



УДК 004.9:556.53(470.26)  
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.45.3>

## Расчет коэффициента естественной зарегулированности стока рек Калининградской области по результатам наблюдений 2020 г.

Н. Р. Ахмедова\*

*Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия*

Е. В. Валл

*ООО ГЕОинжиниринг, г. Калининград, Россия*

В. А. Наумов

*Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия*

**Аннотация.** Эффективное управление водными ресурсами бассейна реки невозможно без сведений о внутригодовом распределении стока и его закономерностях. Для анализа внутригодового распределения стока рек используют графики изменения расхода по времени и кривые обеспеченности среднесуточных расходов. Долю базисного стока в рассматриваемом году оценивают с помощью коэффициента естественной зарегулированности стока. Данный коэффициент учитывают при решении инженерных и научных задач. Величину коэффициента естественной зарегулированности стока определяют по графику кривой обеспеченности среднесуточных расходов или иным приближенным методом. В среде Mathcad рассчитываются значения коэффициента естественной зарегулированности стока для рек Калининградской области по результатам наблюдений средних суточных расходов в 2020 г., полученным из Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов Российской Федерации по восьми гидрологическим постам. Установлено, что 2020 г. в Калининградской области отличался низкой водностью, и в этих условиях искомый коэффициент оказался заметно выше, чем у рек Северо-Запада России (исключение составили реки Инстроч и Злая). Отмечается, что коэффициент имеет тесную стохастическую связь с отношением среднего и максимального расхода реки, а тенденция его роста связана с увеличением площади водосборного бассейна.

**Ключевые слова:** Калининградская область, средние суточные расходы, гидрограф, естественная зарегулированность стока, Инстроч, Дейма.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 22-27-20016.

**Для цитирования:** 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. Серия Науки о Земле. 2023. Т. 45. С. 3–14. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.45.3>

## Calculation of the Coefficient of Natural Regulation of River Flow in the Kaliningrad Region Based on the Results of Observations in 2020

N. R. Akhmedova\*

*Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russian Federation*

E. V. Wall

*LLC GEOengineering, Kaliningrad, Russian Federation*

V. A. Naumov

*Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russian Federation*

**Abstract.** Effective management of water resources in the river basin is impossible without information about the intra-annual distribution of runoff and its regularities. To analyze the intra-annual distribution of river discharge, graphs of the change in flow over time and curves for the provision of average daily discharges are used. The share of the basic runoff in the year under consideration is estimated using the coefficient of natural flow regulation (CNFR). The CNFR is taken into account when solving engineering and scientific problems. The value of CNFR is determined according to the graph of the supply curve for average daily expenses or by another approximate method. This article uses a previously developed method for calculating CNFR in the Mathcad environment. The values of CNFR for the rivers of the Kaliningrad region are calculated based on the results of observations of average daily discharges in 2020 obtained from the Automated Information System for State Monitoring of Water Bodies of the Russian Federation for eight hydrological posts. It has been established that 2020 in the Kaliningrad region was characterized by low water content. Under these conditions, the CNFR of the rivers of the region turned out to be noticeably higher than that of the rivers of the North-West of Russia. The exception was the rivers Instruch and Zlaya. It is determined that CNFR has a close stochastic relationship with the ratio of the average and maximum flow of this river. The growth trend of CNFR can be traced with an increase in the area of the catchment area.

**Keywords:** Kaliningrad region, average daily expenses; hydrograph; natural flow regulation, Instruch, Deima.

---

**For citation:** Akhmedova N.R., Wall E.V., Naumov V.A. Calculation of the Coefficient of Natural Regulation of River Flow in the Kaliningrad Region Based on the Results of Observations in 2020. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2023, vol. 45, pp. 3-14. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.45.3> (in Russian)

---

### Введение

Научно обоснованное планирование комплексного использования водных ресурсов бассейна реки требует знания закономерностей внутригодового распределения стока [Assessment of hydrological ... , 2019; Changes in streamflow ... , 2021; Developing observational methods ... , 2020; Impact of intra-annual ... , 2021; Inter- and intra-annual ... , 2020; Responses of intra-annual ... , 2021; Savichev, Moiseeva, 2018; Wrzesiński, Sobkowiak, 2018]. Этой цели служат типовые (характерные) гидрографы – графики изменения расхода по времени, которые строят для различных природно-географических условий. Кроме гидрографов, для анализа внутригодового распределения стока используют кривые обеспеченности среднесуточных расходов ( $k - P$ ), где  $k$  – модульный коэффициент среднесуточного расхода,  $P$  – вероятность его превышения в рассматриваемый год.

Долю базисного стока в рассматриваемом году оценивают с помощью коэффициента естественной зарегулированности стока (КЕЗС), который широко используется при решении инженерных и научных задач [Иофин, 2006; Recent changes ... , 2017; Volchak, Parfomuk, Sidak, 2020].

Понятие коэффициента естественной зарегулированности стока (обычно обозначают буквой  $\varphi$ ) ввел Д. Л. Соколовский [1968]. Величина  $\varphi$  рассчитывается как площадь под кривой  $(k - P)$ , ограниченная горизонталью  $k = 1$ . КЕЗС представляет собой базисную часть стока в рассматриваемом году.

З. К. Иофин [2006] полагает, что КЕЗС отражает экологически значимую точку на кривой  $k - P$ , так как КЕЗС может служить оценкой стоковой способности реки в период сработки водных ресурсов бассейна. В своей работе [Иофин, 2006] представил зависимость коэффициента  $\varphi$  от площади бассейна рек Северо-Запада России и сделал предположение, что разброс точек на графике зависимости связан с влиянием на коэффициент  $\varphi$  болот, озер, почв на водосборе.

В [Сикан, Малышева, 2008] представлены результаты изучения влияния степени озерности  $f_{оз}$  на КЕЗС на примере бассейнов рек Северо-Запада России. В данной работе установлено, что при увеличении  $f_{оз}$  растет значение КЕЗС (коэффициент парной корреляции больше 0,7). Получена эмпирическая зависимость КЕЗС рек Северо-Запада России от степени озерности (при  $f_{оз} > 3\%$ ) [Сикан, Малышева, 2008]:

$$\varphi = 1 - 0,5 \exp(-0,061 \cdot f_{оз}). \quad (1)$$

Речной бассейн в [Юшкина, Земцов, 2008], как и в [Islam, Sivakumar, 2002], характеризуется сложной нелинейной динамической системой, которая генерирует ряд стока в замыкающем створе реки. В данных работах на примере семи сибирских рек показано, что значения динамических параметров бассейнов сильно зависят от КЕЗС.

В последние годы распределение годового стока рек европейской части России сильно изменилось. Например, в результате исследования особенностей распределения годового стока Волжского бассейна в [Recent changes ... , 2017] было установлено, что произошло уменьшение стока весеннего половодья и увеличение значения подземного стока. Данное изменение авторы [Там же] связывают с тем, что КЕЗС за последние 30 лет увеличился примерно на 30 % по сравнению с аналогичным предыдущим периодом.

В [Volchak, Parfomuk, Sidak, 2020] рассматривается КЕЗС при изучении неравномерности распределения внутригодового стока рек бассейна р. Припять на основе данных измерений с 10 гидрологических постов. Также указывается, что после 1970–1983-х гг. произошло увеличение КЕЗС на 15–56 % для всех рек бассейна р. Припять. Авторы полагают, что КЕЗС рек может служить важным фактором гидроэкологической безопасности территории.

В [Эгизов, Ордобаев, Пархоменко, 2013] представлены результаты изучения зависимости КЕЗС от водности на примере рек Кыргызстана. Водность года рек Кыргызстана определяется, главным образом, объемом стока во время весеннего половодья, поэтому увеличение водности приводит к

уменьшению доли базисного стока и снижению КЕЗС. В маловодные годы пик половодья понижается, возрастает доля меженного стока, КЕЗС увеличивается.

Зависимость КЕЗС от гидрографических, морфометрических, климатических и ландшафтных факторов исследована в [Фролова, Нестеренко, Шенберг, 2010]. В работе проведено районирование территории России по данным более чем 900 гидрометрических постов. Интересно, что на карте в [Фролова, Нестеренко, Шенберг, 2010] помечено, что для Калининградской области нет данных. Кстати, и в [Иофин, 2006; Сикан, Малышева, 2008] характеристики рек Калининградской области не учитывались.

Таким образом, КЕЗС является важным комплексным параметром, который характеризует водный режим водотока.

Цель данной статьи – расчет КЕЗС для рек Калининградской области с помощью современных информационных технологий и анализ его особенностей на примере 2020 г.

## Материалы и методы

Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов Российской Федерации (АИС ГМВО)<sup>1</sup> в июле 2022 г. разместила на своих интернет-ресурсах массивы ССРВ 2020 г. российских рек.

Полтора года АИС ГМВО затрачивает на проверку результатов наблюдений и исправление ошибок. На водотоках Калининградской области такие данные имеются только по восьми гидрологическим постам (ГП) (рис. 1), сведения о которых показаны в табл. 1.

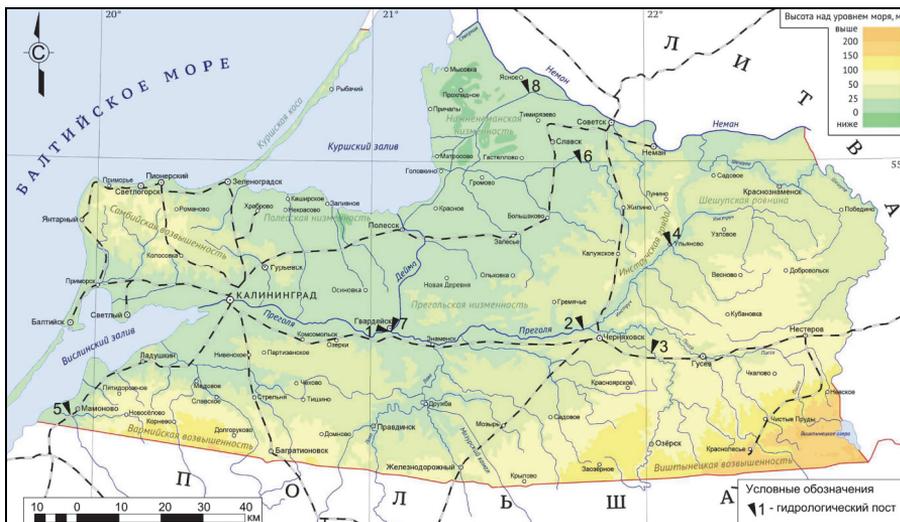


Рис. 1. Схема постов наблюдения за расходом воды рек Калининградской области в 2020 г.

<sup>1</sup> Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. URL: <https://gmvo.skniihv.ru/> (дата обращения: 11.11.2022).

Таблица 1

Гидрологические посты Калининградской области, на которых получены измерения ССРВ в 2020 г.<sup>2</sup>

Водоток	ГП	Расстояние (км) от		А, км <sup>2</sup>	Открыт, год
		истока	устья		
Река Преголя	Гвардейск	67,0	56,0	13 600	1869
Река Преголя	Черняховск	1,0	122,0	5210	1886
Река Анграпа	Берестово	139,0	30,0	2460	1894
Река Инструч	Ульяново	51,0	50,0	587	1885
Река Мамоновка	Мамоново	45,0	6,20	300	1959
Река Злая	Приозерье	50,0	12,0	142	1961
Рукав Дейма	Гвардейск	0,0	37,0	–	1839
Рукав Матросовка	Мостовое	19,0	24,0	–	1968

Примеры гидрографов 2020 г. двух рек Калининградской области представлены на рис. 2 и 3. Обращаем внимание, что в 2020 г. реки области имели низкую водность. Так, средний годовой расход р. Инструч (ГП Ульяново) в 2020 г. составил 1,59 м<sup>3</sup>/с, тогда как среднее значение за 120 лет наблюдений равно 3,73 м<sup>3</sup>/с.

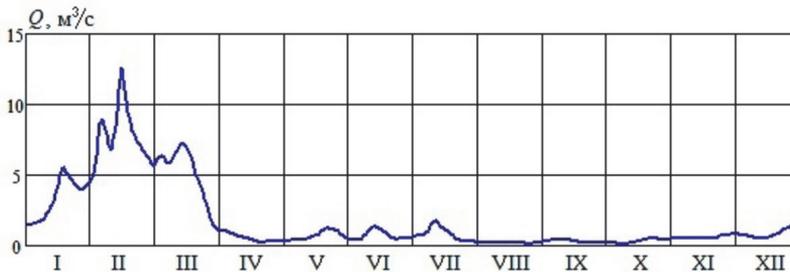


Рис. 2. Гидрограф р. Инструч (ГП Ульяново) 2020 г.

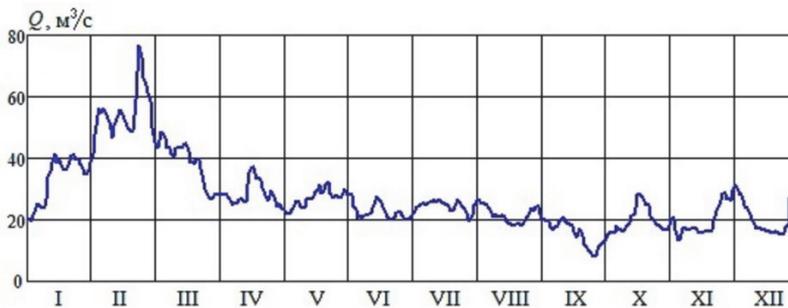


Рис. 3. Гидрограф р. Деймы (ГП Гвардейск) 2020 г.

<sup>2</sup> Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 11.11.2022).

В последние годы в Калининградской области уменьшилось количество ГП, выполняющих наблюдения ССРВ. С 2014 г. не действуют два ГП: река Нельма – ГП Кострово и р. Голубая – ГП Угрюмово. Отсутствуют данные о ССРВ 2020 г., есть наблюдения только за уровнем воды: р. Лава – ГП Родники, р. Писса – ГП Зеленый Бор, р. Шешупе – ГП Долгое, р. Неман – ГП Советск, рукав Дейма – ГП Полесск. Если ГП Советск, ГП Полесск и ранее выполняли наблюдения только за уровнем воды, то на остальных названных ГП расчет ССРВ в последние годы прекращен.

Авторы [Фролова, Нестеренко, Шенберг, 2010] отмечают: «так как способы определения значений КЕЗС по суточным данным довольно трудоемки, была предпринята попытка вычислить этот коэффициент по месячным данным». Понятно, что при обработке ежедневных данных 900 постов без применения современных информационных технологий объем расчетов оказался чрезвычайно большим, и от него отказались. При использовании среднемесячных значений ошибка расчета КЕЗС достигала 10 %. Наши расчеты показали, что для калининградских рек указанная ошибка будет еще больше.

В [Наумов, 2020] был предложен метод определения КЕЗС в среде Mathcad по массиву средних суточных расходов воды (ССРВ) в реке. Разработанный метод позволяет выполнять массовые расчеты с весьма высокой точностью. Был произведен расчет КЕЗС р. Преголи (гидрологический пост (ГП) Гвардейск) за 12 лет (2007–2018 гг.) и установлено, что величина КЕЗС р. Преголи заметно выше, чем у рек других регионов Северо-Запада России. У реки Преголи не получилось заметного убывания КЕЗС с ростом водности, в отличие от результатов [Эгизов, Ордобаев, Пархоменко, 2013; Фролова, Нестеренко, Шенберг, 2010]. Скорее всего, это связано с особенностями гидрологического режима рек Калининградской области [Наумов, 2022].

Расчет КЕЗС с применением современных информационных технологий включает несколько этапов. Первый из них – это подготовка массива суточных расходов. Данные из АИС ГМВО в среде Mathcad преобразуем в матрицу-столбец  $Q$ . В табл. 2 представлена часть полученной полной матрицы ССРВ 2020 г.

Таблица 2

Матрица ССРВ рек Калининградской области 2020 г., м<sup>3</sup>/с<sup>3</sup>

Дата	Номер ГП							
	1	2	3	4	5	6	7	8
01.01	63,0	15,5	10,7	1,51	1,9	0,68	19,7	80,9
02.01	61,9	15,1	9,9	1,51	1,86	0,7	20,3	75,8
03.01	57,7	14,7	9,65	1,51	1,9	0,72	19,6	74
04.01	60,7	14,7	9,65	1,53	1,99	0,7	21,3	74,6
05.01	67,7	15,5	9,65	1,55	2,09	0,72	23,9	82,2
...	...	...	...	...	...	...	...	...
27.12	59,6	18,7	12,4	1,51	1,1	1,93	27,4	52
28.12	42,5	19,9	14,4	1,67	1,1	1,87	20,8	58,9

<sup>3</sup> Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 11.11.2022).

Дата	Номер ГП							
	1	2	3	4	5	6	7	8
29.12	42,5	18,5	12,7	1,77	0,81	1,99	20,8	60,6
30.12	43,6	18,7	12,4	1,85	0,79	1,84	20,9	63,3
31.12	49,5	18,7	15,2	1,91	0,79	1,9	22,8	64,4

Эмпирическая зависимость  $k - P$  в среде Mathcad формируется несколькими операторами. Вероятности превышения и модульные коэффициенты ССРВ рассчитываем по формулам:

$$P_i := \frac{n-i+1}{n}; Q_s := \text{mean}(Q), k_{1_i} := \frac{Q_i}{Q_s}, \quad (2)$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ;  $n$  – количество дней в году.

Ранжируем значения модульных коэффициентов по возрастанию:

$$k := \text{sort}(k_{1_i}). \quad (3)$$

Примеры эмпирических зависимостей, построенные по формулам (2)–(3), показаны на рис. 4.

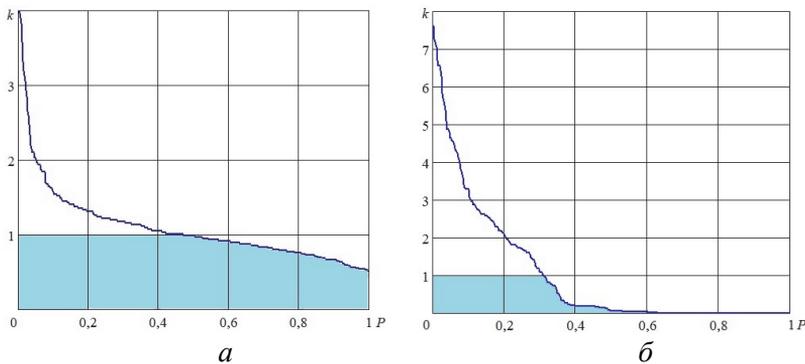


Рис. 4. Примеры эмпирических кривых  $k - P$  2020 г.: а – р. Дейма; б – р. Инструч

Как известно, один из методов определения КЕЗС – это расчет по рис. 4 площади закрашенной фигуры под кривой  $k - P$  ниже горизонтальной линии  $k = 1$ . Опубликованы и другие приближенные методы расчета, например [Комлев, Проскурина, 1977]. Нет необходимости использовать их в среде Mathcad. Можно определить КЕЗС точно непосредственно по исходным данным с помощью операторов из:

$$Q_{\varphi_i} := \begin{cases} Q_i & \text{if } Q_i \leq Q_s \\ Q_s & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$S := \sum_i Q_i \quad S_{\varphi} := \sum_i Q_{\varphi_i} \quad \varphi := \frac{S_{\varphi}}{S}. \quad (4)$$

Разумеется, имеется погрешность самих исходных данных и совсем небольшая погрешность вычислений. Рассчитаем в среде Mathcad минимальные 30-дневные расходы:

$$j := 1..n - 29 \quad Q_{30j} := \frac{1}{30} \cdot \sum_{i=j}^{j+29} Q_i \quad Q_{m30} := \min(Q_{30}). \quad (5)$$

### Результаты и обсуждение

К рассчитанным по формулам (4), (5) характеристикам добавим максимальный годовой расход  $Q_{\max}$ , отношение  $\beta = Q_s/Q_{\max}$  и поместим в табл. 3.

По табл. 3 видно, что величина КЕЗС рек Калининградской области заметно выше, чем у рек других регионов Северо-Запада России. В [Июфин, 2006] рассчитанные значения КЕЗС рек Северо-Запада России не превышают 0,5. Такие низкие значения КЕЗС оказались у двух рек Калининградской области: Инстроч и Злая (значения  $\beta$  наименьшие). Тогда как у рек Дейма и Матросовка величина КЕЗС превышает 0,8 (значения  $\beta$  наибольшие). Причину указанного различия можно пояснить с помощью гидрографов на рис. 2 и 3.

Гидрограф р. Инстроч в 2020 г. (рис. 2) подобен гидрографам большинства рек Северо-Запада России: большие расходы наблюдаются только во время весеннего половодья, все остальное время года – это межень с низкими расходами. Дейма является правым рукавом р. Преголи. По рис. 3 видно, что у нее сохраняется немалый расход весь год. В результате получаются различные эмпирические кривые, показанные на рис. 4.

Таблица 3

Расходные характеристики рек Калининградской области в 2020 г.

Река – ГП	$\varphi$	$Q_s, \text{M}^3/\text{c}$	$Q_{30\text{min}}, \text{M}^3/\text{c}$	$Q_{\max}, \text{M}^3/\text{c}$	$\beta$
Преголя – Гвардейск	0,797	57,7	33,0	185	0,312
Преголя – Черняховск	0,687	16,4	4,49	64,1	0,256
Анграпа – Берестово	0,792	8,76	3,42	24,9	0,352
Инстроч – Ульяново	0,486	1,78	0,193	12,6	0,142
Мамоновка – Мамоново	0,641	1,59	0,390	10,1	0,157
Злая – Приозерье	0,488	0,841	0,021	6,98	0,121
Дейма – Гвардейск	0,847	27,2	14,6	76,9	0,353
Матросовка – Мостовое	0,801	69,9	34,4	164	0,424

Были рассчитаны коэффициенты парной корреляции (КПК)  $r$ . Наибольшим оказался КПК между  $\varphi$  и  $\beta$ :  $r = 0,921$ . КПК между  $\varphi$  и  $Q_s$ ,  $\varphi$  и  $Q_{30\text{min}}$ ,  $\varphi$  и  $Q_{\max}$ ,  $\varphi$  и  $A$  оказался близким к 0,6. На рис. 5 показана связь КЕЗС рек Калининградской области с отношением  $\beta$  и с площадью водосборного бассейна. На рис. 5, б нанесено только 6 точек, так как для рукавов не принято определять площадь водосборного бассейна.

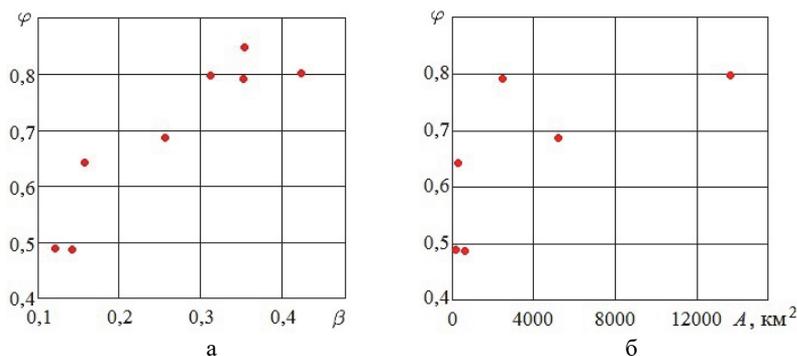


Рис. 5. Связь КЕЗС с  $\beta$  (а) и с площадью бассейна реки (б)

### Заключение

Для рационального использования водных ресурсов необходимо знание внутригодового распределения речного стока. Одним из важнейших показателей, которые влияют на распределение стока на водосборе, является естественная зарегулированность стока. Коэффициент естественной зарегулированности стока часто используется при решении практических инженерных и научных задач.

В данной работе представлены результаты расчета КЕЗС рек Калининградской области в 2020 г. по массивам средних суточных расходов воды, которые были получены по восьми гидрологическим постам из АИС ГМВО. Расчет КЕЗС выполнялся в среде Mathcad. Определено, что 2020 г. в Калининградской области отличался низкой водностью. В этих условиях КЕЗС рек региона оказался заметно выше, чем у рек Северо-Запада России, исключение составили реки Инструч и Злая. Эти водотоки имели низкие расходы весь период межени. Наибольшие значения КЕЗС наблюдаются у рек Дейма и Матросовка (величина КЕЗС превышает 0,8).

Установлено, что КЕЗС имеет тесную стохастическую связь с отношением среднего и максимального расхода данной реки. Тенденция роста КЕЗС прослеживается с увеличением площади водосборного бассейна.

### Список литературы

- Иофин З. К. Экологически допустимые изъятия речного стока // Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе : материалы Междунар. науч. конф. М., 2006. Т. 6. С. 252–254.
- Комлев А. М., Проскурина Г. В. Аналитический способ вычисления коэффициента естественной зарегулированности речного стока // Метеорология и гидрология. 1977. № 10. С. 95–99.
- Наумов В. А. Расчет коэффициента естественной зарегулированности стока реки Преголи // Вестник научно-методического совета по природообустройству и водопользованию. 2020. № 19. С. 55–60.
- Наумов В. А. Максимальные годовые расходы воды малых рек Славского района Калининградской области // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С.367-383.
- Сикан А. В., Малышева Н. Г. Исследование показателей инерционности речных систем // Ученые записки РГГМУ. 2008. № 7. С. 23–28.
- Соколовский Д. Л. Речной сток (Основы теории и методики расчетов): учебник. Л. : Гидрометеоздат, 1968. 539 с.

Фролова Н. Л., Нестеренко Д. П., Шенберг Н. В. Внутригодовое распределение стока рек России // Вестник Московского университета. Серия География. 2010. № 6. С. 8–16.

Эгизов И. А., Ордобаев Б. С., Пархоменко Ю. Ф. Зависимость естественной зарегулированности стока рек Кыргызстана от водности года // Сборник научных трудов ВНИИ овцеводства и козоводства. 2013. Т. 3, № 6. С. 411–415.

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.

Assessment of hydrological changes and their influence on the aquatic ecology over the last 58 years in Ganjiang Basin, China / Y. Huang [et al.] // Sustainability. 2019. Vol. 11, N 18. P. 4882. <https://doi.org/10.3390/su11184882>

Changes in streamflow regimes and their responses to different soil and water conservation measures in the Loess Plateau watersheds, China / S. Zhang [et al.] // Hydrological Processes. 2021. Vol. 35, N 10. P. 14401. <https://doi.org/10.1002/hyp.14401>

Developing observational methods to drive future hydrological science: can we make a start as a community? / K. Beven [et al.] // Hydrological Processes. 2020. Vol. 34, N 3. P. 868–873. <https://doi.org/10.1002/hyp.13622>

Impact of intra-annual runoff nonuniformity on the energy generation of cascaded hydropower plants in Datong River Basin, China / Zhehao Li [et al.] // Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 323, N 10. P. 129122. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129122>

Inter- and intra-annual trend analysis of water level and flow in the middle and lower reaches of the Ganjiang River / Di Zhu, Yadong Mei, Yue Ben, Xinfu Xu // China, Hydrological Sciences Journal. 2020. Vol. 65, N 12. P. 2128–2141. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1788716>

Islam M. N., Sivakumar B. Characterization and prediction of runoff dynamics: a nonlinear dynamical view // Advances in Water Resources. 2002. Vol. 25, N 2. P. 179–190.

Recent changes of annual flow distribution of the Volga basin rivers / N. L. Frolova, S. A. Agafonova, M. B. Kireeva, E. S. Povalishnikova, O. M. Pakhomova // Geography, Environment, Sustainability. 2017. Vol. 10, N 2. P. 28–39. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2017-10-2-28-39>

Responses of intra-annual runoff to forest recovery patterns in subtropical China / Zhipeng Xu, et al. // Journal of forestry research. 2021. Vol. 32, N 4. P. 1479–1488. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01219-2>

Savichev O. G., Moiseeva Yu. A. A model of intra-annual flow distribution with scanty observational data // IOP conference series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 211 (012040). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/211/1/012040>.

Volchak A., Parfomuk S., Sidak S. Intra-annual Runoff Distribution in the Pripyat River Basin // International Conference on Building Energy Conservation, Thermal Safety and Environmental Pollution Control (ICBTE 2020). 2020. Vol. 212. (01016). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021201016>

Wrzesiński D., Sobkowiak L. Detection of changes in flow regime of rivers in Poland // Journal of Hydrology and Hydromechanics. 2018. Vol. 66, N 1. P. 55–64. <https://doi.org/10.1515/johh-2017-0045>

## References

Iofin Z.K. Ekologicheski dopustimye izyatiya rechnogo stoka [Environmentally acceptable withdrawals of river runoff]. *Ekstremalnye gidrologicheskie sobytiya v Aralo-Kaspijskom regione* [Extreme hydrological events in the Aral-Caspian region. Proc. Intern. Sci. Conf.]. Moscow, 2006, vol. 6, pp. 252-254. (in Russian)

Komlev A.M., Proskurina G.V. Analiticheskii sposob vychisleniya koeffitsienta estestvennoi zaregulirovannosti rechnogo stoka [Analytical method for calculating the coefficient of natural regulation of river flow]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 1977, no. 10, pp. 95-99. (in Russian)

Naumov V.A. Raschet koeffitsienta estestvennoi zaregulirovannosti stoka reki Pregoli [Calculation of the coefficient of natural regulation of the Pregel river flow]. *Vestnik nauchno-metodicheskogo soveta po prirodobustroistvu i vodopolzovaniyu* [Bulletin of the Scientific and Methodological Council for Environment Engineering and Water Use], 2020, no. 19, pp. 55-60. (in Russian)

Naumov V.A. Maksimalnye godovye raskhody vody malykh rek Slavskogo raiona Kaliningradskoi oblasti [Maximum annual water discharges of small rivers in Slavsky district Kaliningrad region]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], 2022, vol. 12, no. 4, pp. 367-383. (in Russian)

Sikan A.V., Malysheva N.G. Issledovanie pokazatelei inertsiionnosti rechnykh sistem [Research of indicators of inertia of river systems]. *Uchenye zapiski RGGMU* [Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University], 2008, no. 7, pp. 23-28. (in Russian)

Sokolovskii D.L. *Rechnoi stok (Osnovy teorii i metodiki raschetov)* [River flow (Fundamentals of the theory and calculation methods)]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1968, 539 p. (in Russian)

Frolova N.L., Nesterenko D.P., Shenberg N.V. Vnutrigodovoe raspredelenie stoka rek Rossii [Intra-annual flow regime of rivers in Russia]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5, Geografia* [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography], 2010, no. 6, pp. 8-16. (in Russian)

Egizov I.A., Ordoabaev B.S., Parkhomenko Yu.F. Zavisimost estestvennoi zaregulirovannosti stoka rek Kyrgyzstana ot vodnosti goda [Dependence of natural flow regulation of rivers of Kyrgyzstan from the rivers]. *Sbornik nauchnykh trudov VNII ovtsevodstva i kozovodstva* [Proc. scientific. Institute of sheep breeding and goat breeding], 2013, vol. 3, no. 6, pp. 411-415. (in Russian)

Yushkina O.A., Zemtsov V.A. Vliyanie rezhima stoka rek i stepeni ego estestvennoi zaregulirovannosti na parametry dinamicheskikh sistem rechnykh basseinov [Influence of river flow regime and the degree of its natural regulation on the parameters of dynamic systems of river basins]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Tomsk State University Journal], 2008, no. 316, pp. 213-218. (in Russian)

Huang Y. et al. Assessment of hydrological changes and their influence on the aquatic ecology over the last 58 years in Ganjiang Basin, China. *Sustainability*, 2019, vol. 11, no. 18, pp. 4882. <https://doi.org/10.3390/su11184882>

Zhang S. et al. Changes in streamflow regimes and their responses to different soil and water conservation measures in the Loess Plateau watersheds, China. *Hydrological Processes*, 2021, vol. 35, no. 10, pp. 14401. <https://doi.org/10.1002/hyp.14401>

Beven K. et al. Developing observational methods to drive future hydrological science: can we make a start as a community? *Hydrological Processes*, 2020, vol. 34, no. 3, pp. 868-873. <https://doi.org/10.1002/hyp.13622>

Li Zh. et al. Impact of intra-annual runoff nonuniformity on the energy generation of cascaded hydropower plants in Datong River Basin, China. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 323, no. 10, pp. 129122. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129122>

Zhu D., Mei Y., Ben Y., Xu X. Inter- and intra-annual trend analysis of water level and flow in the middle and lower reaches of the Ganjiang River. *China, Hydrological Sciences Journal*, 2020, vol. 65, no. 12, pp. 2128-2141, <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1788716>

Islam M. N., Sivakumar B. Characterization and prediction of runoff dynamics: a nonlinear dynamical view. *Advances in Water Resources*, 2002, vol. 25, no. 2, pp. 179-190.

Frolova N. L. et al. Recent changes of annual flow distribution of the Volga basin rivers. *Geography, Environment, Sustainability*, 2017, vol. 10, no. 2, pp. 28-39. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2017-10-2-28-39>

Xu Zh. et al. Responses of intra-annual runoff to forest recovery patterns in subtropical China. *Journal of forestry research*, 2021, vol. 32, no. 4, pp. 1479-1488. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01219-2>

Savichev O.G., Moiseeva Yu.A. A model of intra-annual flow distribution with scanty observational data. *IOP conference series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 211 (012040). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/211/1/012040>

Volchak A., Parfomuk S., Sidak S. Intra-annual Runoff Distribution in the Pripyat River Basin. *International Conference on Building Energy Conservation, Thermal Safety and Environmental Pollution Control (ICBTE 2020)*, 2020, vol. 212 (01016). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021201016>

Wrzesiński D., Sobkowiak L. Detection of changes in flow regime of rivers in Poland. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 2018, vol. 66, no. 1, pp. 55-64. <https://doi.org/10.1515/johh-2017-0045>

**Сведения об авторах**

**Ахмедова Наталья Равиловна**  
кандидат биологических наук,  
доцент кафедры техносферной  
безопасности и природообустройства  
Калининградский государственный  
технический университет  
Россия, 236022, г. Калининград,  
Советский пр., 1  
e-mail: isfendi@mail.ru

**Валл Евгений Валерьевич**  
заместитель директора  
по инженерным изысканиям  
ООО ГЕОинжиниринг  
Россия, 236010, г. Калининград,  
ул. Бассейная, 7  
e-mail: wall\_ewgen@mail.ru

**Наумов Владимир Аркадьевич**  
доктор технических наук,  
профессор кафедры техносферной  
безопасности и природообустройства  
Калининградский государственный  
технический университет  
Россия, 236022, Калининград, Советский пр., 1  
e-mail: van-old@mail.ru

**Information about the authors**

**Akhmedova Natalya Ravilovna**  
Candidate of Science (Biology),  
Associate Professor of the Department of  
Technosphere Safety and Environmental  
Engineering  
Kaliningrad State Technical University  
1, Soviet ave., Kaliningrad, 236022,  
Russian Federation  
e-mail: isfendi@mail.ru

**Wall Evgeny Valerievich**  
Deputy Director for Engineering Surveys,  
LLC GEOengineering  
7, Basseynaya st., Kaliningrad, 236010,  
Russian Federation  
e-mail: wall\_ewgen@mail.ru

**Naumov Vladimir Arkadievich**  
Doctor of Sciences (Technical)  
Professor of the Department of Technosphere  
Safety and Environmental Management  
Kaliningrad State Technical University,  
1, Soviet ave., Kaliningrad, 236022,  
Russian Federation  
e-mail: van-old@mail.ru

Коды научных специальностей: 1.6.16; 1.6.21

Статья поступила в редакцию **04.04.2023**; одобрена после рецензирования **28.06.2023**; принята к публикации **11.09.2023**  
The article was submitted **April, 04, 2023**; approved after reviewing **June, 28, 2023**; accepted for publication **September, 11, 2023**