

Научная статья  
УДК 556.048+519.25  
DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-46-58

### Ряд средних годовых расходов воды в р. Матросовке (рукав р. Неман)

**Владимир Аркадьевич Наумов**

Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

vladimir.naumov@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0560-5933>

**Аннотация.** Река Матросовка представляет собой левый рукав р. Неман, протекает по территории Калининградской области. Она играет заметную роль в рыбном хозяйстве региона, является водоприемником многочисленных мелиоративных осушительных систем. Указанные проблемы тесно связаны с водностью реки, поэтому анализ ряда среднегодовых расходов воды в р. Матросовке – весьма актуальная задача. Гидрологический пост Мостовое, где проводятся измерения расходов воды, действует с 1968 г., однако результаты за отдельные годы отсутствуют. Использование р. Варты (правый приток Одера) в ранее опубликованных работах для восстановления ряда среднегодовых расходов р. Матросовки  $Q$  привело к серьезным ошибкам из-за нарушения условий гидрологического подобия. Показано, что всем требованиям, предъявляемым к реке-аналогу, удовлетворяет р. Неман. Длина ряда наблюдений  $Q$  в створе г. Смалнинкай насчитывает более 200 лет. Для восстановления ряда  $Q$  р. Матросовки был использован известный метод Е. Г. Иванова. Анализ параболического тренда и интегрально-разностной кривой стока показал, что восстановленный ряд можно разбить по водности на три периода: первый – с 1812 г. до середины 70-х годов 19-го века со средним расходом  $Qs1 = 135,6$  куб.м/с; второй – до конца 50-х годов 20-го века,  $Qs2 = 142,8$  куб.м/с; третий – по 2020-й год,  $Qs3 = 125$  куб.м/с. Гипотеза однородности ряда была отвергнута (по критерию Стьюдента) из-за большой разницы  $Qs2$  и  $Qs3$ , трехпараметрическое гамма-распределение  $Q$  принято в качестве теоретического. Параметры распределения были найдены тремя способами: 1) по всему ряду как однородному, 2) по составной формуле для трех периодов, 3) по составной формуле для двух последних периодов. Разница между расчетными расходами  $Q$  заданной вероятности превышения, найденными указанными способами, оказалась менее 3 %, поэтому для их определения можно использовать теоретическое распределение, рассчитанное по всему ряду как однородному.

**Ключевые слова:** река Неман, рукав Матросовка, средние годовые расходы воды, восстановление ряда, вероятность превышения.

**Финансирование:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 22-27-20016.

**Для цитирования:** Наумов В. А. Ряд средних годовых расходов воды в р. Матросовке (рукав р. Неман) // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 46–58. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-46-58.

Original article

### **The series of average annual water flow rate in the Matrosovka River (arm of the Neman River)**

**Vladimir A. Naumov**

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

vladimir.naumov@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0560-5933>

**Abstract.** The Matrosovka River is the left arm of the Neman River, flows through the territory of the Kaliningrad region. It plays a significant role in the fisheries of the region, is a water receiver of numerous reclamation drainage systems. These problems are closely related to the water content of the river. Therefore, the analysis of the series of average annual water flow rate  $Q$  in the Matrosovka River is a very urgent task. The Mostovoye hydrological post, where water flow measurements are carried out, has been in operation since 1968. Moreover, there are no results for some years. The use of the Varta River (the right tributary of the Oder) in previously published works to restore the  $Q$  series of the Matrosovka River led to serious errors due to violations of the conditions of hydrological similarity. It is shown that the Neman River satisfies all the requirements for an analog river. A number of observations of  $Q$  in the alignment of the city of Smalininkai dates back more than 200 years. To restore the  $Q$  series of the Matrosovka River, the well-known method of E.G. Ivanov was used. Analysis of the parabolic trend and the integral-difference flow curve showed that the restored series can be divided into three periods by water content. The first was from 1812 to the mid – 70s of the 19th century with an average flow rate of  $Q_{s1} = 135.6$  cubic meters/s. The second – until the end of the 50s of the 20th century,  $Q_{s2} = 142.8$  cubic meters/s; the third – by 2020,  $Q_{s3} = 125$  cubic meters/s. The hypothesis of uniformity of the series was rejected (according to the Student's criterion) due to the large difference between  $Q_{s2}$  and  $Q_{s3}$ . The three-parameter gamma distribution  $Q$  was accepted as theoretical. The distribution parameters were found in three ways: 1) over the entire series, as homogeneous, 2) by a composite formula for three periods, 3) by a composite formula for the last two periods. The difference between the estimated costs  $Q$  of a given probability of excess found by these methods turned out to be less than 3%. Therefore, to determine them, it is possible to use a theoretical distribution calculated over the entire series as a single one.

**Keywords:** Neman River, Matrosovka arm, average annual water flow rate, restoration of the series, probability of excess.

**Funding:** The research has been carried out with the financial support of the Russian Science Foundation and the Government of the Kaliningrad Region within the framework of scientific project No. 22-27-20016.

**For citation:** Naumov V. A. The series of average annual water flow rate in the Matrosovka River (arm of the Neman River). *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (70) : 46-58. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-46-58.

## ВВЕДЕНИЕ

Р. Матросовка (прежнее название «Гильге») представляет собой левый рукав р. Неман, протекает по территории Калининградской области, играет заметную роль в рыбном хозяйстве региона [1, 2] и является водоприемником многочисленных осушительных (польдерных) систем Славского р-на [3, 4]. Расходы воды заметно влияют на перенос биогенных веществ, гидрохимические показатели и состояние речных экосистем [5–7]. Для обоснованного решения проблем, возникающих во всех названных приложениях, необходимо знать гидрологические характеристики водотока [8–10].

Река берет начало из Немана в 48 км от его устья (в 7,5 км ниже по течению от г. Советска). Устье расположено у пос. Матросово Полесского р-на, где река впадает в Куршский залив Балтийского моря. Длина р. Матросовки 43 км, средняя ширина 60–70 м, средняя глубина 1,5–3 м (в половодье глубина может достигать 6 м)<sup>1</sup>.

Левый приток – р. Старица – впадает в Матросовку на расстоянии 15 км от ее устья. Немонинский и Приморский каналы соединяют р. Матросовку с р. Немонин. У пос. Заповедное по правому берегу от Матросовки отделяется рукав р. Товарной.

Р. Матросовка протекает по польдерным землям, лежащим ниже уровня моря, поэтому значительная часть берегов реки укреплена высокими дамбами. Матросовка имеет вид канала, так как во многих местах русло было углублено и спрямлено во время строительства и реконструкции осушительных систем.

На р. Матросовке в пос. Заповедное с 1947 по 1967 гг. действовал гидрологический пост (ГП). В гидрологических ежегодниках публиковались ежедневные уровни воды за этот период. В конце 1968 г. был открыт ГП «Мостовое», действующий по настоящее время. Средние годовые расходы р. Матросовки по этому посту имеются с 1969 по 2020 гг. (с пробелами).

В [11] предпринималась попытка восстановить гидрологический ряд р. Матросовки, однако при этом были допущены существенные промахи. Так, в качестве аналога приняли р. Варту (Warta) в Польше, правый приток Одера. Исток этой реки начинается вблизи г. Кромолов. Длина реки составляет 808 км, водосборная площадь – более 54 тыс. км<sup>2</sup>. Единственное сходство с р. Матросовкой – близкий средний многолетний расход (примерно 124 м<sup>3</sup>/с). Очевидно, что не выполняется требование гидрологического подобия двух названных водотоков.

Цель данной статьи – восстановить ряд средних годовых расходов р. Матросовки и рассчитать по нему расходы заданной обеспеченности.

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЯДА Р. МАТРОСОВКИ

Источниками данных о средних годовых расходах р. Матросовки являются гидрологические ежегодники; Схема комплексного использования и охраны вод-

---

<sup>1</sup> Все реки. Бассейн Балтийского моря [Электронный ресурс]. URL: <https://vsereki.ru/atlanticheskij-okean/bassejn-baltijskogo-morya/matrosovka> (дата обращения: 04.04.2023).

ных объектов бассейна р. Неман и рек бассейна Балтийского моря (Российская часть в Калининградской области)<sup>2</sup>; Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО)<sup>3</sup>. В настоящее время в АИС ГМВО доступны данные по расходам воды рек России (в т. ч. по Матросовке) до 2020 г. включительно. Не удалось обнаружить расходов воды в Матросовке за 1987–1989 и 2005–2007 гг.

Проверим, можно ли в качестве аналога для Матросовки принять р. Неман. Ближайший ГП с длинным рядом наблюдений на р. Неман, открытый в 1811 г., расположен в г. Смалининкай (в настоящее время на территории Литвы). В [12] были собраны данные о средних годовых расходах р. Неман (ГП «Смалининкай») с 1812 по 2009 гг. Источниками послужили гидрологические ежегодники, интернет-ресурс ЮНЕСКО<sup>4</sup> (результат работы Государственного гидрологического института под руководством И. А. Шикломанова, в настоящее время ресурс недоступен), а также материалы статей [13, 14]. К сожалению, достоверных и полных данных о расходах р. Неман (ГП «Смалининкай») после 2009 г. найти не удалось.

С 1969 по 2009 гг. имеются результаты совместных наблюдений за расходами воды за 35 лет в реках Неман и Матросовка. Коэффициент парной корреляции гидрологических рядов весьма высок (0,892). Другие числовые условия свода правил<sup>5</sup> также выполнены с большим запасом.

На рис. 1 точками показаны данные совместных наблюдений. Так как статистическая связь стока рек Неман  $QN$  и Матросовки  $QM$  формируется за счет присутствия случайной составляющей в структуре обеих сравниваемых величин, то за ее оценку нужно принимать линию, соответствующую центральной оси эллипса рассеяния переменных [15]. Эта линия занимает среднее положение между регрессиями  $QM$  по  $QN$  (1) и  $QN$  по  $QM$  (2) и описывается уравнением (3):

$$QM = QMs + r \cdot (QN - QNs) \cdot \sigma M / \sigma N, \quad (1)$$

$$QN = QNs + r \cdot (QM - QMs) \cdot \sigma N / \sigma M, \quad (2)$$

$$QM = QMs + (QN - QNs) \cdot \sigma M / \sigma N, \quad (3)$$

где  $r$  – коэффициент парной корреляции;  $QMs$ ,  $QNs$  – средние значения расхода за годы совместных наблюдений;  $\sigma M$ ,  $\sigma N$  – средние квадратичные отклонения.

<sup>2</sup> Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна р. Неман и рек бассейна Балтийского моря (Российская часть в Калининградской области). Утверждена приказом Невско-Ладожского БВУ Федерального агентства водных ресурсов № 171 от 09.12. 2014 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/page-2/> (дата обращения: 03.03.2023).

<sup>3</sup> Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 10.03.2023).

<sup>4</sup> UNESCO. International Hydrological Programme [Электронный ресурс]. URL: <http://webworld.unesco.org/water/> (дата обращения: 09.05.2014).

<sup>5</sup> Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Одобрен для применения в качестве нормативного документа постановлением Госстроя России № 218 от 26 декабря 2003 г.

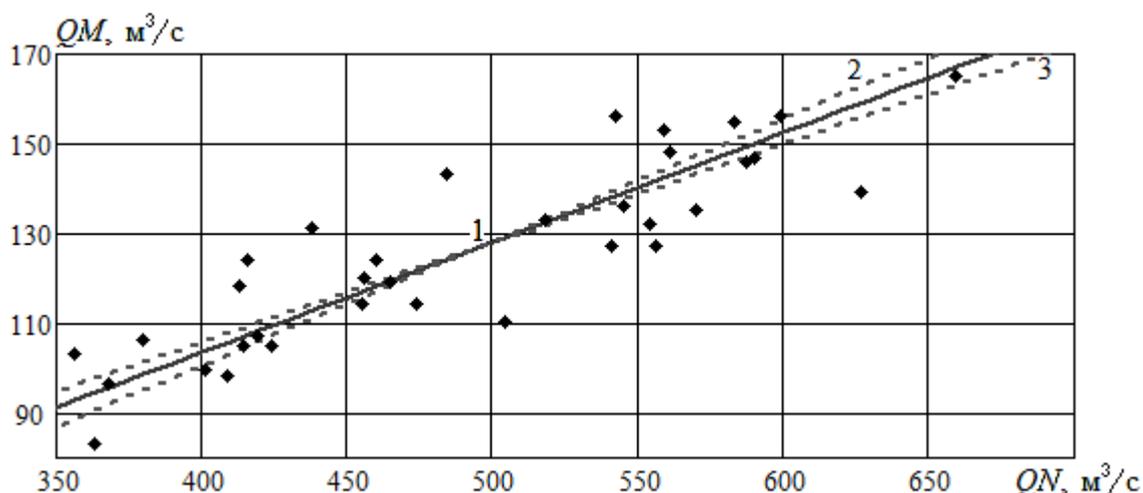


Рис. 1. Связь средних годовых расходов рек Неман (ГП «Смалининкай») и Матросовки (ГП «Мостовое»). Точки – данные наблюдений; 1 – результат расчета по формуле (3); 2 – по (1); 3 – по (2)

Fig. 1. The relationship between the average annual flow rate of the Neman River ("Smalininkai" GP) and Matrosovka ("Mostovoye" GP). Points – observational data; 1 – the result of calculation according to the formula (3); 2 – by (1); 3 – by (2)

Для восстановления гидрологического ряда р. Матросовки была использована формула (3). На рис. 2 восстановленные значения средних годовых расходов сравниваются с таковыми из [11] (не слишком удачная сетка [11] сохранена для удобства сравнения). Видно, что в [11] все восстановленные значения расхода ниже, чем получаются по (3). Особенно большое расхождение получилось по 1989 году (почти 32 %). Дело в том, что этот год в бассейне р. Неман был средней водности, а в бассейне р. Одер – маловодным. Использовать ряд р. Варты (бассейн Одера) для восстановления ряда р. Матросовки нельзя.

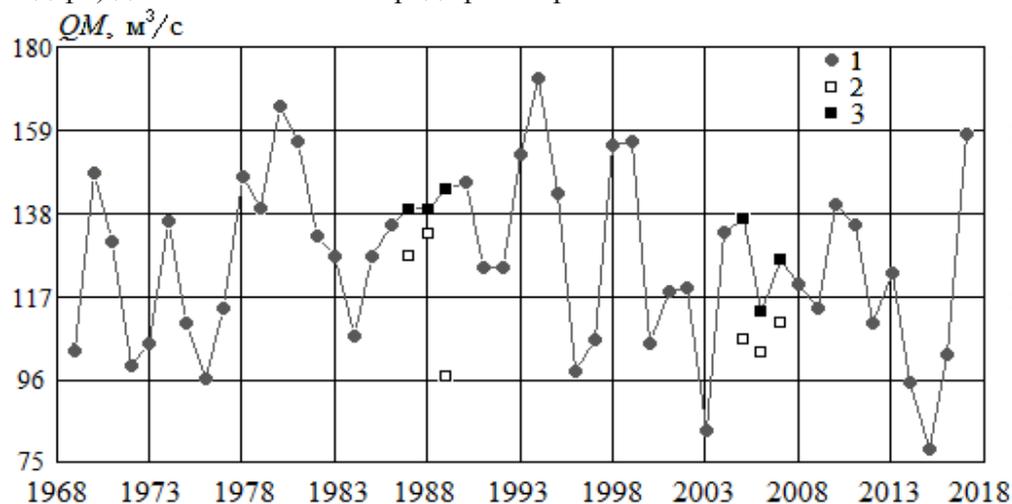


Рис. 2. Средние годовые расходы р. Матросовки (ГП «Мостовое»): 1 – данные наблюдений; 2, 3 – восстановленные значения (2 – в [11], 3 – в данной статье)

Fig. 2. Average annual flow rate of the Matrosovka River (GP "Mostovoye"): 1 – observational data, 2, 3 – restored values (2 – in [11], 3 – in this article)

На рис. 3 представлен гидрологический ряд р. Матросовки, восстановленный по ряду р. Неман (ГП «Смалининкай») с 1812 года.

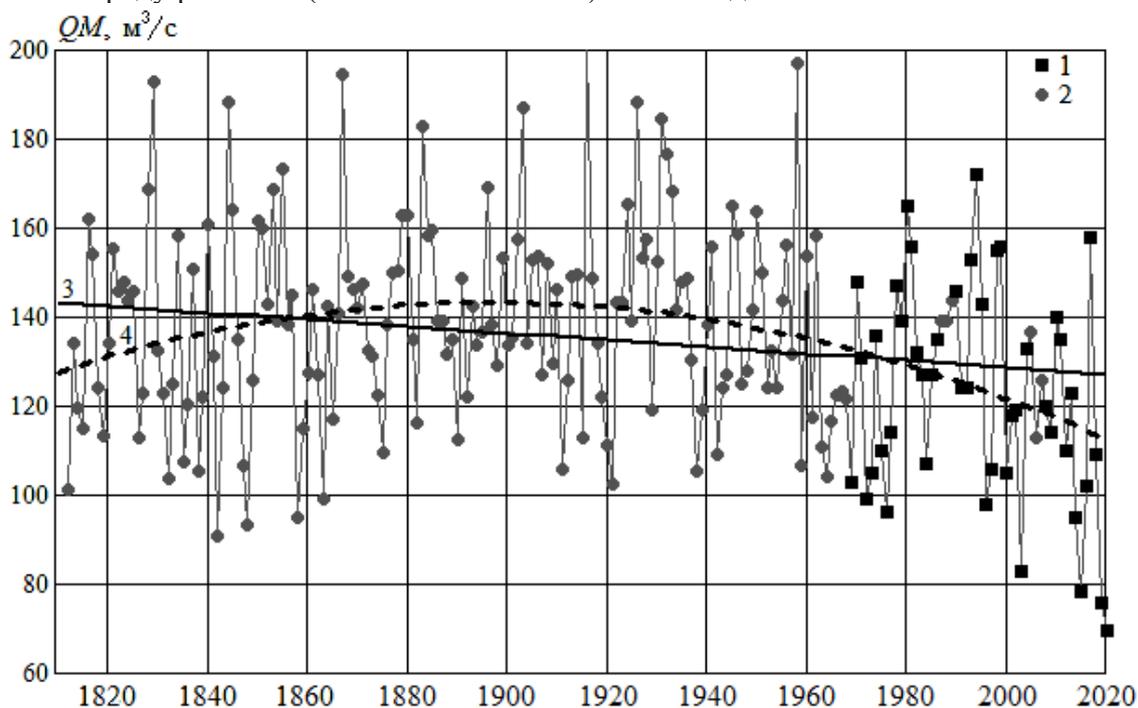


Рис. 3. Средние годовые расходы реки Матросовки (ГП «Мостовое»):  
1 – данные наблюдений; 2 – восстановленные значения; 3 – линейный тренд;  
4 – параболический тренд

Fig. 3. Average annual flow rate of the Matrosovka River (GP “Mostovoye”):  
1 – observational data; 2 – restored values; 3 – linear trend; 4 – parabolic trend

После восстановления ряда общее количество точек (см. рис. 3)  $n = 209$ . Средний многолетний расход равен  $135,2 \text{ м}^3/\text{с}$ .

#### АНАЛИЗ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЯДА Р. МАТРОСОВКИ

Линейный тренд на рис. 3 показывает тенденцию некоторого снижения стока р. Матросовки за 200 с лишним лет. С помощью параболического тренда по величине стока можно выделить три периода: первый – с 1812 г. до середины 70-х годов 19-го века; второй – до конца 50-х годов 20-го века; третий – с конца 50-х годов прошлого века по 2020-й год. Эти же три периода четко просматриваются по интегрально-разностной кривой стока (ИРКС) (рис. 4). Первый период характеризуется чередованием многоводных и маловодных лет, ИРКС на рис. 4 колеблется вблизи нуля. Во второй период преобладают многоводные годы, ИРКС идет вверх. В третий период ИРКС падает, преобладают маловодные годы. Несомненно, главная причина таких явлений заключается в климатических изменениях. Не исключено антропогенное влияние, в частности, массовое строительство и реконструкция мелиоративных осушительных систем в Калининградской области.

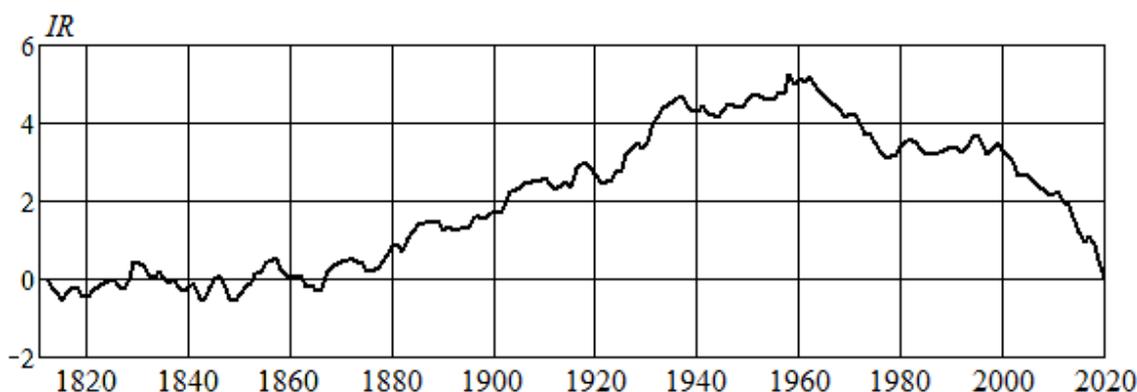


Рис. 4. Интегрально-разностная кривая стока р. Матросовки (ГП «Мостовое»)  
Fig. 4. Integral-difference flow curve of the Matrosovka River (GP "Mostovoe")

Для уточнения указанной выше периодизации были рассчитаны выборочные средние  $Q_{sj}$  в каждый период при варьировании их границ. Наибольшая разница выборочных средних получилась при назначении границ периодов, приведенных в табл. 1, где обозначены:  $j$  – номер периода,  $n_j$  – количество лет в  $j$ -м периоде,  $\sigma_j$  – среднее квадратичное отклонение (точечная оценка),  $C_v$  – коэффициент вариации,  $C_s$  – коэффициент асимметрии,  $r_1$  – коэффициент корреляции между расходами за смежные годы.

Таблица 1. Параметры среднего годового расхода реки Матросовки по периодам  
Table 1. Parameters of the average annual flow rate of the Matrosovka River by period

$j$	Годы	$n_j$	$Q_{sj}, \text{м}^3/\text{с}$	$\sigma_j, \text{м}^3/\text{с}$	$C_v$	$C_s$	$C_s/C_v$	$r_1$
1	1812-1876	65	135,6	23,6	0,174	0,346	1,987	0,272
2	1877-1957	81	142,8	21,1	0,155	0,403	2,019	0,181
3	1958-2020	63	125,0	24,7	0,194	0,204	1,048	0,274

Проверку однородности выполним сначала между 1-й и 2-й частью ряда, затем – между 2-й и 3-й. Используем стандартные критерии Фишера со статистикой  $F$  и Стьюдента со статистикой  $T$ :

$$F_{1-2} = (\sigma_1 / \sigma_2)^2, F_{2-3} = (\sigma_3 / \sigma_2)^2; \quad (4)$$

$$T_{1-2} = \frac{|Q_{s1} - Q_{s2}|}{S_{1-2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}, T_{2-3} = \frac{|Q_{s2} - Q_{s3}|}{S_{2-3}} \cdot \sqrt{\frac{n_2 \cdot n_3}{n_2 + n_3}}; \quad (5)$$

где  $S_{1-2}, S_{2-3}$  – средневзвешенное отклонение годовых расходов указанных периодов.

Результаты расчета по формулам (4)–(5) приведены в табл. 2. Критические значения статистик взяты при уровне значимости 5 %.

Таблица 2. Результаты проверки гипотезы однородности ряда  
Table 2. The results of testing the hypothesis of the homogeneity of the series

По периодам	Критерий Фишера			Критерий Стьюдента		
	$F$	$F_{кр}$	Гипотеза	$T$	$T_{кр}$	Гипотеза
1-2	1,14	1,47	не отвергается	0,04	1,97	не отвергается
2-3	1,21	1,48	не отвергается	2,72	1,97	отвергается

Из табл. 2 следует:  $T_{2-3} > T_{кр}$ . Как было показано в [16], критические значения  $F_{кр}$ ,  $T_{кр}$  нужно определять с учетом влияния коэффициента автокорреляции ряда  $r_1$ . В частности, критические значения статистики Стьюдента  $T_{кр+}$  при наличии автокорреляции можно рассчитать по формуле:

$$T_{кр+} = C_r \cdot T_{кр}, \quad (6)$$

где  $C_r$  – переходный коэффициент, определяемый в зависимости от  $r_1$  и уровня значимости.

В [12] по таблицам из [16] был подобран многочлен аппроксимации для  $C_r$ . При уровне значимости 5 % он принимает следующий вид:

$$C_r = 1,033 + 0,579 \cdot r_1 + 2,357 \cdot r_1^2. \quad (7)$$

В рассматриваемом случае при проверке гипотезы однородности частей ряда за периоды 2–3 по формулам (6), (7) получим  $T_{кр+} = 2,19$ , с поправочным коэффициентом  $T_{2-3} > T_{кр+}$ . Значит, гипотеза однородности 2 и 3 частей ряда должна быть отвергнута из-за большой разницы выборочных средних расходов.

#### РАСЧЕТ ГОДОВЫХ РАСХОДОВ ЗАДАННОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ

Если ряд наблюдений неоднородный, в нормативных документах рекомендуется рассчитывать обеспеченность среднего годового расхода при трех интервалах однородности по формуле:

$$P = (n_1 P_1(Q) + n_2 P_2(Q) + n_3 P_3(Q)) / (n_1 + n_2 + n_3); \quad (8)$$

при двух интервалах однородности (2 и 3) по формуле:

$$P = (n_2 P_2(Q) + n_3 P_3(Q)) / (n_2 + n_3). \quad (9)$$

В формулах (8), (9) теоретические обеспеченности  $P_1(Q)$ ,  $P_2(Q)$ ,  $P_3(Q)$  необходимо найти по данным за соответствующий период наблюдений. В качестве теоретической плотности вероятности была принята модель Крицкого-Менкеля как наиболее подходящая для ряда среднегодовых расходов:

$$f(k) := \frac{1}{b \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot \left( \frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \right)^{\alpha/b} \cdot k^{\alpha/b-1} \cdot \exp \left[ - \left( \frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \cdot k \right)^{1/b} \right]. \quad (10)$$

где  $\Gamma$  – гамма-функция,  $k = Q/Q_s$  – модульный коэффициент годового расхода.

Здесь для определения параметров  $\alpha$  и  $b$  в (10) воспользуемся методом наибольшего правдоподобия [17], где была сформирована система уравнений:

$$\lambda 2 + \ln \left( \frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \right) - \frac{b}{\Gamma(\alpha)} \cdot \left( \int_0^\infty t^{\alpha-1} \cdot \ln(t) \cdot \exp(-t) dt \right) = 0; \quad (11)$$

$$\alpha \cdot \lambda_2 - \left( \frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \right)^{1/b} \cdot \left[ \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \left[ \ln(k_i) \cdot (k_i)^{1/b} \right] \right] + b = 0; \quad (12)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \ln(k_i)$$

Система уравнений (11), (12) была решена численным методом для каждой из частей, а также для всего ряда как однородного. В последнем случае получились значения:  $\lambda_2 = -0,0158$ ;  $\alpha = 5,852$ ;  $b = 0,418$ .

Функция распределения и теоретическая вероятность превышения среднего годового расхода (обеспеченность) определяются по формулам:

$$F(k) := \int_0^k f(t) dt; \quad P(Q) := 100 \cdot \left( 1 - F\left(\frac{Q}{Q_s}\right) \right). \quad (13)$$

Расход при заданной обеспеченности  $P$  был рассчитан тремя способами:  $Q_{p0}$  – по всему ряду как однородному;  $Q_{p1}$  – по трем частям неоднородного ряда, формула (8);  $Q_{p2}$  – по двум последним частям неоднородного ряда, формула (9). Графики, полученные в последнем случае, показаны на рис. 5.

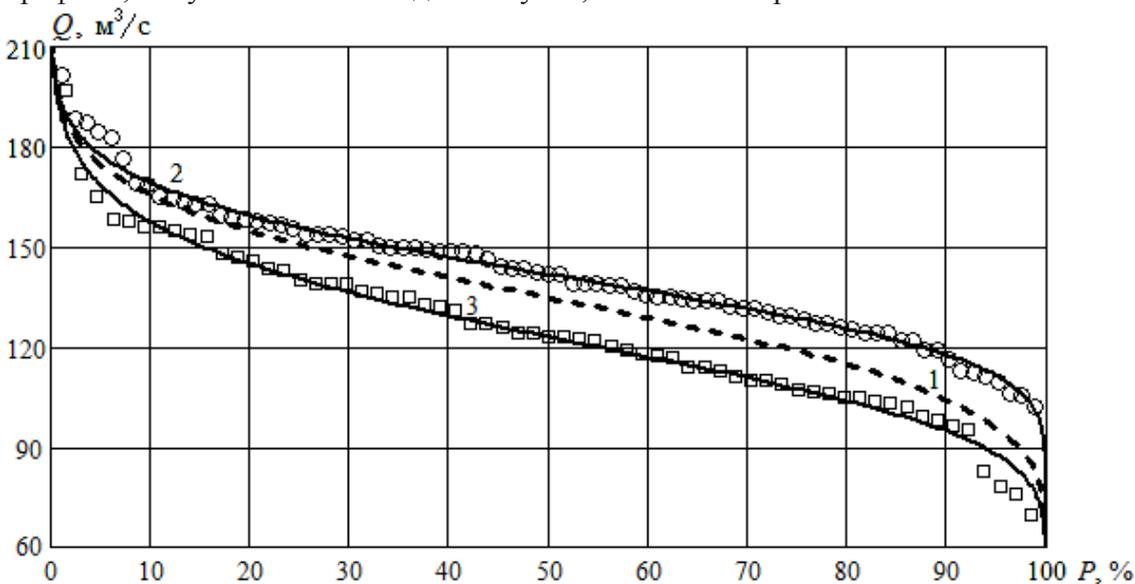


Рис. 5. Кривые обеспеченности средних годовых расходов р. Матросовки.

Точки – эмпирические (по результатам наблюдений), линии – теоретические (Крицкого-Менкеля); 1 – расчет по формуле (9); 2 – за период 2; 3 – 3

Fig. 5. Curves of security of the average annual flow rate of the Matrosovka River. Points – empirical (based on the results of observations), lines – theoretical (Kritsky-Menkel); 1 – calculation by formula (9); 2 – for the period 2; 3 – 3

Из табл. 3 видно, что наибольшие расхождения между значениями расхода, рассчитанными указанными методами, получаются при  $P < 1\%$ , но и тогда относительная погрешность составляет менее 3%. При других значениях обеспеченности погрешность еще меньше.

Таблица 3. Результаты расчета расходов воды заданной вероятности превышения  
 Table 3. Results of calculation of water flow rate of a given probability of exceeding

$P, \%$	0,5	1	5	10	25	50	75	90	99
$Q_{p0}, \text{ м}^3/\text{с}$	198,3	192,1	174,8	165,9	151,0	134,7	118,9	105,1	82,5
$Q_{p1}, \text{ м}^3/\text{с}$	201,2	194,0	175,3	165,9	150,8	134,6	118,8	104,9	82,7
$Q_{p2}, \text{ м}^3/\text{с}$	200,3	193,2	174,9	165,7	150,8	134,8	118,7	104,2	81,3

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, использование р. Варты (правый приток Одера) в ранее опубликованных работах для восстановления ряда среднегодовых расходов р. Матросовки (например, в [11]) привело к серьезным ошибкам из-за нарушения условий гидрологического подобия. Показано, что всем требованиям, предъявляемым к реке-аналогу, удовлетворяет р. Неман, при этом ряд наблюдений за среднегодовыми расходами в створе г. Смалининкай (Литва) насчитывает более 200 лет (с 1812 г.).

Для восстановления ряда среднегодовых расходов р. Матросовки был использован известный метод Е. Г. Иванова. Линейный тренд показывает небольшое снижение стока за все время наблюдений. Анализ параболического тренда и интегрально-разностной кривой стока показал, что восстановленный ряд можно разбить по водности на три периода: первый – с 1812 г. до середины 70-х годов 19-го века со средним расходом  $Q_{s1} = 135,6 \text{ м}^3/\text{с}$ , второй – до конца 50-х годов 20-го века,  $Q_{s2} = 142,8 \text{ м}^3/\text{с}$ , третий – с конца 50-х годов прошлого века по 2020-й год,  $Q_{s3} = 125,0 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Гипотеза однородности ряда была отвергнута (по критерию Стьюдента) из-за большой разницы  $Q_{s2}$  и  $Q_{s3}$ . Параметры теоретической кривой обеспеченности среднегодовых расходов (Крицкого-Менкеля) были найдены тремя способами: по всему ряду как однородному, по составной формуле для трех периодов и по составной формуле для двух последних периодов. Разница между расчетными расходами заданной вероятности превышения, найденными указанными способами, оказалось менее 3 %. Следовательно, для их определения можно использовать теоретическую кривую, рассчитанную для всего ряда (или двух последних периодов), как для однородного.

### Список источников

1. Бурбах А. С., Шибяев С. В., Соколов А. В. Воспроизводительная способность корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) в реке Неман Куршского залива // Известия КГТУ. 2016. № 43. С. 99–106.
2. Эволюция промысла корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinhus* L.) в реках Куршского залива бассейна Балтийского моря / А. С. Бурбах, С. В. Шибяев, А. В. Соколов, О. А. Новожилов // Рыбное хозяйство. 2019. № 3. С. 85–89.

3. Спирин Ю. А., Пунтусов В. Г. Тенденции и перспективы развития гидромелиоративного комплекса Славского района Калининградской области // Овощи России. 2021. № 2. С. 86–92.
4. Пунтусов В. Г., Ерин А. А. Совершенствование реконструкции осушительных систем Калининградской области // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2022. Т. 8. № 1. С. 25–29.
5. Геоэкологические аспекты переноса биогенных веществ трансграничными реками (на примере Калининградской области) / С. В. Шибяев, Н. Н. Нагорнова, Т. А. Берникова, Н. А. Цупикова // Известия КГТУ. 2011. № 22. С. 134–141.
6. Debolskaya E., Ostyakova A., Ivanov A. Laboratory and mathematical modeling aspects of impurity distribution in permafrost river beds // Power Technology and Engineering. 2021. V. 55. N. 1. P. 1–6.
7. Валл Е. В., Ахмедова Н. Р. Эколого-гидрохимические исследования малых водотоков Калининградской области // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2021. Т. 7. № 4. С. 33–37.
8. Assessment of characteristics and distinguished hydrological periods of a river regime / М. А. Faiz, D. Liu, Q. Fu, M. I. Khan, T. Li, S. Cui // Environmental Earth Sciences. 2018. V. 77. P. 1–12.
9. Braşovanu L., Nistoran D.E.G., Armaş I. The hydrological regime of the Prahova River along Carpathian and Subcarpathian stretch // GeoPatterns. 2018. V. 3. Iss. 1. P. 32–42.
10. Наумов В. А. Максимальные годовые расходы воды малых рек Славского района Калининградской области // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12. № 4. С. 367–383.
11. Спирин Ю. А. Гидрологические характеристики речного стока в геоэкологических исследованиях поверхностных вод Славского района Калининградской области // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2021. Т. 31. № 2. С. 185–197.
12. Ахмедова Н. Р., Наумов В. А. Особенности неоднородного гидрологического ряда реки Неман в створе города Смалининкай // Известия вузов. Строительство. 2021. № 12 (756). С. 66–76.
13. Наумов В. А., Маркова Л. В. Восстановление данных о среднемесячных расходах реки Неман за время Второй мировой войны // Известия КГТУ. 2012. № 24. С. 64–68.
14. Climate induced changes of Lithuanian rivers runoff in 1960–2009 / E. Stonevicius, G. Valiuškevicius, E. Rimkus, J. Kazys // Water Resources. 2014. V. 41. N 5. P. 592–603.
15. Иванов Е. Г. Об особенностях формирования и способах описания статистических зависимостей в гидрологии // Водное хозяйство России. 2007. № 2. С. 22–26.
16. Рождественский А. В., Лобанов В. А., Лобанова А. Г. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. Санкт-Петербург: Нестор-История, 2010. 162 с.
17. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. 424 с.

## References

1. Burbakh A. S., Shibaev S. V., Sokolov A. V. Vosproizvoditel'naya sposobnost' koryushki (*Osmerus eperlanus eperlanus L.*) v reke Neman Kurshskogo zaliva [Reproductive capacity of smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus L.*) in the Neman River of the Curonian Lagoon]. *Izvestiya KGTU*. 2016, no. 43, pp. 99–106.
2. Burbakh A. S., Shibaev S. V., Sokolov A. V., Novozhilov O. A. Evolyutsiya promysla koryushki (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinhus L.*) v rekakh Kurshskogo zaliva basseyna Baltiyskogo morya [The evolution of smelt fishing (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinhus L.*) in the rivers of the Curonian Lagoon of the Baltic Sea basin]. *Rybnoe khozyaystvo*. 2019, no. 3, pp. 85–89.
3. Spirin Yu. A., Puntusov V. G. Tendentsii i perspektivy razvitiya gidromeli-orativnogo kompleksa Slavskogo rayona Kaliningradskoy oblasti [Trends and prospects of the development of the hydroelectric complex of the Slavsky district of the Kaliningrad region]. *Ovoshchi Rossii*. 2021, no. 2, pp. 86–92.
4. Puntusov V. G., Erin A. A. Sovershenstvovanie rekonstruktsii osushitel'nykh sistem Kaliningradskoy oblasti [Improvement of reconstruction of drainage systems of the Kaliningrad region]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2022, vol. 8, no. 1, pp. 25–29.
5. Shibaev S. V., Nagornova N. N., Bernikova T. A., Tsupikova N. A. Geoekologicheskie aspekty perenosa biogennykh veshchestv transgranichnymi rekami (na primere Kaliningradskoy oblasti) [Geoecological aspects of the transfer of nutrients by transboundary rivers (on the example of the Kaliningrad region)]. *Izvestiya KGTU*. 2011, no. 22, pp. 134–141.
6. Debolskaya E., Ostyakova A., Ivanov A. Laboratory and mathematical modeling aspects of impurity distribution in permafrost river beds. *Power Technology and Engineering*. 2021, vol. 55, no. 1, pp. 1–6.
7. Vall E. V., Akhmedova N. R. Ekologo-gidrokhimicheskie issledovaniya malykh vodotokov Kaliningradskoy oblasti [Ecological and hydrochemical studies of small streams Kaliningrad region]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2021, vol. 7, no. 4, pp. 33–37.
8. Faiz M. A., Liu D., Fu Q., Khan M.I., Li T., Cui S. Assessment of characteristics and distinguished hydrological periods of a river regime. *Environmental Earth Sciences*. 2018, vol. 77, pp. 1–12.
9. Braşovanu L., Nistoran D.E.G., Armaş I. The hydrological regime of the Práhova River along Carpathian and Subcarpathian stretch. *GeoPatterns*. 2018, vol. 3, iss. 1, pp. 32–42.
10. Naumov V. A. Maksimal'nye godovye raskhody vody malykh rek Slavskogo rayona Kaliningradskoy oblasti [Maximum annual water consumption of small rivers of the Slavsky district of the Kaliningrad region]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*. 2022, vol. 12, no. 4, pp. 367–383.
11. Spirin Yu. A. Gidrologicheskie kharakteristiki rechnogo stoka v geoekologicheskikh issledovaniyakh poverkhnostnykh vod Slavskogo rayona Kaliningradskoy oblasti [Hydrological characteristics of river flow in geoecological studies of surface waters of the Slavsky district of the Kaliningrad region]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle*. 2021, vol. 31, no. 2, pp. 185–197.

12. Akhmedova N. R., Naumov V. A. Osobennosti neodnorodnogo gidrologicheskogo ryada reki Neman v stvore goroda Smalininkay [Features of the heterogeneous hydrological series of the Neman River in the alignment of the Smalininkai city]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2021, no. 12 (756), pp. 66–76.

13. Naumov V. A., Markova L. V. Vosstanovlenie dannykh o srednemesyachnykh raskhodakh reki Neman za vremya Vtoroy mirovoy voyny [Restoration of data on average monthly flows of the Neman River during the Second World War]. *Izvestiya KGTU*. 2012, no. 24, pp. 64–68.

14. Stonevicius E., Valiuškevicius G., Rimkus E., Kazys J. Climate induced changes of Lithuanian rivers runoff in 1960–2009. *Water Resources*. 2014, vol. 41, no. 5, pp. 592–603.

15. Ivanov E. G. Ob osobennostyakh formirovaniya i sposobakh opisaniya statisticheskikh zavisimostey v gidrologii [On the peculiarities of the formation and methods of describing statistical dependencies in hydrology]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii*. 2007, no. 2, pp. 22–26.

16. Rozhdestvenskiy A. V., Lobanov V. A., Lobanova A. G. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke odnorodnosti gidrologicheskikh kharakteristik i opredeleniyu ikh raschetnykh znacheniy po neodnorodnym dannym* [Methodological recommendations for assessing the homogeneity of hydrological characteristics and determining their calculated values from heterogeneous data]. Saint-Petersburg, Nestor-Istoriya Publ., 2010. 162 p.

17. Rozhdestvenskiy A. V., Chebotarev A. I. *Statisticheskie metody v gidrologii* [Statistical methods in hydrology]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1974. 424 p.

### Информация об авторе

**В. А. Наумов** – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности и природообустройства

### Information about the author

**V. A. Naumov** – Doctor of Technical Sciences, Professor of Technosphere Safety and Environmental Engineering Department

Статья поступила в редакцию 10.05.2023; одобрена после рецензирования 24.05.2023; принята к публикации 05.06.2023.

The article was submitted 10.05.2023; approved after reviewing 24.05.2023; accepted for publication 05.06.2023.