоверны на 1%-ном уровне. Следует отметить, что по результатам исследований в бассейне р. Волги статистически значимый рост КЕЗ характерен для 25 % случаев [10]. Рост коэффициентов естественной зарегулированности на реках умеренного пояса связан в основном с увеличением меженного стока, преимущественно зимнего, что вызвано ростом температур холодного периода, снижением глубины промерзания почв и, как следствие, ростом доли подземного питания рек [5, 8, 23]. Так, в ранее выполненных исследованиях показано, что на р. Оби вышеописанные изменения водного режима начали проявляться начиная с 1982–1983 гг. [21].

Таблица 3. Параметры изменчивости значений КЕЗ за период 1960–2020 гг.
Table 3. Variability parameters of natural regulation coefficients for the period 1960–2020

Река	Пост	КЕЗ (φ)	Cv	Уравнение тренда	r	r/σ_r
Бия	г. Бийск	0,65	5,9	y = 0,0005x + 0,64	0,25	2,01
Чулышман	с. Балыкча	0,57	6,9	y = 0,0007x + 0,55	0,35	3,04
Катунь	с. Сростки	0,63	6,0	y = 0,0008x + 0,60	0,39	3,48
Майма	с. Майма	0,69	8,6	y = 0,0019x + 0,64	0,55	6,14
Каменка	с. Советское	0,69	9,1	y = 0,0016x + 0,65	0,47	4,56
Обь	г. Барнаул	0,67	5,7	y = 0,0009x + 0,64	0,43	4,00
Песчаная	с. Точильное	0,64	8,8	y = 0,001x + 0,61	0,31	2,58
Ануй	свх Ануйский	0,67	8,1	y = 0,0014x + 0,63	0,44	4,05
Чарыш	свх Чарышский	0,61	8,4	y = 0,0005x + 0,59	0,18	1,40
Локтевка	с. Курья	0,52	17,3	y = 0,0022x + 0,46	0,42	3,89
Касмала	с. Рогозиха	0,41	21,9	y = 0,0012x + 0,37	0,25	1,93
Чумыш	пгт Тальменка	0,54	12,6	y = 0,002x + 0,48	0,53	5,59
Тогул	с. Тогул	0,49	17	y = 0,0024x + 0,42	0,51	5,37

– тренд незначим

– тренд значим на 5 % уровне

– тренд значим на 1 % уровне

Для количественной оценки изменчивости внутригодового распределения стока р. Оби в створе г/п г. Барнаул были построены и проанализированы осредненные гидрографы за периоды, соответствующие полным циклам водности (рис. 6). На протяжении всего периода, с 1960 по 2020 г., отмечено постепенное увеличение зарегулированности стока. Наиболее показательно сравнение циклов 1968–1982 гг. и 2012–2022 гг. Каждый включает годы, близкие к максимальным (1969 г. и 2013 г.) и минимальным (1974 г. и 2012 г.) по водности. Среднемноголетний расход в обоих случаях составляет 1480 $м^3/с$ и соответствует норме стока. Коэффициент естественной зарегулированности вырос на 7 %: с 0,64 до 0,69. При этом средний расход зимней межени увеличился на 50 %: с 300 $м^3/с$ (период 1968–1972 гг.) до 450 $м^3/с$ (период 2012–2022 гг.), а средний расход половодья снизился с 2910 до 2650 $м^3/с$ (на 9 %). Средний расход летне-осенней межени практически не изменился и остался на уровне 1240–1250 $м^3/с$.

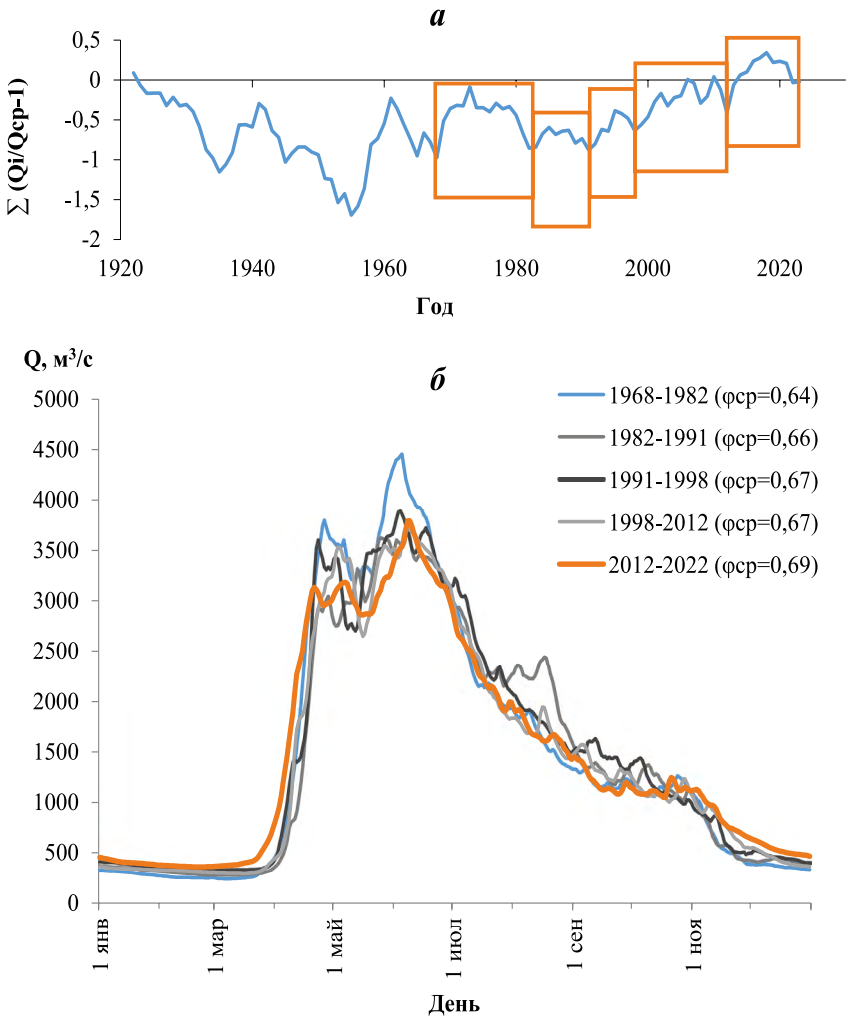


Рис. 6. Разностная интегральная кривая р. Оби у г. Барнаула (*а*); осредненные гидрографы р. Обь – г/п г. Барнаул (*б*)

Fig. 6. Difference integral curve of the Ob River near Barnaul (*a*); Averaged hydrographs of the Ob River – Barnaul (*b*)

Наблюдаемые изменения водного режима р. Оби проявляются в снижении рисков наводнений от снеговых половодий [24] и более устойчивом обеспечении водными ресурсами в маловодный период.

ВЫВОДЫ

Пространственная дифференциация показателей коэффициента естественной зарегулированности стока исследуемых рек определяется преимущественно орографическими условиями их бассейнов и, как следствие, типом водного режима. Для рек, стекающих с северного макросклона Алтайской гор-

ной области (алтайский тип водного режима), как внутригодовая, так и межгодовая изменчивость стока менее выражены: среднемноголетние КЕЗ – от 0,57 до 0,69, а их коэффициенты вариации не превышают 9 %. На равнинных реках (восточно-европейский тип) показатели коэффициентов естественной зарегулированности установлены в диапазоне от 0,41 до 0,54, а их коэффициенты вариации достигают 20 % и более.

По всем гидропостам, независимо от типа водного режима и площади водосбора, за период с 1960 по 2020 г. отмечается рост коэффициента естественной зарегулированности. В большинстве случаев тренд статистически достоверен на 1%-ном уровне. Увеличение степени естественной зарегулированности свидетельствует о росте водности рек в период сработки водных ресурсов и связано преимущественно с климатическими изменениями.

Полученные результаты отражают региональные закономерности внутригодовой изменчивости стока рек Алтая. Расширение перечня исследуемых гидропостов с переходом от интегральных показателей (КЕЗ) к сезонным компонентам (половодье, летне-осенняя и зимняя межень) в перспективе позволит уточнить роль климатических факторов в трансформации водного режима на уровне суббассейнов. Особый интерес, на наш взгляд, представляет анализ водного режима притоков со значительной долей ледникового питания в условиях деградации оледенения.

Снижение внутригодовой изменчивости стока р. Оби в целом благоприятно для гидроэкологической безопасности региона. Рост доли базисного стока свидетельствует о более устойчивом обеспечении водными ресурсами в маловодный период, а сглаживание половодья снижает риски наводнений. В то же время снижение объемов половодий может создавать дефицит водных ресурсов в периоды наполнения Новосибирского водохранилища. Результаты исследования могут быть использованы в качестве обоснования для корректировки правил использования водных ресурсов водохранилища, актуализации схем комплексного использования и охраны водных объектов, а также при разработке адаптационных мер к изменению климата на региональном уровне.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no relevant conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hannaford J., Buys G. Trends in seasonal river flow regimes in the UK // Journal of Hydrology. 2012. Vol. 475. P. 158–174. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.09.044
2. Wang H., Liu J., Klaar M., Chen A., Gudmundsson L., Holden J. Anthropogenic climate change has influenced global river flow seasonality // Science. 2024. Vol. 383. No. 6686. P. 1009–1014. https://doi.org/10.1126/science. adi9501

3. Паромов В. В., Савельева Н. И., Василевская Л. Н. Процессы макроциркуляции и изменение речного стока в бассейнах Верхней и Средней Оби // Вестник Томского государственного университета. 2001. № 274. С. 69–77.
4. Chang H., Jung I. W. Spatial and temporal changes in runoff caused by climate change in a complex large river basin in Oregon // Journal of Hydrology. 2010. Vol. 388. No. 3–4. P. 186–207. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.040
5. Kalyuzhnyi I. L., Lavrov S. A. Basic physical processes and regularities of winter and spring river runoff formation under climate warming conditions // Russian Meteorology and Hydrology. 2012. Vol. 37. No. 1. P. 47–56. https://doi.org/10.3103/S1068373912010074
6. Rottler E., Francke T., Bürger G., Bronstert A. Long-term changes in central European river discharge for 1869–2016: impact of changing snow covers, reservoir constructions and an intensified hydrological cycle // Hydrology and Earth System Sciences. 2020. Vol. 24. P. 1721–1740. https://doi.org/10.5194/hess-24-1721-2020
7. Sivokhip Z. T., Pavleychik V. M., Chibilev A. A. Changes in River Runoff during Winter Low Water Periods in the Basin of the Ural River // Doklady Earth Sciences. 2021. Vol. 499. No. 2. P. 703–707. https://doi.org/10.1134/S1028334X2108016X
8. Фролова Н. Л., Киреева М. Б., Агафонова С. А., Евстигнеев В. М., Ефремова Н. А., Повалишникова Е. С. Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории России и его изменение // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 4. С. 4–20. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2015-4-1
9. Ахмедова Н. Р., Валл Е. В., Наумов В. А. Расчет коэффициента естественной зарегулированности стока рек Калининградской области по результатам наблюдений 2020 г. // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Науки о Земле. 2023. Т. 45. С. 3–14. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.45.3
10. Фролова Н. Л., Агафонова С. А., Нестеренко Д. П., Повалишникова Е. Л. Естественная зарегулированность стока рек бассейна Волги в условиях меняющегося климата // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 6. С. 32–49. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2013-6-3
11. Галахов В. П. Влияние болот бассейна Оби на естественную зарегулированность поверхностного стока // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: труды Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 25-летнему юбилею Института водных и экологических проблем СО РАН. Барнаул, 2012. Т. 1. С. 30–33.
12. Юшкина О. А., Земцов В. А. Влияние режима стока рек и степени его естественной зарегулированности на параметры динамических систем речных бассейнов // Вестник Томского государственного университета. 2008. № 316. С. 213–218.
13. Гречушникова М. Г., Самохин М. А., Эдельштейн К. К. Техногенный потенциал регулирования стока рек России // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 4. С. 18–34. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2017-4-2
14. Фролова Н. Л., Нестеренко Д. П., Шенберг Н. В. Внутригодовое распределение стока рек России // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. 2010. № 6. С. 8–16.
15. Савкин В. М. Регулирование экстремального стока Верхней Оби Новосибирским водохранилищем // География и природные ресурсы. 2018. № 4. С. 115–121. https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-4(115-11)
16. Ресурсы поверхностных вод. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1: Реки и каналы. Т. 1: РСФСР. Вып. 10: Бассейны Оби (без бассейна Иртыша), Надыма, Пура, Таза / под ред. Ж. С. Попова. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 542 с.
17. Ресурсы поверхностных вод. Т. 15. Основные гидрологические характеристики. Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан. Вып. 1. Верхняя и Средняя Обь / под ред. Е. П. Шурупа. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 542 с.

18. Наумов В. А. Расчет коэффициента естественной зарегулированности стока река Преголи // Вестник НМС. 2020. № 19. Стр. 55–61. https://doi.org/10.26897/2618-8732-2020-19-55-61
19. Волчек А. А., Парфомук С. И., Сидак С. В. Особенности внутригодового распределения стока рек бассейна Припяти // Вестник Брестского государственного технического университета. Сер.: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. 2020. № 2 (120). С. 2–9.
20. Самойлова С. Ю., Ловцкая О. В., Голубева А. Б. Оценка стационарности годового и сезонного стока рек бассейна Верхней Оби // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 5. С. 21–38. https://doi.org/10.35567/19994508-2024-5-21-38
21. Самойлова С. Ю., Мардасова Е. В., Коломейцев А. А. Изменение гидрологических характеристик р. Оби под влиянием климатических изменений в 1922–020 гг. (по данным наблюдений в г. Барнауле) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2025. Т. 336. № 4. С. 75–88. https://doi.org/10.18799/24131830/2025/4/4698
22. Седова Е. Ю., Самойлова С. Ю. Изменение ресурсов речного стока под влиянием природно-климатических и антропогенных факторов (на примере р. Чумыш) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2025. № 4. С. 44–60. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2025-4-44-60
23. Джамалов Р. Г., Фролова Н. Л., Телегина Е. А. Изменение зимнего стока рек европейской части России // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 6. С. 581. https://doi.org/ 10.7868/S0321059615060036
24. Самойлова С. Ю., Казанцева В. А. Динамика наводнений на реке Оби в черте города Барнаула // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2025. № 3. С. 35–49. https://doi.org/10.35567/19994508-2025-3-35-49

REFERENCES

1. Hannaford J., Buys G. Trends in seasonal river flow regimes in the UK. *Journal of Hydrology*. 2012. Vol. 475. pp. 158–174. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.09.044
2. Wang H., Liu J., Klaar M., Chen A., Gudmundsson L., Holden J. Anthropogenic climate change has influenced global river flow seasonality. *Science*. 2024. Vol. 383. No. 6686. P. 1009–1014. https://doi.org/10.1126/science.adi9501
3. Paromov V. V., Savelyeva N. I., Vasilevskaya L. N. Macro/circulation processes and changes in river runoff of the Upper and Middle Ob basins. *Bulletin of Tomsk State University*. 2001. No. 274. P. 69–77.
4. Chang H., Jung I. W. Spatial and temporal changes in runoff caused by climate change in a complex large river basin in Oregon. *Journal of Hydrology*. 2010. Vol. 388. No. 3–4. P. 186–207. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.040
5. Kalyuzhnyi I. L., Lavrov S. A. Basic physical processes and regularities of winter and spring river runoff formation under climate warming conditions. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2012. Vol. 37. No. 1. P. 47–56. https://doi.org/10.3103/S1068373912010074
6. Rottler E., Francke T., Bürger G., Bronstert A. Long-term changes in central European river discharge for 1869–2016: impact of changing snow covers, reservoir constructions and an intensified hydrological cycle. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2020. Vol. 24. P. 1721–1740. https://doi.org/10.5194/hess-24-1721-2020
7. Sivokhip Z. T., Pavleychik V. M., Chibilev A. A. Changes in River Runoff during Winter Low Water Periods in the Basin of the Ural River. *Doklady Earth Sciences*. 2021. Vol. 499. No. 2. P. 703–707. https://doi.org/10.1134/S1028334X2108016X
8. Frolova N. L., Kireeva M. B., Agafonova S. A., Evstigneev V. M., Efremova N. A., Povalishnikova E. S. Intra-annual distribution of lowland river runoff in European Russia and its change. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2015. No. 4. P. 4–20. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2015-4-1

9. Akhmedova N. R., Vall E. V., Naumov V. A. The calculation of the coefficient of natural river runoff regulation in Kaliningrad oblast based on observation results of 2020. *Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences*. 2023. Vol. 45. P. 3–14. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.45.3
10. Frolova N. L., Agafonova S. A., Nesterenko D. P., Povalishnikova E. L. Natural regulation of river runoff in the Volga basin under climate change. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2013. No. 6. P. 32–49. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2013-6-3
11. Galakhov V. P. The Impact of the Ob basin wetlands on natural regulation of surface runoff // Water and Environmental Problems of Siberia and Central Asia: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation Dedicated to the 25th Anniversary of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS: in 3 volumes. Barnaul, 2012. Vol. 1. P. 30–33.
12. Yushkina O. A., Zemtsov V. A. The influence of river runoff regime and the degree of its natural regulation on the parameters of dynamic systems of river basins. *Bulletin of Tomsk State University*. 2008. No. 316. P. 213–218.
13. Grechushnikova M. G., Samokhin M. A., Edelshtein K. K. Technogenic potential of river flow regulation in Russia. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2017. No. 4. P. 18–34. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2017-4-2
14. Frolova N. L., Nesterenko D. P., Shenberg N. V. Intra-annual distribution of river runoff in Russia. *Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography*. 2010. No. 6. P. 8–16.
15. Savkin V. M. Regulation of the Upper Ob extreme flow by the Novosibirsk Reservoir. *Geography and Natural Resources*. 2018. No. 4. P. 115–121. https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-4(115-11)
16. Surface Water Resources. Long-term data on the regime and resources of inland surface waters. Part 1: Rivers and canals. Vol. 1: RSFSR, Iss. 10: Ob (excluding the Irtysh basin), Nadym, Pur, Taz basins / edited by Zh. S. Popov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. 542 p.
17. Surface Water Resources. Vol. 15. Main Hydrological Characteristics. Altai, Western Siberia, and Northern Kazakhstan. Part 1. Upper and Middle Ob / Edited by E. P. Shurup. Leningrad: Gidrometoizdat, 1975. 542 p.
18. Naumov V. A. The calculation of the coefficient of natural flow regulation of the Pregola River. *Newsletters of Scientific and Methodological Council in Environmental Engineering and Water Management*. 2020. No. 19. P. 55–61. https://doi.org/10.26897/2618-8732-2020-19-55-61
19. Volchek A. A., Parfomuk S. I., Sidak S. V. Features of the intra-annual distribution of river runoff in the Pripyat basin. *Bulletin of Brest State Technical University. Series: Water Management Construction, Heat Power Engineering and Geo/ecology*. 2020. No. 2 (120). P. 2–9.
20. Samoilova S. Yu., Lovtskaya O. V., Golubeva A. B. Assessment of the stationarity of annual and seasonal river runoff in the Upper Ob basin. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2024. No. 5. P. 21–38. https://doi.org/10.35567/19994508-2024-5-21-38
21. Samoilova S. Yu., Mardasova E. V., Kolomeytsev A. A. Changes in hydrological characteristics of the Ob River caused by climate change in 1922–2020 (based on observations in Barnaul). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo/resources Engineering*. 2025. Vol. 336. No. 4. P. 75–88. https://doi.org/10.18799/24131830/2025/4/4698
22. Sedova E. Yu., Samoilova S. Yu. Changes in river runoff resources under the Influence of natural, climatic, and anthropogenic factors (by the example of the Chumysh River) *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2025. No. 4. P. 44–60. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2025-4-44-60
23. Dzhamalov R. G., Frolova N. L., Telegina E. A. Changes of winter river runoff in the European part of Russia. *Water Resources*. 2015. Vol. 42, No. 6. P. 581. https://doi.org/10.7868/S0321059615060036
24. Samoilova S. Yu., Kazantseva V. A. Flood dynamics on the Ob River within the city of Barnaul. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2025. No. 3. P. 35–49. https://doi.org/10.35567/19994508-2025-3-35-49

Сведения об авторах:

Самойлова Светлана Юрьевна, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1; https://orcid.org/0000-0002-3365-0048; e-mail: bastet@iwep.ru

Голубева Анастасия Борисовна, младший научный сотрудник, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1; https://orcid.org/0000-0002-3942-1350; e-mail: apticagolub@yandex.ru

Казанцева Василина Александровна, студентка 2-го курса магистратуры, ФГБУ ВО «Алтайский государственный университет», г. Барнаул, пр. Ленина, 69; https://orcid.org/ 0009-0006-4512-4324; e-mail: vol.vasilisa.kaz@gmail.com

About the authors:

Svetlana Yu. Samoilova, Ph.D. in Geography, Senior Researcher, Institute for Water and Environmental Problems (SB RAS), 1, Molodezhnaya St., 656038, Barnaul, Russia; https://orcid.org/0000-0002-3365-0048; e-mail: bastet@iwep.ru

Anastasia B. Golubeva, Junior Researcher, Institute for Water and Environmental Problems (SB RAS), 1, Molodezhnaya St., 656038, Barnaul, Russia; https://orcid.org/0000-0002-3942-1350; e-mail: apticagolub@yandex.ru

Vasilina A. Kazantseva, second-year student of the Master's Studies, Altai State University, 69, Lenin Ave., Barnaul, Russia; https://orcid.org/ 0009-0006-4512-4324; e-mail: vol.vasilisa.kaz@gmail.com

Поступила в редакцию / Received 01.06.2026.
Поступила после рецензирования / Revised 07.07.2026.
Принята к публикации / Accepted 24.07.2026.