

## ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 626.860.41, 627.1:627.133

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-367-383

### Максимальные годовые расходы воды малых рек Славского района Калининградской области

**Владимир Аркадьевич Наумов**

Калининградский государственный технический университет, Калининград,  
Российская Федерация, van-old@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0560-5933>

**Аннотация. Цель:** восстановить ряды максимальных годовых расходов воды (МГРВ) малых рек Славского района Калининградской области и определить расчетные значения МГРВ с необходимой для проектировщиков обеспеченностью. **Материалы и методы.** Исходные материалы – данные наблюдений Росгидромета за расходами воды на р. Злой, Осе и Немонинке (бассейн р. Немонин) и на р. Инструч. Река Инструч была использована в качестве аналога для восстановления МГРВ р. Злой за несколько пропущенных лет наблюдений. У р. Осы имеется самый короткий ряд наблюдений, для его восстановления, как и для р. Немонин, аналогом послужила р. Злая. Была выдвинута гипотеза, что МГРВ рек Славского района подчиняются трехпараметрическому гамма-распределению (Крицкого – Менкеля). Для решения системы интегральных уравнений был использован ранее разработанный численный метод. **Результаты.** Установлена тесная стохастическая связь между МГРВ притоков р. Немонин за годы совместных наблюдений. Это позволило получить восстановленные ряды МГРВ за 1955–2019 гг. Были построены кривые обеспеченности трех малых рек, подтвердилась гипотеза о возможности применения распределения Крицкого – Менкеля. По аналитическим выражениям указанного распределения были найдены расчетные значения МГРВ заданных вероятностей превышения. **Выводы.** На гидрологические характеристики исследованных рек бассейна Немонина сильное влияние оказывают функции водоприемников осушительных мелиоративных систем. Из-за невозможности разделения пиковых годовых расходов на максимумы дождевых и талых вод для каждой реки были восстановлены единые ряды МГРВ, независимо от их происхождения. У притоков р. Немонин отношение максимальных расходов к средним годовым заметно ниже, чем у р. Инструч, которая находится в сходных гидрологических условиях, но не подвержена столь сильному антропогенному воздействию. Рассчитанные модули МГРВ заданных вероятностей превышения могут быть использованы при проектировании осушительных систем и гидротехнических сооружений.

**Ключевые слова:** мелиоративные осушительные системы, водоприемники, реки Злая, Оса, Немонинка, максимальные годовые расходы, восстановление рядов, вероятность превышения

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

**Для цитирования:** Наумов В. А. Максимальные годовые расходы воды малых рек Славского района Калининградской области // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 367–383. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-367-383>.

## HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

### Maximum annual water discharges of small rivers in Slavsky district Kaliningrad region

Vladimir A. Naumov

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russian Federation, van-old@mail.ru,  
<https://orcid.org/0000-0003-0560-5933>

**Abstract. Purpose:** to restore the series of maximum annual water discharges (MAWD) of small rivers in Slavsky district Kaliningrad region and determine the calculated values of MAWD with the necessary availability for designers. **Materials and methods.** The basic material – observational data of Roshydromet for water discharges on the Zlaya, Osa and Nemoninka (Nemonin river basin) rivers and on the Instruch river. The Instruch river was used as an analogue for the restoration of the MAWD on the Zlaya river for a few missed years of observation. The river Osa has the shortest series of observations, for its restoration, as well as for the Nemonin river, the Zlaya river served as an analogue. A hypothesis that the MAWD of the rivers of the Slavsky district obey a three-parameter gamma distribution (Kritsky-Menkel) was put forward. To solve the system of integral equations, a previously developed numerical method was used. **Results.** A close stochastic relationship between the MAWD of the tributaries of the Nemonin river has been determined for years of joint observations. This made it possible to obtain the restored MAWD series for 1955–2019. The probability curves of three small rivers were constructed, and the hypothesis on possibility of using the Kritsky-Menkel distribution was confirmed. According to the analytical expressions of the specified distribution, the calculated values of the MAWD of the given exceedance probabilities were found. **Conclusions.** The hydrological characteristics of the studied rivers of the Nemonin basin are strongly influenced by the functions of water intakes of draining reclamation systems. Due to the impossibility of dividing the peak annual discharges into the maxima of rain and melt water for each river, a single series of MAWD was restored, regardless of their origin. At the tributaries of the Nemonin river, the ratio of maximum discharges to average annual ones is noticeably lower than that of the Instruch river, which is under the similar hydrological conditions, but is not subject to such a strong anthropogenic impact. The calculated MAWD modules of the given exceedance probabilities can be used in the design of drainage systems and hydraulic structures.

**Keywords:** reclamation draining systems, water intakes, the Zlaya, the Osa, the Nemoninka rivers, maximum annual water discharge, row restoration, exceedance probability

**Acknowledgments:** the work was supported financially by the Russian Science Foundation and the Government of Kaliningrad Region within the framework of the scientific project no. 22-27-20016.

**For citation:** Naumov V. A. Maximum annual water discharges of small rivers in Slavsky district Kaliningrad region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(4): 367–383. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-367-383>.

**Введение.** Мелиоративные осушительные системы относятся к классу природно-технических комплексов (ПТК), в которых осуществляется взаимосвязь и взаимодействие «природная среда – объект деятельности – население» [1, 2]. Малые реки являются наиболее уязвимым звеном в по-

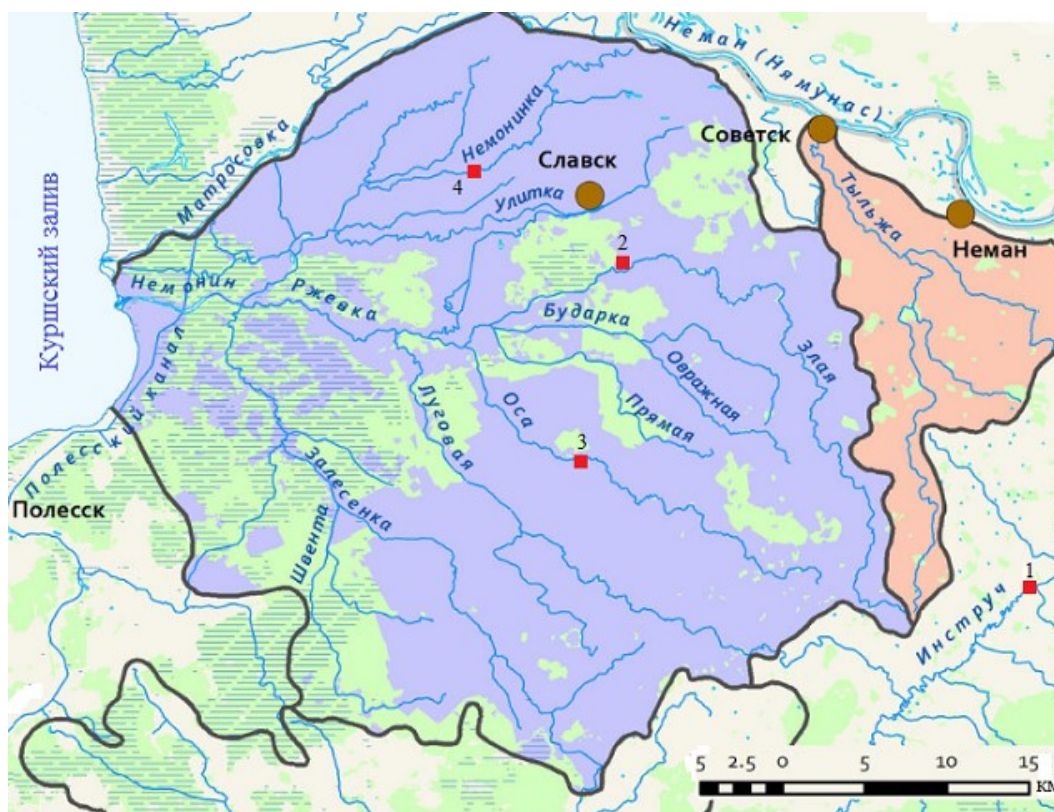
добных комплексах. Строительство гидротехнических сооружений (ГТС), осушение болот, введение в эксплуатацию мелиоративных систем, сброс сточных вод могут заметно повлиять на экологическое состояние и гидрологические характеристики таких водотоков. Поэтому изучению различных вопросов состояния малых рек посвящено много публикаций ([3–6] и библиография в них).

Наряду с общими закономерностями, присущими малым рекам в составе ПТК Северо-Западного федерального округа России, водотоки Калининградской области имеют существенные особенности. Эти особенности связаны с деятельностью в течение нескольких веков в Восточной Пруссии переселенцев из Нидерландов. Было построено большое количество осушительных систем с механическим подъемом воды – польдеров. Часть малых рек стала водоприемниками вод с осушаемых земель, их русла были углублены и спрямлены. В настоящее время на территории Калининградской области расположено около 20 % всех мелиорированных земель и 70 % польдеров России.

Как известно, в 60–70-е гг. прошлого века в нашей стране было развернуто строительство большого количества осушительных мелиоративных систем. В Калининградской области также вкладывались значительные средства в эту отрасль, включая расширение и реконструкцию уже существующих осушительных систем. Весьма интересным представляется анализ влияния осушительных мероприятий на гидрологические характеристики водотоков [7]. Но, к сожалению, он практически не применим к водотокам Калининградской области, так как осушительные системы были созданы раньше начала систематических гидрологических наблюдений.

Самый крупный в Калининградской области (и в России) массив польдерных земель, площадь которого составляет примерно 68 тыс. га, расположен в Славском районе. Этим объясняется повышенный научный интерес к состоянию водотоков этой территории [8–13]. Для анализа со-

стояния бассейнов малых рек важно иметь многолетнюю, достоверную гидрологическую информацию. Во время интенсивных работ по осушению на малых реках Славского района действовало три гидрологических поста (ГП) (рисунок 1, таблица 1). Реки Злая, Оса и Немонинка относятся к бассейну р. Немонин, впадающей в Куршский залив Балтийского моря.



1 – р. Инструч (Ульяново); 2 – р. Злая (Приозерье);

3 – р. Оса (Краснознаменское); 4 – р. Немонинка (Тимирязево).

За основу взята схема из атласа Д. А. Домнина, Б. В. Чубаренко [14]

1 – the Instruch river (Ulyanovo); 2 – the Zlaya river (Priozerie); 3 – the Osa river (Krasnoznamenskoe); 4 – the Nemoninka river (Timiryazev).

Based on the scheme from the D. A. Domnin and B. V. Chubarenko atlas [14]

**Рисунок 1 – Схема расположения гидрологических постов**

**Figure 1 – Hydrological posts layout**

**Таблица 1 – Сведения о гидрологических постах**

**Table 1 – Information on hydrological posts**

| Река – ГП                    | Площадь до ГП, км <sup>2</sup> | Расстояние от истока, км | Год наблюдения         |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Инструч – пос. Ульяново      | 587                            | 51                       | 1885 – настоящее время |
| Злая – пос. Краснознаменское | 142                            | 50                       | 1961 – настоящее время |
| Оса – пос. Приозерье         | 68,5                           | 26                       | 1962–1972              |
| Немонинка – пос. Тимирязево  | 75,0                           | 25                       | 1962–1986              |

В настоящее время действует только один ГП на р. Злой. В связи с этим представляются весьма актуальными работы [12, 13], в которых была предпринята попытка восстановления гидрологических рядов на ГП малых рек Славского района. Однако весьма спорным является выбор [12] рек в Польше, Германии и Шотландии в качестве аналогов для малых рек в Славском районе Калининградской области. Нарушено требование географической близости расположения водосборов, а также ряд условий гидрологического подобия. В работе Ю. А. Спирина (2021) [12] рассматриваются средние годовые расходы воды, в исследовании Ю. А. Спирина (2020) [13] – средние месячные. Тогда как проектировщиков ГТС и осушительных мелиоративных систем интересуют в первую очередь пиковые расходы воды. Ни в одной из перечисленных работ максимальные годовые расходы воды (МГРВ) не рассматриваются.

Цель данной статьи – восстановить ряды МГРВ малых рек Славского района и определить расчетные значения МГРВ с необходимой для проектировщиков обеспеченностью.

**Материалы и методы.** В качестве исходных материалов использовались данные наблюдений Росгидромета за расходами воды на ГП, указанных в таблице 1. До 1986 г. они публиковались в Гидрологических ежегодниках. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО)<sup>1</sup> в настоящее время предоставляет данные наблюдений в электронной форме по 2019 г.

Как видно из данных таблицы 1, самый длинный ряд наблюдений за расходами воды на реках Славского района – на р. Злой (с 1961 г.). Однако отсутствуют данные наблюдений за 1987–1989, 1992, 2005–2007 гг. Кроме того, ранее нами была показана целесообразность изучения тенден-

---

<sup>1</sup>Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 15.07.2022).

ций гидрологических характеристик на реках региона с середины 50-х гг. прошлого века [15]. Поэтому кроме указанных лет будем восстанавливать ряд МГРВ р. Злой за 1955–1960 гг.

В качестве аналога для восстановления ряда МГРВ р. Злой целесообразно выбрать р. Инструч. Она относится к бассейну р. Преголи, но действующий на р. Инструч ГП в пос. Ульяново расположен всего в 51 км от ее истока и в непосредственной близости к бассейну р. Немонин (см. рисунок 1). Поэтому схожесть гидрологических условий обеспечена. Также выполнены все требования свода правил<sup>2</sup> к рекам-аналогам, в частности, число лет совместных наблюдений не менее шести, в нашем случае – 52; коэффициент парной корреляции равен 0,702.

Для восстановления пропущенных данных использовался метод, описанный в работе Е. Г. Иванова [16]. Так как статистическая связь МГРВ р. Инструч  $Q_1$ , м<sup>3</sup>/с, и р. Злой  $Q_2$ , м<sup>3</sup>/с, формируется за счет присутствия случайной составляющей в структуре обеих сравниваемых величин, то за ее оценку нужно принимать линию, соответствующую центральной оси эллипса рассеяния переменных [16]. Эта линия занимает среднее положение между регрессиями  $Q_2$  по  $Q_1$  (1) и  $Q_1$  по  $Q_2$  (2) и описывается уравнением (3):

$$Q_2 = Qm_2 + r \cdot \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot (Q_1 - Qm_1), \quad (1)$$

$$Q_1 = Qm_1 + r \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \cdot (Q_2 - Qm_2), \quad (2)$$

$$Q_2 = Qm_2 + \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot (Q_1 - Qm_1), \quad (3)$$

где  $Qm_2$ ,  $Qm_1$  – средние значения МГРВ соответственно р. Злой и Иструч за годы совместных наблюдений, м<sup>3</sup>/с;

$r$  – коэффициент парной корреляции;

---

<sup>2</sup>Определение основных расчетных гидрологических характеристик: СП 33-101-2003. М.: Госстрой России, 2004. 73 с.

$\sigma_2, \sigma_1$  – средние квадратичные отклонения МГРВ р. Злой и Иструч соответственно, м<sup>3</sup>/с.

Особенность приведенного уравнения (3) заключается в том, что в указанных условиях оно характеризует связь не исходных величин, а их детерминированных составляющих МГРВ.

Для проверки применимости модели случайной величины для каждого ряда МГРВ рассчитаем оценку коэффициента автокорреляции между смежными членами по формулам из СП 33-101-2003:

$$r1 = -0,01 + 0,98 \cdot rc - 0,06 \cdot rc^2 + \frac{1}{n} (1,66 + 6,46 \cdot rc + 5,66 \cdot rc^2), \quad (4)$$

где  $r1$  – несмещенная оценка коэффициента автокорреляции;

$rc$  – смещенная оценка коэффициента автокорреляции;

$n$  – длина ряда, лет;

$$rc = \frac{\sum_{i=2}^n [(Q_i - QP_1) \cdot (Q_{i-1} - QP_2)]}{\sqrt{\sum_{i=2}^n [(Q_i - QP_1)^2]} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} [(Q_i - QP_2)^2]}},$$

$$QP_1 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=2}^n Q_i, \quad QP_2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} Q_i.$$

где  $i$  – порядковый номер члена ряда;

$Q_i$  – годовое значение расхода воды, м<sup>3</sup>/с;

$QP_1, QP_2$  – вспомогательные средние значения, м<sup>3</sup>/с.

Как известно, одним из наиболее подходящих распределений для МГРВ является трехпараметрический закон (Крицкого – Менкеля) с плотностью вероятности [17]:

$$f(k_i) = \frac{1}{b \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot \left( \frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \right)^{\alpha/b} \cdot k_i^{\alpha/b-1} \cdot \exp \left[ - \left( \frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \cdot k_i \right)^{1/b} \right], \quad (5)$$

где  $k_i = Q_i / Qm$  – модульные коэффициенты МГРВ;

$Qm$  – среднее многолетнее значение МГРВ, м<sup>3</sup>/с;

$b, \alpha$  – два безразмерных параметра распределения, определяемых по ряду наблюдений;

$\Gamma$  – гамма-функция.

Третьим параметром является  $Qm$  – среднее многолетнее значение МГРВ.

Функция обеспеченности  $P(k)$  выражается через функцию распределения  $F(k)$ :

$$P(k) := 1 - F(k).$$

Как известно, функцию распределения  $F(k)$  можно найти интегрированием плотности вероятности  $f(k)$ :

$$F(k) := \int_0^k f(x) dx.$$

Параметры теоретического закона распределения будем искать с помощью системы уравнений (метод наибольшего правдоподобия) [17]:

$$\lambda + \ln\left(\frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)}\right) - \frac{b}{\Gamma(\alpha)} \cdot \left(\int_0^\infty t^{\alpha-1} \cdot \ln(t) \cdot \exp(-t) dt\right) = 0, \quad (6)$$

$$\alpha \cdot \lambda - \left(\frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)}\right)^{1/b} \cdot \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n [\ln(k_i) \cdot (k_i)^{1/b}]\right] + b = 0, \quad (7)$$

где  $\lambda$  – вспомогательный параметр;

$t$  – безразмерная переменная интегрирования.

Вспомогательный параметр  $\lambda$  рассчитывается по формуле:

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

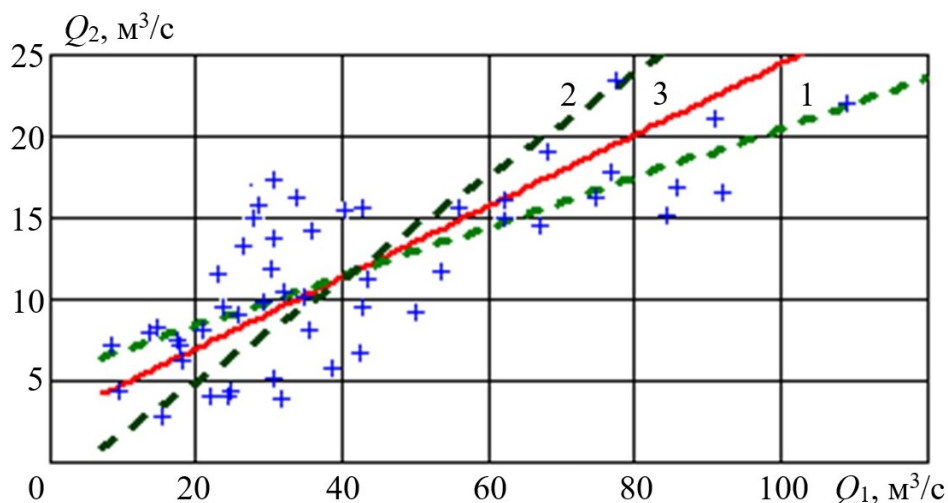
Система уравнений (6), (7) решалась численным методом с помощью ранее разработанных компьютерных программ, описанных нами ранее [18].

В СП 33-101-2003 предписано определять расчетные характеристики максимального стока воды рек весеннего половодья и дождевых паводков отдельно. Но при невозможности разделения максимальных за год расхо-



дов воды на максимумы дождевых и талых вод допускается построение кривых распределения ежегодных вероятностей превышения МГРВ независимо от их происхождения. Именно такая ситуация на реках Калининградской области наиболее ярко проявляется с середины 50-х гг. прошлого века [15]. Поэтому далее будем рассматривать единые кривые распределения МГРВ для каждой реки.

**Результаты и обсуждение.** Для совместных наблюдений р. Инстрuch и Злой были рассчитаны параметры формул (1)–(3):  $Qm_1 = 40,56 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $\sigma_1 = 24,50 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Qm_2 = 11,49 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $\sigma_2 = 5,35 \text{ м}^3/\text{с}$ . Результаты расчета по формулам (1)–(3) в сравнении с данными наблюдений показаны на рисунке 2.



Точки – данные наблюдений; линии – результаты расчетов:

1 – по формуле (1); 2 – по формуле (2); 3 – по формуле (3)

Points are observational data; lines are results of calculations:

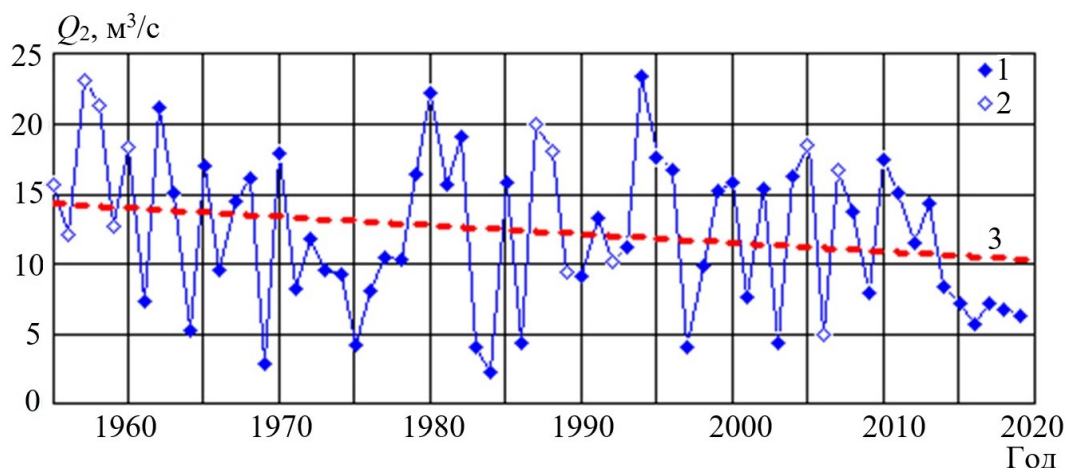
1 – according to the formula (1); 2 – according to the formula (2);

3 – according to the formula (3)

**Рисунок 2 – Связь между максимальными годовыми расходами воды р. Инстрuch ( $Q_1$ ) и р. Злой ( $Q_2$ )**

**Figure 2 – Relationship between the maximum annual water discharges of the Instruch ( $Q_1$ ) and the Zlaya ( $Q_2$ ) rivers**

Восстановленный ряд МГРВ р. Злой показан на рисунке 3. Линейный тренд показывает снижение МГРВ с 1955 по 2019 г. на  $3,9 \text{ м}^3/\text{с}$ , что составляет 29,3 % от среднего многолетнего значения.



Точки: 1 – данные наблюдений; 2 – восстановленные; 3 – линейный тренд  
Points: 1 – observational data; 2 – restored; 3 – linear trend

**Рисунок 3 – Максимальные годовые расходы воды р. Злой (гидропост Приозерье)**

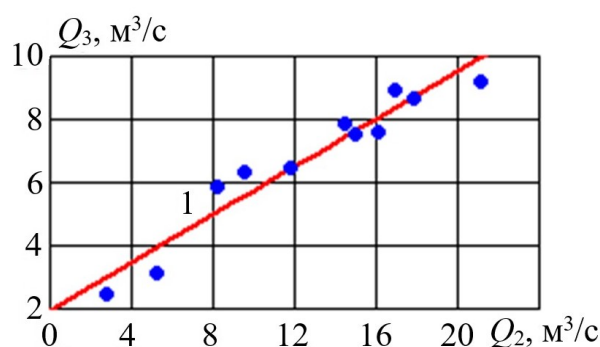
**Figure 3 – The maximum annual water discharges of the river Zlaya (hydraulic station Priozerie)**

Коэффициент корреляции между МГРВ р. Злой и Осы за 11 лет совместных наблюдений (1962–1972 гг.) весьма высок ( $r = 0,889$ ). Точки на рисунке 4 хорошо согласуются с уравнением линейной регрессии:

$$Q_3 = 1,962 + 0,379 \cdot Q_2, \quad (8)$$

где  $Q_3$  – МГРВ р. Осы, м³/с;

$Q_2$  – МГРВ р. Злой, м³/с.



Точки – данные наблюдений; прямая линия 1 – расчет по формуле (8)  
Points are observational data; straight line 1 is calculation by formula (8)

**Рисунок 4 – Связь между максимальными годовыми расходами воды р. Злой ( $Q_2$ ) и р. Осы ( $Q_3$ )**

**Figure 4 – Relationship between the maximum annual water discharges of the Zlaya ( $Q_2$ ) and the Osa rivers ( $Q_3$ )**

Формула (8) была использована для восстановления ряда МГРВ р. Осы. Аналогичным образом был восстановлен ряд МГРВ р. Немонинки, который обозначим  $Q_4$ , м<sup>3</sup>/с. Коэффициент автокорреляции смежных членов, рассчитанный по формуле (4), у всех рассматриваемых рядов МГРВ не превышал 0,03. Поэтому модель случайной величины вполне применима. Кроме того, была выдвинута гипотеза об однородности рядов МГРВ.

В таблице 2 представлены результаты решения системы уравнений (6), (7) численным методом для отдельных рек.

**Таблица 2 – Параметры распределения максимальных годовых расходов воды (1955–2019 гг.)**

**Table 2 – Distribution parameters of the maximum annual water discharges (1955–2019)**

| Название реки | $Qm$ , м <sup>3</sup> /с | $\alpha$ | $b$   |
|---------------|--------------------------|----------|-------|
| Злая          | 12,3                     | 0,529    | 0,271 |
| Оса           | 6,59                     | 1,369    | 0,345 |
| Немонинка     | 2,73                     | 1,244    | 0,361 |

Теоретические кривые обеспеченности были построены с использованием формулы (5) и числовых параметров из таблицы 2. Эмпирические значения вероятности превышения МГРВ были рассчитаны по формуле, предписанной СП 33-101-2003:

$$P_i = \frac{i}{n+1} 100,$$

где  $P_i$  – эмпирические значения вероятности превышения МГРВ, %;

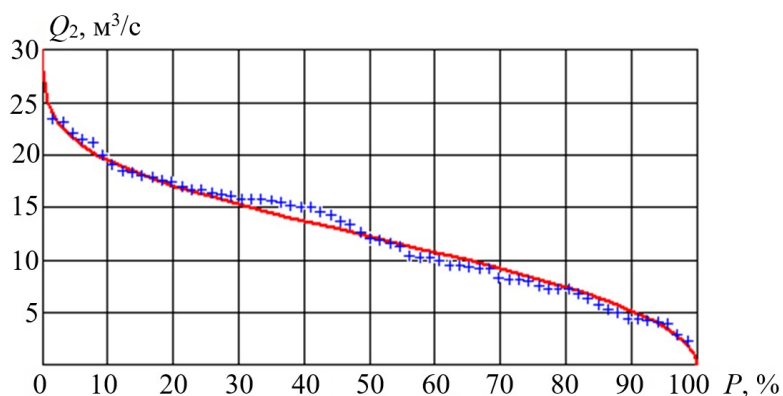
$i$  – порядковый номер члена ряда по убыванию;

$n$  – общее число членов ряда.

По данным рисунков 5–7 видно вполне удовлетворительное согласие теоретической и эмпирической обеспеченности МГРВ для трех рек. Это было подтверждено с помощью критериев Пирсона и Колмогорова.

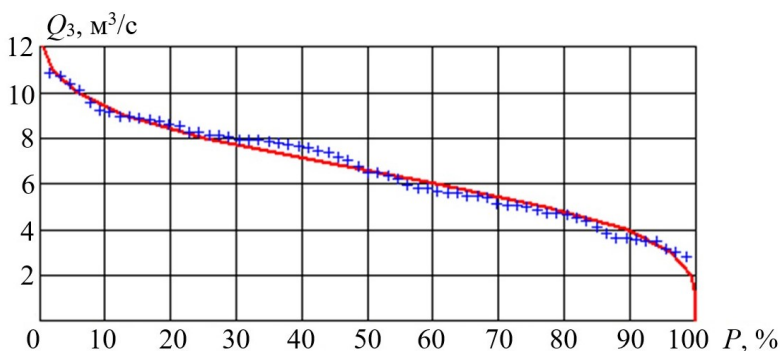
Сравним средние и максимальные годовые расходы. Результаты внесены в таблицу 3:  $Qm$  – средние многолетние значения, рассчитанные

по МГРВ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q_s$  – средний многолетний расход (норма расхода),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  
 $M_m$ ,  $M_s$  – соответствующие модули стока,  $\text{м}^3/\text{с}$ .



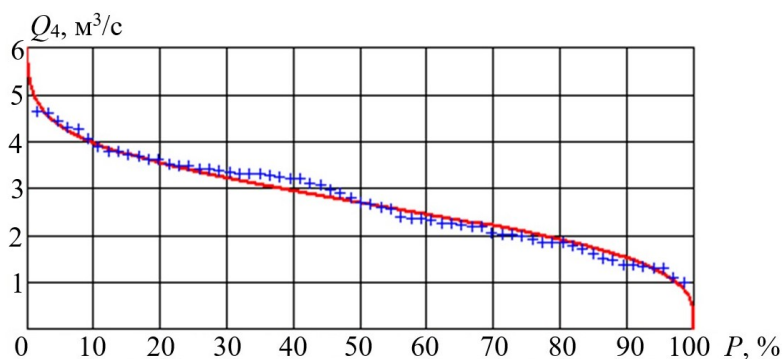
**Рисунок 5 – Теоретическая (линия) и эмпирическая (точки) кривая обеспеченности максимальных годовых расходов воды р. Злой**

**Figure 5 – Theoretical (line) and empirical (points) probability curve for the maximum annual water discharges of the Zlaya river**



**Рисунок 6 – Теоретическая (линия) и эмпирическая (точки) кривая обеспеченности максимальных годовых расходов воды р. Осы**

**Figure 6 – Theoretical (line) and empirical (points) probability curve for the maximum annual water discharges of the Osa river**



**Рисунок 7 – Теоретическая (линия) и эмпирическая (точки) кривая обеспеченности максимальных годовых расходов воды р. Немонинки**

**Figure 7 – Theoretical (line) and empirical (points) probability curve for the maximum annual water discharges of the Nemoninka river**

**Таблица 3 – Сравнение средних и максимальных годовых расходов воды**

**Table 3 – Comparison of average and maximum annual water discharges**

| Название реки | $Q_s$ , м <sup>3</sup> /с | $M_s$ , л/(с·км <sup>2</sup> ) | $M_m$ , л/(с·км <sup>2</sup> ) | $M_m / M_s$ |
|---------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|
| Инструч       | 3,73                      | 6,35                           | 74,1                           | 11,7        |
| Злая          | 1,40                      | 9,83                           | 86,5                           | 8,78        |
| Оса           | 0,77                      | 11,3                           | 96,3                           | 8,55        |
| Немонинка     | 0,56                      | 7,46                           | 36,4                           | 4,87        |

По данным таблицы 3 отношение  $M_m / M_s$  существенно отличается у разных рек. Такое положение, скорее всего, связано с особенностями названных рек. Река Немонинка служит водоприемником многочисленных мелиоративных систем с механическим водоподъемом, расположенных в ее бассейне. Следствием этого является снижение пиковых годовых расходов воды, отношение  $M_m / M_s$  самое маленькое. На МГРВ р. Злой и Осы такое антропогенное влияние несколько меньше, а отношение  $M_m / M_s$  – больше. В бассейне р. Инструч антропогенное влияние на сток наименьшее, поэтому МГРВ не сглажены, а отношение  $M_m / M_s$  – наибольшее.

В СП 58.13330.2019<sup>3</sup> указано, что при проектировании постоянных речных ГТС расчетные максимальные расходы воды в реке следует принимать исходя из ежегодной вероятности превышения, устанавливаемой в зависимости от класса ответственности сооружений. Для ГТС 2, 3 и 4-го классов предписаны следующие обеспеченности  $P_j = 0,1; 0,5; 1; 3; 5$ . Чтобы найти соответствующие расходы  $Q_j$ , численным методом решалось уравнение:

$$P_j = 100 \cdot (1 - F(Q_j / Q_m)),$$

где  $j$  – индекс, принимает значения от 1 до 5;

$F$  – функция распределения модульных коэффициентов МГРВ;

$Q_j$  – расчетный МГРВ заданной обеспеченности  $P_j$ , м<sup>3</sup>/с;

---

<sup>3</sup>Гидротехнические сооружения. Основные положения СНиП 33-01-2003: СП 58.13330.2019: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва Рос. Федерации 16.12.19: введ. в действие с 17.06.20. М.: Стандартинформ, 2020. 34 с.

$Q_m$  – средние многолетние значения, рассчитанные по МГРВ, м<sup>3</sup>/с.

Полученные расходы были пересчитаны на модули стока и представлены в таблице 4.

**Таблица 4 – Модули максимальных годовых расходов воды заданной обеспеченности**

В л/(с·км<sup>2</sup>)

**Table 4 – Modules of maximum annual water discharges of a given probability**

In l/(s·km<sup>2</sup>)

| Река      | M <sub>0,1%</sub> | M <sub>0,5%</sub> | M <sub>1%</sub> | M <sub>3%</sub> | M <sub>5%</sub> |
|-----------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Немонинка | 76,4              | 69,9              | 66,6            | 60,8            | 57,7            |
| Злая      | 197,6             | 181,5             | 173,4           | 158,3           | 150,0           |
| Оса       | 191,1             | 175,7             | 168,2           | 154,5           | 147,3           |

**Выводы.** На гидрологические характеристики малых рек Славского района Калининградской области оказывает сильное влияние то, что они служат водоприемниками мелиоративных систем с механическим водоподъемом. Из-за невозможности разделения пиковых годовых расходов на максимумы дождевых и талых вод для каждой реки были восстановлены единые ряды МГРВ, независимо от их происхождения. Линейный тренд восстановленных рядов МГРВ показывает некоторое снижение за рассмотренный период (1955–2019 гг.). У рек Славского района отношение максимальных расходов к средним годовым заметно ниже, чем у р. Инструч, которая находится в сходных гидрологических условиях, но не подвержена столь сильному антропогенному воздействию. Рассчитаны модули МГРВ для вероятностей превышения, предписанных нормативным документом по проектированию ГТС.

#### **Список источников**

1. Bondarenko V. L., Semenova E. A., Aliferov A. V. Methodological basics of assessing ecological safety in the zones where waterworks units influence natural habitats with the use of water resources // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 483(1). DOI: 10.1088/1757-899X/483/1/012111.

2. Методологические основы развития специализированного типа природно-технических систем использования водных ресурсов / Е. А. Семёнова, В. Л. Бондаренко, Е. Д. Хецуриани, М. И. Штавакер // Вестник Волгоградского государственного ар-

хитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 63–73.

3. Великанов Н. Л., Наумов В. А. Сброс сточных вод в малые водотоки // Вода: химия и экология. 2017. № 10. С. 86–93.

4. Формирование русел малых рек Приволжской возвышенности в условиях многовекового сельскохозяйственного освоения / Р. С. Чалов, Д. В. Ботавин, А. Л. Варёнов, А. С. Тарбеева, А. М. Завадский // География и природные ресурсы. 2018. № 3. С. 86–94. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-3(86-94).

5. Assessment of characteristics and distinguished hydrological periods of a river regime / M. A. Faiz, D. Liu, Q. Fu, M. I. Khan, T. Li, S. Cui // Environmental Earth Sciences. 2018. Vol. 77. P. 1–12. DOI: 10.1007/S12665-018-7913-5.

6. Sagdeev N. Z., Yunusov G. Kh., Khamzaeva J. T. On the problem of calculation of water resources of small low-mountain rivers // International Journal of Psychosocial Rehabilitation. 2020. Vol. 24, iss. 8. P. 6276–6291. DOI: 10.37200/IJPR/V24I8/PR280649.

7. Назаров Н. Н. Гидрологические последствия осушительной мелиорации и русловые процессы // Географический вестник. 2014. № 1(28). С. 4–9.

8. Нагорнова Н. Н., Берникова Т. А., Цупикова Н. А. Гидрогеохимическая характеристика малых рек Калининградской области // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2011. № 7. С. 160–166.

9. Результаты натурных исследований малых водотоков на мелиорированных землях региона / Н. Л. Великанов, В. А. Наумов, Л. В. Маркова, А. А. Смирнова // Вода: химия, экология. 2013. № 7. С. 18–26.

10. Наумов В. А. Зависимость коэффициента шероховатости русла малой реки Злой от глубины // Вестник науки и образования Северо-Запада России [Электронный ресурс]. 2018. Т. 4, № 1. С. 79–87. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2018/01/2018-N1-Naumov.pdf> (дата обращения: 15.07.2022).

11. Спирин Ю. А. Улучшение мелиоративного состояния осушаемых сельскохозяйственных земель польдерного массива в Славском районе Калининградской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 1(33). С. 39–54. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=986> (дата обращения: 15.07.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-39-54.

12. 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. DOI: 10.35634/2412-9518-2021-31-2-185-197.

13. Спирин Ю. А. Анализ внутригодового распределения стока рек Славского района Калининградской области // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44, № 2. С. 231–242. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-2-231-242.

14. Домнин Д. А., Чубаренко Б. В. Атлас трансграничных речных бассейнов Калининградской области. Калининград: Терра Балтика, 2007. 36 с.

15. Наумов В. А., Ахмедова Н. Р. Инженерные изыскания в бассейне реки Преголи: монография. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2017. 183 с.

16. Иванов Е. Г. Об особенностях формирования и способах описания статистических зависимостей в гидрологии // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2007. № 2. С. 22–27.

17. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии: монография. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 424 с.

18. Наумов В. А. Методы обработки гидрологической информации // Вестник УМО по образованию в области природообустройства и водопользования. 2015. Вып. 7. С. 144–150.

## References

1. Bondarenko V.L., Semenova E.A., Aliferov A.V., 2019. Methodological basics of assessing ecological safety in the zones where waterworks units influence natural habitats with the use of water resources. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 483(1), DOI: 10.1088/1757-899X/483/1/012111.
2. Semyonova E.A., Bondarenko V.L., Khetsuriani E.D., Shtavdaker M.I., 2020. *Metodologicheskie osnovy razvitiya spetsializirovannogo tipa prirodno-tekhnicheskikh sistem ispol'zovaniya vodnykh resursov* [Methodological basis for the development of a specialized type of natural and technical systems for the use of water resources]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture], iss. 2(79), pp. 63-73. (In Russian).
3. Velikanov N.L., Naumov V.A., 2017. *Sbros stochnykh vod v malye vodotoki* [Discharge of sewage into streams]. *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: Chemistry and Ecology], no. 10, pp. 86-93. (In Russian).
4. Chalov R.S., Botavin D.V., Varenov A.L., Tarbeeva A.S., Zavadsky A.M., 2018. *Formirovanie rusel malykh rek Privolzhskoy vozvyshechnosti v usloviyakh mnogovekovogo sel'skokhozyaystvennogo osvoeniya* [Formation of small rivers channels of the Volga Upland under the conditions of centuries-long agricultural development]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], no. 3, pp. 86-94, DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-3(86-94). (In Russian).
5. Faiz M.A., Liu D., Fu Q., Khan M.I., Li T., Cui S., 2018. Assessment of characteristics and distinguished hydrological periods of a river regime. *Environmental Earth Sciences*, vol. 77, pp. 1-12, DOI: 10.1007/S12665-018-7913-5.
6. Sagdeev N.Z., Yunusov G.Kh., Khamzaeva J.T., 2020. On the problem of calculation of water resources of small low-mountain rivers. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, vol. 24, iss. 8, pp. 6276-6291, DOI: 10.37200/IJPR/V24I8/PR280649.
7. Nazarov N.N., 2014. *Gidrologicheskie posledstviya osushitel'noy melioratsii i ruslovye protsessy* [Hydrological consequences of drainage reclamation and channel processes]. *Geograficheskiy vestnik* [Geographic Bulletin], no. 1(28), pp. 4-9. (In Russian).
8. Nagornova N.N., Bernikova T.A., Tsupikova N.A., 2011. *Gidrogeokhimicheskaya kharakteristika malykh rek Kaliningradskoy oblasti* [Hydrogeochemical characteristics of small rivers in Kaliningrad region]. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvennye i meditsinskie nauki* [Bulletin of the Immanuel Kant BFU. Series: Natural and Medical Sciences], no. 7, pp. 160-166. (In Russian).
9. Velikanov N.L., Naumov V.A., Markova L.V., Smirnova A.A., 2013. *Rezultaty naturnykh issledovaniy malykh vodotokov na meliorirovannykh zemlyakh regiona* [Results of field studies of small streams on reclaimed lands of the region]. *Voda: khimiya, ekologiya* [Water: Chemistry, Ecology], no. 7, pp. 18-26. (In Russian).
10. Naumov V.A., 2018. *Zavisimost' koeffitsienta sherokhovatosti rusla maloy reki Zloy ot glubiny* [Dependence of the roughness coefficient of the small river Zlaya bed on depth]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii* [Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia], vol. 4, no. 1, pp. 79-87, available: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2018/01/2018-N1-Naumov.pdf> [accessed 15.07.2022]. (In Russian).
11. Spirin Yu.A., 2019. [Improving the reclamation state of drained agricultural lands of the polder massif in the Slavsky district Kaliningrad region]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(33), pp. 39-54, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=986> [accessed 15.07.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-39-54. (In Russian).
12. Spirin Yu.A., 2021. *Gidrologicheskie kharakteristiki rechnogo stoka v geoekologii-*



*cheskikh issledovaniyakh poverkhnostnykh vod Slavskogo rayona Kaliningradskoy oblasti* [Hydrological characteristics of river runoff in geocological studies of surface water in Slavsky district Kaliningrad region]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle* [Bulletin of Udmurt University. Ser. Biology. Earth Sciences], vol. 31, no. 2, pp. 185-197, DOI: 10.35634/2412-9518-2021-31-2-185-197. (In Russian).

13. Spirin Yu.A., 2020. *Analiz vnutrigodovogo raspredeleniya stoka rek Slavskogo rayona Kaliningradskoy oblasti* [Analysis of the intra-annual distribution of river flow in Slavsky district Kaliningrad region]. *Regional'nye geosistemy* [Regional Geosystems], vol. 44, no. 2, pp. 231-242, DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-2-231-242. (In Russian).

14. Domnin D.A., Chubarenko B.V., 2007. *Atlas transgranichnykh rechnykh basseynov Kaliningradskoy oblasti* [Atlas of Transboundary River Basins of Kaliningrad Region]. Kaliningrad, Terra Baltica Publ., 36 p. (In Russian).

15. Naumov V.A., Akhmedova N.R., 2017. *Inzhenernye izyskaniya v bassejne reki Pregoli: monografiya* [Engineering Surveys in the Pregoli River Basin: monograph]. Kaliningrad, KSTU Publ., 183 p. (In Russian).

16. Ivanov E.G., 2007. *Ob osobennostyakh formirovaniya i sposobakh opisaniya statisticheskikh zavisimostey v gidrologii* [On the features of the formation and methods of describing statistical dependencies in hydrology]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water Management of Russia: Problems, Technologies, Management], no. 2, pp. 22-27. (In Russian).

17. Rozhdestvensky A.V., Chebotarev A.I., 1974. *Statisticheskie metody v gidrologii: monografiya* [Statistical Methods in Hydrology: monograph]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 424 p. (In Russian).

18. Naumov V.A., 2015. *Metody obrabotki gidrologicheskoy informatsii* [Methods of processing hydrological information]. *Vestnik UMO po obrazovaniyu v oblasti prirodoobustroystva i vodopol'zovaniya* [Bulletin of UMO for Education in the Field of Environmental Management and Water Use], iss. 7, pp. 144-150. (In Russian).

---

#### ***Информация об авторе***

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

#### ***Information about the author***

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

*Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.*

*The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.*

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.*

*The author declares no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 18.07.2022; одобрена после рецензирования 09.09.2022; принята к публикации 26.09.2022.*

*The article was submitted 18.07.2022; approved after reviewing 09.09.2022; accepted for publication 26.09.2022.*