

УДК 519.25:556.53

ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА РЕК КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ В 2020 ГОДУ

В.А. Наумов

INTRA-ANNUAL DISTRIBUTION OF THE RUNOFF IN THE KALININGRAD REGION RIVERS IN 2020

V.A. Naumov

Аннотация. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов представила данные о средних суточных расходах воды (ССРВ) 2020 года только на 8-ми гидрологических постах Калининградской области. Анализ средних годовых расходов воды (СГРВ) рек региона позволил отнести 2020 к маловодным годам. Вероятность превышения СГРВ у реки Преголи за 120 лет наблюдений оказалась равной 89,3%, у реки Инструч – 93,4%. Отношения максимальных и минимальных расходов воды к СГРВ были определены. Река Инструч имеет наибольшую неравномерность внутригодового распределения стока (ВРС) по этим показателям. Река Дейма (рукав Немана) имеет наименьшую неравномерность ВРС. Матрица коэффициентов парной корреляции (КПК) ССРВ в реках региона была рассчитана. Средние значения КПК всех рек региона в 2020 году выше 0,8. Река Преголя (Черняховск) имеет ВРС наиболее типичное ВРС для региона. Река Мамоновка имеет самое отличающееся ВРС среди рек региона.

Ключевые слова: реки Калининградской области; средние суточные расходы воды 2020 года; внутригодовое распределение стока; корреляционный анализ.

Abstract. The Automated Information System of the Water Bodies State Monitoring was provided data on the average daily water discharge (ADWD) in 2020 only at 8 hydrological posts of the Kaliningrad Region. The analysis of the average annual water discharge (AAWD) of the region rivers allowed us to attribute 2020 to low-water years. The probability of exceeding the AAWD at the Pregel River for 120 years of observations was equal to 89.3%, at the Inster River was equal 93.4%. The ratio of the maximum and minimum water discharge to the AAWD has been determined. The Inster River has the greatest unevenness of the intra-annual distribution of runoff (IADR) according to these indicators. The Deima River (arm of the Neman) has the least unevenness of the IARD. Matrix of pair correlation coefficients (PCC) of ADWD in the Region Rivers was calculated. The average PCC values of all region rivers in 2020 are above 0.8. The Pregel River (Chernyakhovsk) has the most typical IARD for the region. The Mamonovka River has the most different IARD among the Region Rivers.

Keywords: Kaliningrad Region Rivers; average daily water discharge; intra-annual distribution of runoff; correlation analysis.

Введение

Построение гидрографов рек, на которых не ведется систематических наблюдений, в соответствии с требованиями действующего нормативного документа [1] должно опираться на анализ внутригодового распределения стока (ВГС) рек-аналогов. Такое распределение, наряду с общими закономерностями, всегда имеет определенные особенности, связанные с природно-климатическими условиями бассейна реки. Поэтому изучению особенностей ВГС посвящено большое количество публикаций (см. [2-5] и библиографию в них). Так в [2] исследовано влияние климатических изменений на ВГС рек Европейской территории России. В [3] выполнена оценка роли зимней межени в ВГС. Влияние ландшафтно-географических

факторов на динамику ВГС малых рек изучено в [4] на примере южнотаежного района Вологодской возвышенности. Особенности формирования половодья и паводков на водотоках Калининградской области (КО) рассмотрены в [5] на примере реки Преголи – гидрологический пост (ГП) Гвардейск.

Наряду с непосредственным сравнением элементов гидрографов рек в определенном гидрологическом районе, применяется метод корреляционного анализа [6, 7]. Впервые корреляционный анализ для сравнения ВРС малых рек КО был применен в [8]. Были использованы средние месячные расходы воды (СМРВ) рек Злая, Мамоновка, Немонинка, Нельма за 1965, 1966, 1973-1977 годы. Достаточно высокие коэффициенты парной корреляции (КПК), рассчитанные в [9], подтвердили схожесть ВРС малых рек КО: наибольший КПК оказался в 1976 году равным 0,94 (Нельма – Немонинка), наименьший – в 1973 году 0,62 (Злая – Мамоновка). Один из выводов [8] – КПК не связаны ни с площадью, ни с типом ландшафта водосборных бассейнов; другой – КПК СМРВ малых рек снижаются в маловодные годы.

При малом объеме выборки, как в [8], ($n < 25$) стандартная относительная ошибка КПК рассчитывается в процентах по формуле [9]:

$$\varepsilon_r = \frac{1-r^2}{r \cdot \sqrt{n-1}} \cdot \sqrt{1 + \frac{11r^2}{2n} + \frac{75r^2 - 13}{2n^2}} \cdot 100, \quad (1)$$

где под r подразумевается точечная оценка КПК, рассчитанная по выборке. По рис. 1а видно, что в [8] при $r = 0,62$ стандартная ошибка превышает 30%. Поэтому достоверность результатов анализа при такой короткой выборке вызывает сомнение.

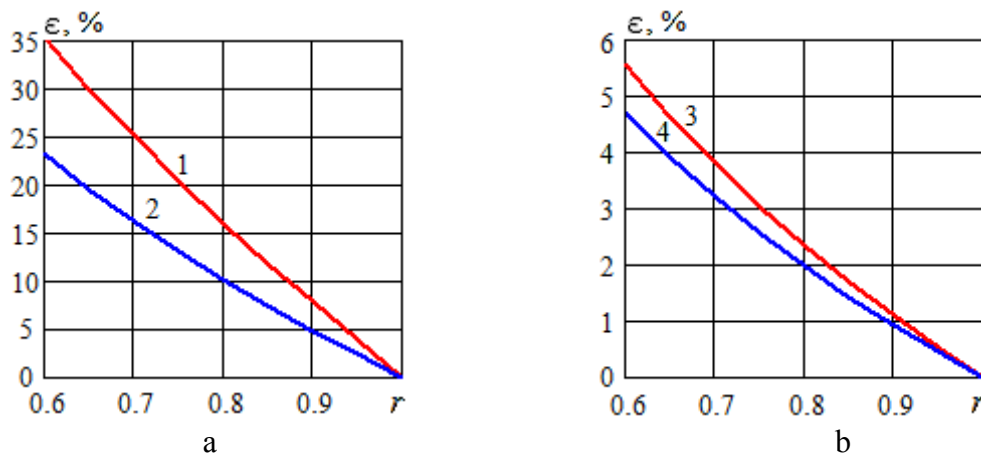


Рисунок 1 – Стандартная относительная ошибка КПК: а – при малых n по формуле (1), б – при больших n по формуле (2); 1 – $n = 12$; 2 – $n = 24$; 3 – $n = 366$; 4 – $n = 516$

В [10] также сравнивались СМРВ рек КО (Анграпа, Инструч, Писса, Преголя – ГП Гвардейск), но за более продолжительный период. На действовавшем ранее в открытом доступе Интернет-ресурсе [11] были отобраны 43 года (с 1924 по 1985), за которые имеются совместные наблюдения СМРВ перечисленных рек. По каждому ГП объем выборки $n = 516$. При большом объеме выборки ($n > 200$) формулу (1) можно упростить:

$$\varepsilon_r = (1 - r^2)/(r \cdot (n - 1)^{0,5}). \quad (2)$$

По рис. 1б погрешность расчета КПК в [10] не превышает 5%. Расчет КПК показал тесную стохастическую связь между СМРВ рек КО и значимую – с СМРВ рек Литвы и

Польши. Вместе с тем, такой подход весьма затрудняет анализ влияния водности года и других климатических условий, например, температуры.

В [12] рассмотрен усовершенствованный метод анализа КПК для средних суточных расходов воды (ССРВ). Был использован массив ССРВ на 12 ГП КО за 2008-2018 годы. Значения КПК оказались весьма высокими, кроме 2013 года для реки Мамоновки. Было установлено, что в рассмотренные годы, самое типичное ВРС имеет река Преголя – ГП Черняховск, а из малых рек – Злая.

Цель данной статьи – используя разработанный метод корреляционного анализа, сравнить ССРВ рек КО в 2020 году.

Исходные данные

В материалах [13] имеется карта КО с сетью из 15 постов Росгидромета, которые действовали по 2013 год включительно (рис. 2).



Рисунок 2 – Сеть постов Калининградского ЦГМС, действовавших на реках региона в 2013 году [13]

Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [14] в июле 2022 года разместила на своих Интернет-ресурсах массивы ССРВ 2020 года российских рек. Полтора года АИС ГМВО затрачивает на проверку результатов наблюдений и исправление ошибок. На водотоках КО области такие данные имеются только по восьми ГП, сведения о которых показаны в табл. 1

Таблица 1 – ГП КО, на которых получены измерения ССРВ [14] в 2020 году

№	Водоток	ГП	Расстояние (км) от		A, км ²	Открыт (год)
			истока	устья		
1	река Преголя.	Гвардейск	67.0	56.0	13600	1869
2	река Преголя	Черняховск	1.00	122	5210	1886
3	рукав Дейма	Гвардейск	0.00	37.0	-	1839
4	река Анграпа	Берестово	139	30.0	2460	1894
5	река Инструч	Ульяново	51.0	50.0	587	1885
6	река Злая	Приозерье	50.0	12.0	142	1961
7	рукав Матросовка	Мостовое	19.0	24.0	-	1968
8	река Мамоновка	Мамоново	45.0	6.20	300	1959

В 2020 году имеем уменьшение на 7 ГП, по сравнению с сетью на рис. 2,. С 2014 года не действуют два ГП: река Нельма – ГП Кострово и река Голубая – ГП Угрюмово (на рис. 2 – ГП № 11 и 12). Нет данных о ССРВ 2020 года, есть наблюдения только за уровнем воды: река Лава – ГП Родники, река Писса – ГП Зеленый Бор, река Шешупе – ГП Долгое, река Неман – ГП Советск, рукав Дейма – ГП Полесск (на рис. 2 – ГП № 6, 7, 10, 13, 14). Если ГП Советск, ГП Полесск и ранее выполняли наблюдения только за уровнем воды, то на остальных названных ГП расчет ССРВ прекращен в последние годы.

На рис. 3-10 по данным из [14] построены гидрографы рек КО 2020 года.

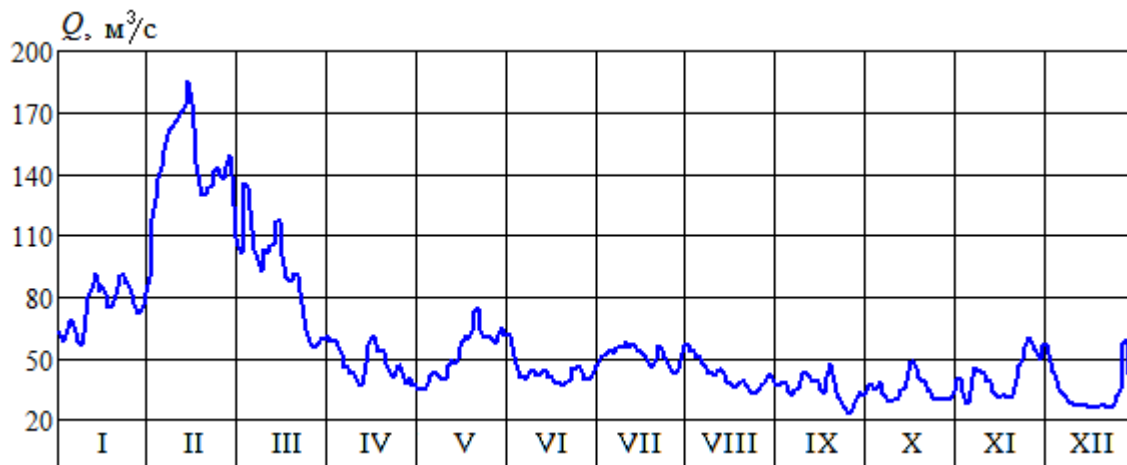


Рисунок 3 – Гидрограф реки Преголи (ГП Гвардейск) в 2020 году

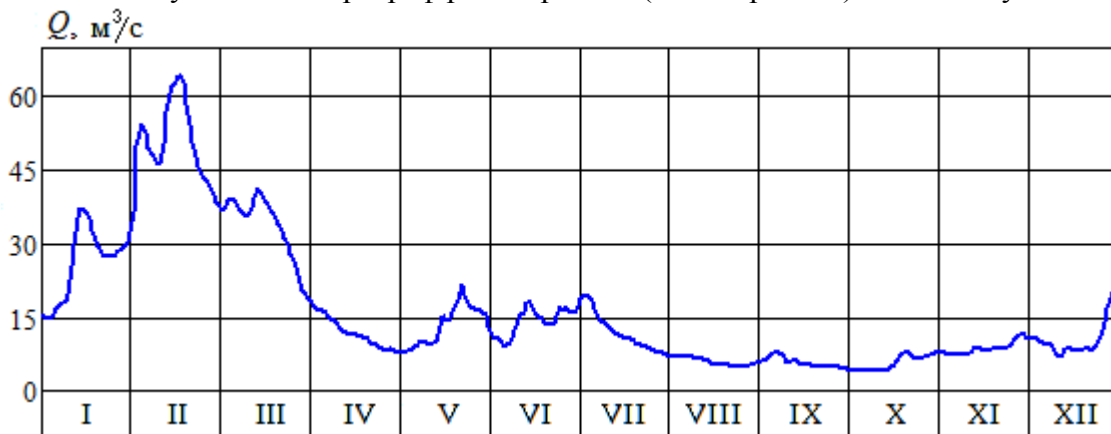


Рисунок 4 – Гидрограф реки Преголи (ГП Черняховск) в 2020 году

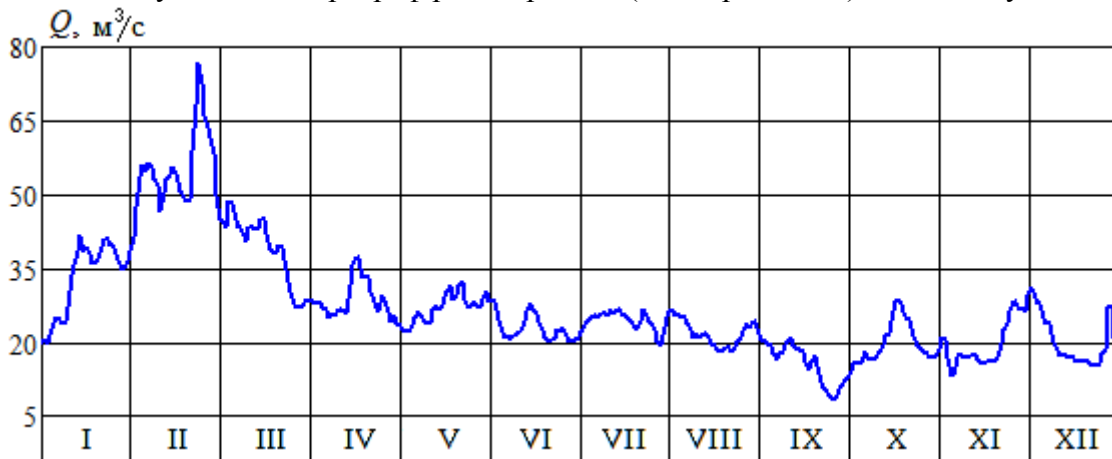


Рисунок 5 – Гидрограф Деймы – рукав реки Преголи (ГП Гвардейск) в 2020 году

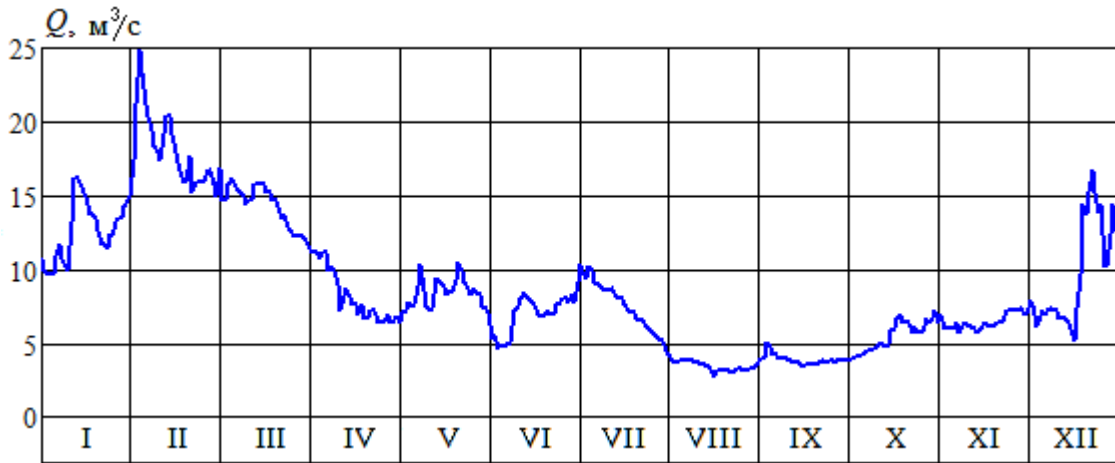


Рисунок 6 – Гидрограф реки Анграпы (ГП Берестово) в 2020 году

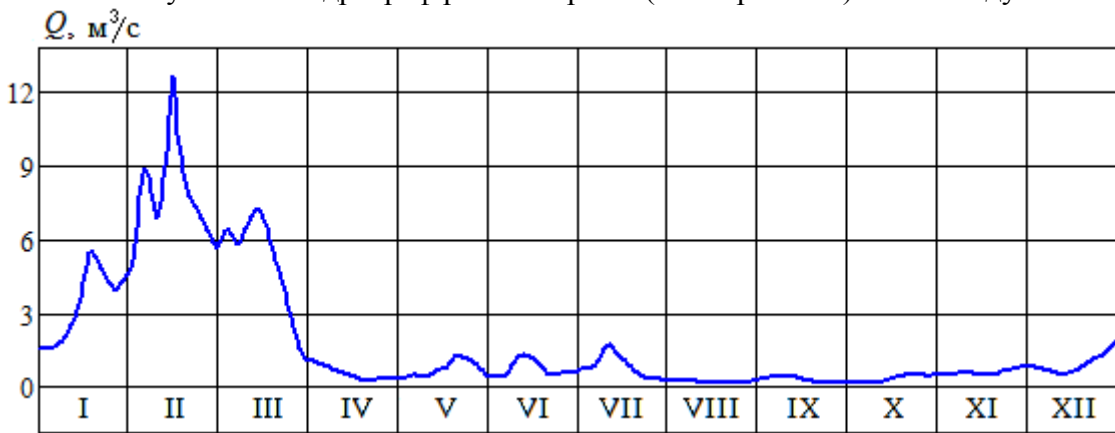


Рисунок 7 – Гидрограф реки Инструч (ГП Ульяново) в 2020 году

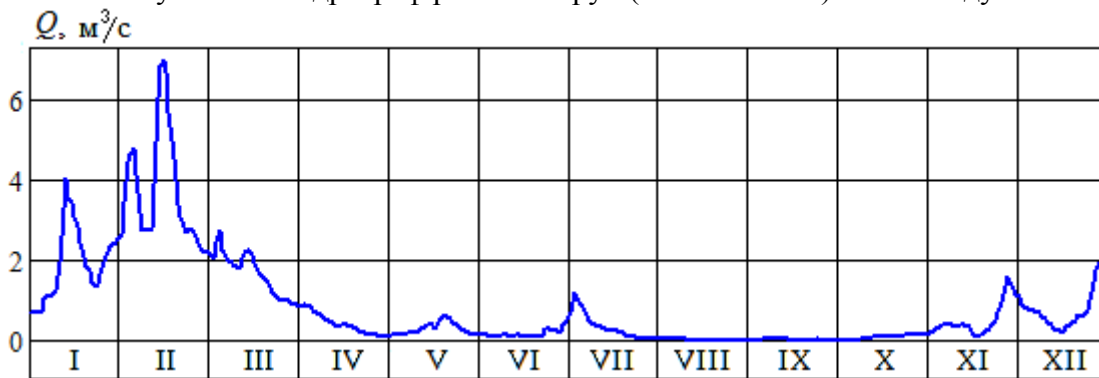


Рисунок 8 – Гидрограф реки Злой (ГП Приозерье) в 2020 году

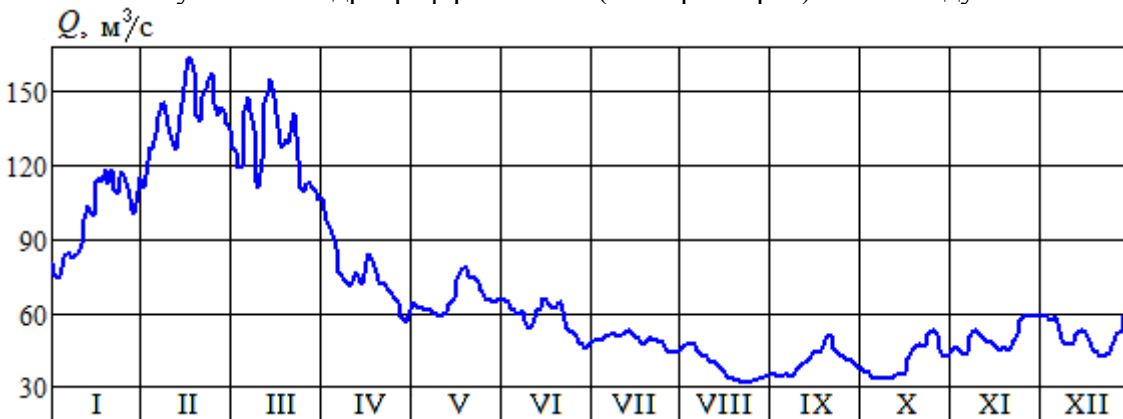


Рисунок 9 – Гидрограф Матросовки – рукав реки Неман (ГП Мостовое) в 2020 году

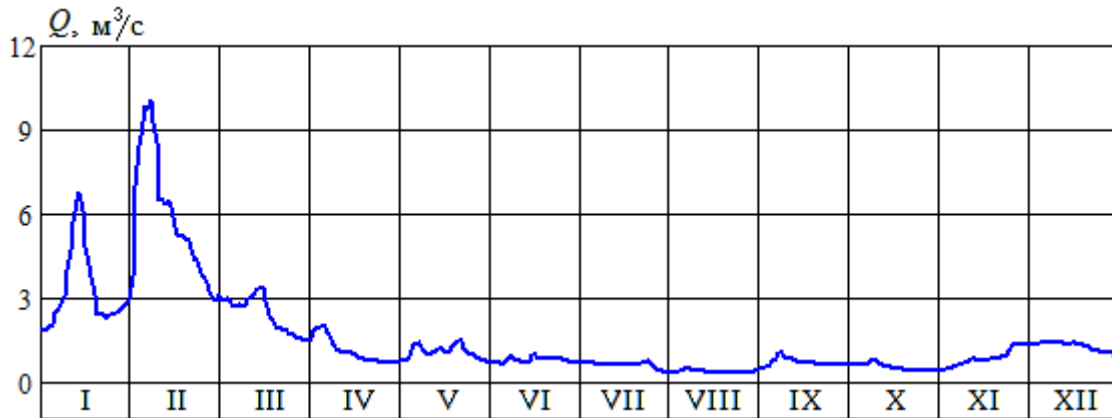


Рисунок 10 – Гидрограф реки Мамоновки (ГП Мамоново) в 2020 году

Обработка и анализ гидрографов

В табл. 2 представлены средние Q_s , максимальные Q_{max} и минимальные Q_{min} расходы рек КО в 2020 году, а также рассчитанный слой годового стока h и отношения $\beta=Q_{max}/Q_s$, $\gamma=Q_{min}/Q_s$.

Таблица 2 – Средние, максимальные и минимальные расходы рек КО в 2020 году

№	Река	Q_s , м ³ /с	Q_{max} , м ³ /с	Дата	Q_{min} , м ³ /с	Дата	Число случаев	h , мм	β	γ
1	Преголя – Гв	57,7	185	14.02	22,2	25.09	1	134,1	3,21	0,385
2	Преголя – Чер.	16,4	64,7	17.02	4,00	30.09- 12.10	8	99,5	3,95	0,243
3	Дейма	27,2	77,4	23.02	7,95	25.09	1	-	2,85	0,292
4	Анграпа	8,76	25,2	03.02	2,60	15.08	1	112,6	2,88	0,297
5	Инструч	1,78	12,6	15.02	0,13	09.10	1	95,9	7,08	0,073
6	Злая	0,84	7,03	14.02	0,009	23.08- 06.10	7	187,1	8,37	0,011
7	Матросовка	69,6	164	17.02	31,8	21-23.08	3	-	2,36	0,457
8	Мамоновка	1,59	10,1	07.02	0,33	24-26.08	3	167,6	6,35	0,207

По табл. 2 видно, средний годовой расход воды (СГРВ) реки Преголи (ГП Гвардейск) равен 57,7 м³/с. На рис. 11 построена график эмпирической обеспеченности СГРВ реки Преголи.

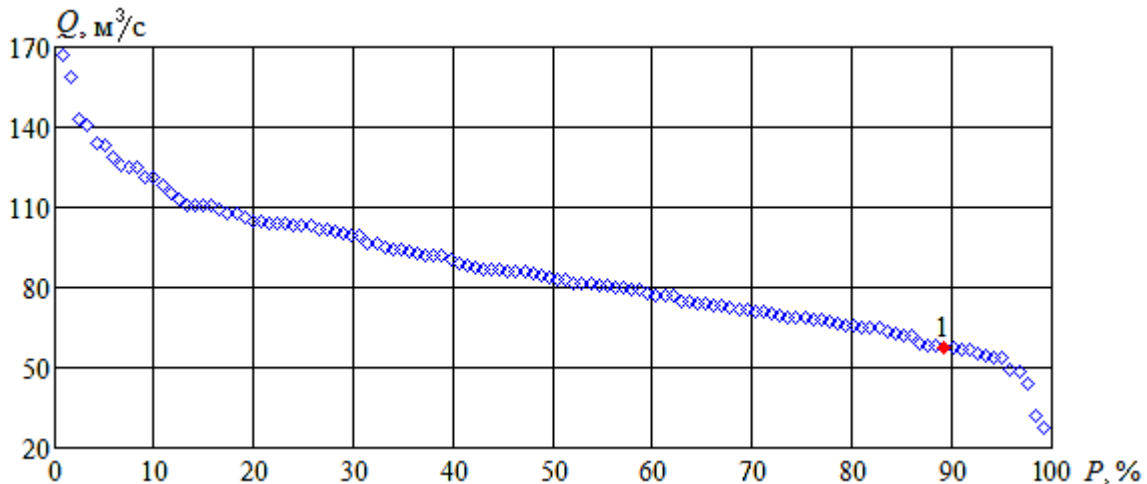


Рисунок 11 – График эмпирической обеспеченности СГРВ реки Преголи (ГП Гвардейск, 1901-2020)

Точка 1 на рис. 11 соответствует 2020 году, обеспеченность СГРВ реки Преголи (Гвардейск) $P = 89,3\%$. Аналогичный показатель у реки Инструч еще выше – $P = 93,4\%$. Поэтому 2020 год можно отнести к маловодным. Наибольший годовой слой стока был у малых рек: Злой $h = 187,1$ мм и Мамоновки $h = 167,6$ мм; наименьший – у реки Инструч $h = 95,9$ мм. Максимальные годовые расходы воды (МГРВ) наблюдались на всех реках КО в феврале. У 6 рек они были отмечены в период с 14 по 23 февраля, раньше только у Мамоновки (07.02) и Анграпы (03.02).

По табл. 2 видно, как различаются отношения β, γ у малых и средних рек. У малых рек величины β выше, а γ – ниже, что говорит о большей неравномерности ВРС. Экстремальные показатели у реки Инструч $\beta=8,37$; $\gamma=0,011$. Наименьшая неравномерность ВРС у рукава Немана – реки Матросовки: $\beta=2,36$; $\gamma=0,457$.

В табл. 3 представлены результаты расчета КПК ССРВ рек КО: выше главной диагонали в 2020 году, ниже для сравнения – в 2016 году.

Таблица 3 – КПК ССРВ рек КО в 2020 и 2016 годах

№ по табл. 1	Номер ГП по таблице 1							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0,940	0,934	0,817	0,935	0,871	0,888	0,846
2	0,935	1	0,894	0,903	0,966	0,929	0,928	0,863
3	0,997	0,939	1	0,797	0,873	0,802	0,892	0,774
4	0,930	0,968	0,935	1	0,854	0,856	0,862	0,829
5	0,852	0,931	0,844	0,890	1	0,913	0,909	0,833
6	0,860	0,879	0,863	0,864	0,856	1	0,820	0,869
7	0,834	0,930	0,844	0,897	0,845	0,797	1	0,778
8	0,836	0,835	0,837	0,870	0,791	0,810	0,702	1

В 2020 году наибольшие значения КПК: $r_{2-5} = 0,966$ (Преголя-Черняховск и Инструч), $r_{1-2} = 0,966$ (Преголя Гвардейск и Черняховск); наименьшие значения КПК: $r_{3-8} = 0,774$ (Дейма и Мамоновка), $r_{7-8} = 0,778$ (Матросовка и Мамоновка). В 2016 году наибольшие значения КПК: $r_{1-3} = 0,997$ (Преголя-Гвардейск и Дейма), $r_{2-4} = 0,968$ (Преголя-Черняховск и Анграпа); наименьшие значения КПК: $r_{3-8} = 0,702$ (Матросовка и Мамоновка), $r_{7-8} = 0,791$ (Инструч и Мамоновка). Среди наименьших КПК везде фигурирует Мамоновка, что говорит о наибольшем отличии от ВРС других рек. Это же подтверждается и средними значениями КПК каждой реки по отношению к семи другим рекам (табл. 4)

Таблица 4 – Средние значения КПК ССРВ рек КО в 2020 и 2016 годах

Год	Номер ГП по таблице 1							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2020	0,890	0,918	0,852	0,845	0,897	0,866	0,868	0,828
2016	0,892	0,917	0,894	0,908	0,859	0,846	0,834	0,811

Самые высокие значения средник КПК у реки Преголи – ГП Черняховск. Указанный ГП, как и в [12], характеризуется ВРС, наиболее типичным для региона. Впрочем, в табл. 4 все значения средних КПК достаточно высокие и в 2020, и в 2016 году. Средние КПК Мамоновки несколько ниже, но незначительно.

Заключение

Количество ГП на реках КО, по которым АИС ГМВО предоставляет данные о ССРВ, в 2020 году снизилось до 8. Анализ СГРВ рек КО позволил отнести 2020 год к маловодным.

Обеспеченность СГРВ у реки Преголи (за 120 лет: 1901-2020) равна 89,3%, у реки Инструч – 93,4%. Были рассчитаны отношения максимальных и минимальных расходов к средним годовым. По эти показателям наибольшую неравномерность ВРС имеет река Инструч, а наименьшую – река Дейма (рукав Немана). Рассчитана матрица КПК ССРВ в реках региона. Средние значения КПК всех рек КО в 2020 году выше 0,8. Наиболее типичное ВРС для региона – у реки Преголи (ГП Черняховск). Наиболее отличающееся ВРС – у реки Мамоновки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 22-27-20016.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свод правил СП 33–101–2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Москва: Госстрой России, 2004. 74 с.
2. Сафина Г.Р., Голосов В.Н. Влияние изменений климата на внутригодовое распределение стока малых рек южной половины Европейской территории России // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 160, № 1. С. 111-125.
3. Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Телегина Е.А. Внутригодовое распределение стока рек с оценкой роли зимней межени // Водные ресурсы. 2017. Т. 44, № 6. С. 603-611.
4. Бортновский З.В. Влияние ландшафтно-географических факторов на динамику внутригодового распределения стока малых рек (на примере южнотаежного района Вологодской возвышенности) // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2019. № 1. С. 44-52.
5. Наумов В.А., Великанов Н.Л. Особенности половодья и паводков реки Преголи // Рыбное хозяйство. 2019. № 4. С. 88-90.
6. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии: монография. Москва: Академия, 2010. 304 с.
7. Бояринова Н.А., Кикот А.В., Наумов В.А. Особенности статистической обработки результатов экспериментальных исследований случайной функции, полученных разными авторами // Известия КГТУ. 2015. № 37. С. 199-206.
8. Нагорнова Н.Н., Берникова Т.А., Цупикова Н.А. Гидрогеохимическая характеристика малых рек Калининградской области // Вестник БФУ им. И. Канта. 2011. Вып. 7. С. 160-166.
9. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации: учебное пособие. Санкт-Петербург: Изд-во РГГМУ, 2007. 279 с.
10. Наумов В.А., Маркова Л.В. Корреляционный анализ внутригодового распределения стока рек региона // Известия КГТУ. 2012. № 26. С. 40-46.
11. UNESCO. International Hydrological Program [Electronic Resource]. URL: <http://webworld.unesco.org/water/> (accessed: 04.04.2012).
12. Наумов В.А. Корреляционный анализ ежедневных расходов рек региона // Вестник научно-методического совета по природообустройству и водопользованию. 2020. № 20. С. 48-54.
13. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Неман и рек бассейна Балтийского моря (Российская часть в Калининградской области). Утверждена приказом Невско-Ладожского БВУ Федерального агентства водных ресурсов от 09.12.2014, № 171 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/page-2/> (дата обращения: 07.07.2022).
14. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 07.07.2022).

REFERENCES

1. *Svod pravil SP 33-101-2003 Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh harakteristik* [Set of rules SP 33-101-2003 Definition of the main calculated hydrological characteristics]. Moscow: Gosstroj Rossii, 2004. 74 p.
2. Safina G.R., Golosov V.N. *Vliyanie izmenenij klimata na vnutrigodovoe raspredelenie stoka malyh rek yuzhnoj poloviny Evropejskoj territorii Rossii* [The influence of climate change on the intra-annual distribution of the runoff of small rivers of the southern half of the European territory of Russia]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2018. Vol. 160, No. 1, pp. 111-125.
3. Dzhamalov R.G., Safronova T.I., Telegina E.A. *Vnutrigodovoe raspredelenie stoka rek s ochenkoj roli zimnej mezheni* [Intra-annual distribution of river runoff with an assessment of the role of winter autumn]. *Vodnye resursy*. 2017. Vol. 44, No. 6, pp. 603-611.
4. Bortnovskij Z.V. *Vliyanie landshaftno-geograficheskikh faktorov na dinamiku vnutrigodovogo raspredeleniya stoka malyh rek (na primere yuzhnotaezhnogo rajona Vologodskoj vozvyshehnosti)* [The influence of landscape-geographical factors on the dynamics of the intra-annual distribution of the runoff of small rivers (on the example of the Southern Taiga district of the Vologda Upland)]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2019. No. 1, pp. 44-52.
5. Naumov V.A., Velikanov N.L. *Osobennosti polovod'ya i pavodkov reki Pregoli* [Features of high water and floods of the Pregel River]. *Rybnoe hozyajstvo*. 2019. No. 4, pp. 88-90.
6. Vinogradov Yu.B., Vinogradova T.A. *Matematicheskoe modelirovanie v gidrologii: monografiya* [Mathematical modeling in hydrology: monograph]. Moscow: Academy, 2010. 304 p.
7. Boyarinova N.A., Kikot A.V., Naumov V.A. *Osobennosti statisticheskoy obrabotki rezul'tatov eksperimental'nykh issledovanij sluchajnoj funkicii, poluchennykh raznymi avtorami* [Features of statistical processing of experimental results of random function obtained by different authors]. *Izvestiya KGTU*. 2015. No. 37, p. 199-206.
8. Nagornova N.N., Bernikova T.A., Cupikova N.A. *Gidrogeohimicheskaya harakteristika malyh rek Kaliningradskoj oblasti* [Hydrogeochemical characteristics of small rivers of the Kaliningrad region]. *Vestnik BFU im. I. Kanta*. 2011. Iss. 7, pp. 160-166.
9. Sikan A.V. *Metody statisticheskoy obrabotki gidrometeorologicheskoy informacii: uchebnoe posobie* [Methods of statistical processing of hydrometeorological information: textbook]. St. Petersburg: RGGMU Publ., 2007. 279 p.
10. Naumov V.A., Markova L.V. *Korrelyacionnyj analiz vnutrigodovogo raspredeleniya stoka rek regiona* [Correlation analysis of intra-annual distribution of river runoff in the region]. *Izvestiya KGTU*. 2012. No. 26, pp. 40-46.
11. UNESCO. International Hydrological Program [Electronic Resource]. URL: <http://webworld.unesco.org/water/> (accessed: 04.04.2012).
12. Naumov V.A. *Korrelyacionnyj analiz ezhdnevnykh raskhodov rek regiona* [Correlation analysis of daily river discharge in the region]. *Vestnik nauchno-metodicheskogo soveta po prirodoobustrojstvu i vodopol'zovaniyu*. 2020. No. 20, pp. 48-54.
13. *Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i ohrany vodnykh ob"ektov bassejna reki Neman i rek bassejna Baltijskogo morya (Rossijskaya chast' v Kaliningradskoj oblasti)* [Scheme of integrated use and protection of water bodies of the Neman River basin and the rivers of the Baltic Sea basin (the Russian part in the Kaliningrad region)]. Utverzhdena prikazom Nevsko-Ladozhskogo BVU Federal'nogo agentstva vodnykh resursov ot 09.12.2014, No. 171 [Electronic resource]. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/page-2> (accessed: 07.07.2022).
14. *Avtomatizirovannaya informacionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh ob"ektov* [Automated information system of state monitoring of water objects] [Electronic resource]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (accessed: 07.07.2022).



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Наумов Владимир Аркадьевич

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия, доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности и природообустройства, действительный член Российской инженерной академии,

E-mail: van-old@rambler.ru

Naumov Vladimir Arkad'evich

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, Doctor of Technical Science, Professor of The Technosphere Safety and Environmental Engineering Department, Member of Russian Engineering Academy,

E-mail: van-old@rambler.ru

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с автором статьи:
236022, Россия, Калининград, Советский пр., 1, КГТУ, ГУК, каб. 372. Наумов В.А.
8(4012)99-53-37