

ГИДРАВЛИКА. ГЕОТЕХНИКА. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 556.046:556.166.2

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.12.1957-1965

Сравнение способов определения слоя суточных осадков для расчета максимальных расходов дождевых паводков (на примере Калининградской области)

Владимир Аркадьевич Наумов, Наталья Равиловна Ахмедова

Калининградский государственный технический университет (КГТУ); г. Калининград, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Для подготовки документов территориального планирования при проектировании и строительстве следует учитывать требования организации безопасной среды жизнедеятельности, оценивать риски проявления негативного воздействия поверхностных вод, в том числе возможность затопления территории застройки. С этой целью выполняются инженерно-гидрометеорологические изыскания, определяют максимальные расчетные расходы и уровни воды в ближайших водных объектах. При проведении гидрологических расчетов важная роль отводится количественным показателям осадков, в том числе максимальным суточным осадкам. Рассмотрен способ повышения точности моделирования максимального суточного слоя ливневых осадков на примере метеостанций Калининградской области.

Материалы и методы. В среде MathCAD обработаны массивы данных результатов наблюдений за осадками по четырем метеостанциям: Советск (26614), Балтийск (26701), Калининград (26702), Железнодорожный (26706). Основным источником результатов наблюдений — специализированные массивы данных для климатических исследований за период 1977–2021 гг.

Результаты. Определены значимая стохастическая связь между суммами годовых осадков для указанных метеостанций и слабая — между максимальными за год значениями 24-часовых сумм осадков. Рассчитаны числовые параметры рядов максимальных сумм осадков на четырех метеостанциях Калининградской области за 1977–2021 гг. Вычислено относительное превышение значений максимальных 24-часовых сумм осадков над значениями максимальных суточных сумм по метеостанциям Советск, Балтийск, Калининград, Железнодорожный.

Выводы. Установлено, что с помощью 8-срочных наблюдений за осадками можно повысить точность расчета максимальных сумм суточных (24-часовых) осадков. Полученные результаты могут быть использованы при анализе осадков и расчете максимальных расходов дождевых паводков на реках с площадью водосбора менее 200 км².

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инженерные изыскания для строительства, максимальный расход дождевых паводков, максимальный суточный слой осадков, суточные суммы осадков, Калининградская область, статистические параметры, метеорологические сутки, гидрологические расчеты

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., Ахмедова Н.Р. Сравнение способов определения слоя суточных осадков для расчета максимальных расходов дождевых паводков (на примере Калининградской области) // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 12. С. 1957–1965. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.12.1957-1965

Автор, ответственный за переписку: Наталья Равиловна Ахмедова, isfendi@mail.ru.

Comparison of methods for determining the layer of daily precipitation for calculation of the maximum expenses of rain floods (on the example of the Kaliningrad region)

Vladimir A. Naumov, Natal'ya R. Ahmedova

Kaliningrad State Technical University (KSTU); Kaliningrad, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. To prepare territorial planning documents, during design and construction it is necessary to take into account the requirements for organizing a safe living environment, assess the risks of negative impact of surface waters, including the possibility of flooding of the development area. For this purpose, engineering and hydrometeorological surveys are carried out, the maximum estimated flow rates and water levels in the nearest water bodies are determined. When performing hydrological calculations, an important role is given to quantitative indicators of precipitation, including maximum daily pre-

precipitation. The article considers a method of increasing the accuracy of modelling the maximum daily rainfall on the example of meteorological stations in the Kaliningrad region.

Materials and methods. Data arrays of the results of precipitation observations at four weather stations — Sovetsk (26614), Baltiysk (26701), Kaliningrad (26702), Zheleznodorozhny (26706) were processed in Mathcad. The main source of observational results is specialized datasets for climate research for the period from 1977 to 2021.

Results. A significant stochastic relationship between the annual precipitation amounts for the indicated meteorological stations and a weak one between the maximum values of 24-hour precipitation amounts for the year were determined. Numerical parameters of the series of maximum precipitation amounts at four meteorological stations in the Kaliningrad region for 1977–2021 years are calculated. The relative excess of the values of the maximum 24-hour precipitation over the values of the maximum daily amounts at the weather stations Sovetsk, Baltiysk, Kaliningrad, Zheleznodorozhny was calculated.

Conclusions. It has been established that with the help of 8-term observations of precipitation, it is possible to increase the accuracy of calculation of the maximum amounts of daily (24-hour) precipitation. The results obtained can be used in the analysis of precipitation and calculation of the maximum discharges of rain floods on rivers with a catchment area of less than 200 km².

KEYWORDS: engineering surveys for construction, maximum flow of rain floods, maximum daily precipitation layer, daily sums of precipitation, Kaliningrad region, statistical parameters, meteorological days, hydrological calculations

Acknowledgements. The work was supported financially by 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., Ahmedova N.R. Comparison of methods for determining the layer of daily precipitation for calculation of the maximum expenses of rain floods (on the example of the Kaliningrad region). *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(12):1957-1965. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.12.1957-1965 (rus.).

Corresponding author: Natal'ya R. Ahmedova, isfendi@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наметился сдвиг в методологии оценок гидрологических последствий прогнозируемого изменения климата — от расчетов с помощью моделей климата к расчетам с применением региональных гидрологических моделей (РГМ) [1–5]. В работе [1] констатируется, что РГМ позволяют рассчитать характеристики водного режима рек за исторический период точнее и оценивать их возможные изменения в будущем с меньшей неопределенностью, чем модели климата.

Например, в схеме комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО)¹ с опорой на данные наблюдений до 2009 г. и модели климата утверждается, что водность рек Калининградской области (КО) в ближайшие 10–20 лет возрастет от 9 до 12 %. Но результаты наблюдений последних 10 лет и расчет по РГМ показали уменьшение среднегодовых расходов рек КО на фоне увеличения осадков и суммарного испарения [6]. Был дан прогноз: в ближайшей перспективе при сохранении существующей тенденции изменения климата среднегодовые расходы рек КО могут незначительно уменьшиться, при этом возможно заметное изменение внутригодового распределения стока [7]. Так, исторический максимум расхода воды в р. Преголе (возле г. Гвардейска КО) 849 м³/с был зафиксирован не в период весеннего половодья, а во время годового паводка (01.11.2017).

¹ Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Неман и рек бассейна Балтийского моря (российская часть в Калининградской области) : утв. приказом Невско-Ладожского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов от 09.12.2014 № 171.

В РГМ важную роль играет корректный учет осадков, определение максимального (за год) суточного слоя ливневых осадков (МССО) H_C является востребованным в инженерной гидрологии. В соответствии с действующим СП 33-101–2003 величина максимального суточного слоя ливневых осадков вероятностью превышения $P = 1\%$ ($H_{C1\%}$) необходима для расчета стока дождевых паводков с малых водосборов. Малыми водосборами, для которых возможно применение формулы предельной интенсивности (формула III типа)², являются такие, площадь которых ограничена величиной в 200 км² для всех природных зон.

Проблеме подбора закона распределения, адекватно описывающего статистику МССО, посвящено большое количество исследований [8–17]. Применение классических методов моделирования МССО, использующих асимптотическое распределение экстремальных значений, подробно проанализировано в обзоре [11]. Фишер и Типпет, а позже Гнеденко показали, что асимптотически существуют только три типа распределений экстремальных значений — распределение Гумбеля (EVI), распределение Фреше (EVII) и обратное распределение Вейбулла (EVIII). Эти три асимптотических распределения были объединены фон Мизесом в обобщенное распределение экстремальных значений (GEV).

Первыми исследованиями, в которых асимптотические распределения экстремальных значений использовались для моделирования появления максимальных годовых суточных осадков, были исследования Дженкинсона, а затем Гумбеля. Главное

² СП 33-101–2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М. : Госстрой России, 2004. 74 с.

преимущество асимптотических законов заключается в том, что они не требуют знания распределения генеральной совокупности. Распределение Гумбеля (GEV) было самой популярной моделью для экстремальных значений, особенно при анализе максимумов осадков. Однако было обнаружено, что распределение Гумбеля недооценивает экстремальные количества осадков, и высказано предположение, что GEV всегда следует использовать вместо распределения Гумбеля, если только не имеется достаточной информации, подтверждающей последнее [10].

В ряде работ изучалось, какой из этих трех асимптотических законов наиболее подходит для представления статистической изменчивости МССО. В публикации [16], используя всемирную базу данных, было показано, что GEV является наиболее подходящим асимптотическим распределением для описания МССО. Применимость теории асимптотических экстремальных значений к годовым максимумам осадков, как для суточных, так и для более коротких периодов, была поставлена под сомнение в труде [17]. Причиной является сравнительно медленная сходимости распределения годовых максимумов к асимптотическим законам. Следовательно, годовые МССО зависят от диапазона распределения генеральной совокупности, который значительно ниже его верхнего предела. Результаты показывают, что асимптотические законы часто не обеспечивают наилучшего соответствия статистическим показателям. Распределение GEV, конечно, можно использовать для определения экстремальных количеств осадков аналогично использованию любого другого распределения вероятностей. В этом случае, однако, следует иметь в виду, что оценка параметров GEV не будет иметь прямой связи со статистическими свойствами генеральной совокупности.

Другой подход к моделированию МССО связан с применением канонических законов распределения (экспоненциального, логарифмически нормального, гамма-распределения и других) к исходному массиву наблюдений за осадками. В работе [11] такие методы называют точными (exact). Хотя речь идет лишь о повышении точности моделей на основе канонических законов распределения. В то время как асимптотические распределения привлекательны для использования, поскольку они не требуют информации о нижележащем процессе, результаты нескольких авторов показывают, что их прогнозы менее надежны, чем точные, за пределами наблюдаемых значений потому, что последние включают информацию обо всех событиях выпадения осадков, а не только о максимумах [11]. Однако такое усложнение моделей не всегда приемлемо с точки зрения применения к задачам инженерной гидрологии.

В данной статье авторы остановились на достаточно простом способе повышения точности моделирования МССО. Во всех нормативных документах

и утвержденных рекомендациях МССО определяется в каждом году из массива наблюдений за метеорологические (календарные) сутки. Но в публикации [18] было показано, что такой подход может привести к заметному занижению значений максимальных сумм осадков. Например, в СП³ по метеостанциям (МС) Калининграда приводится наибольшее значение МССО за период наблюдений (1966–2018) — 118 мм, оно было зафиксировано 10.08.2005. Тогда как за 24 ч с 18:00 (здесь и далее сроки наблюдений приводятся по Гринвичу) 09.08.2005 в Калининграде выпало осадков 138,5 мм.

В настоящее время сложилась практика, при которой сумму суточных осадков фиксируют по метеорологическим суткам. Так, в Северо-Западном управлении по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, включая КО, граница метеорологических суток установлена 18:00 по Всемирному скоординированному времени. Физический смысл использования суточного слоя осадков в расчетах неявно предполагает сумму осадков за 24 ч вне зависимости от начала отсчета указанного периода. Далее будем использовать понятия 24-часовая сумма осадков R_{24} и максимальное за год значение 24-часовых сумм осадков H_{24} , в отличие от календарных суточных, соответственно, R_c и H_c .

В работе [18] был предложен метод компьютерной обработки результатов 8-срочных наблюдений за осадками, который позволяет избежать ошибок, подобных приведенной выше.

Цель исследования — на примере метеостанций КО сравнить максимальные суточные и 24-часовые суммы осадков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследовано изменение суммы годовых осадков в Кенигсберге/Калининграде за полтора века наблюдений. Источниками послужили монография [19] (до 1948 г.) и специализированные массивы данных для климатических исследований⁴ (1948–2022). Ряд сумм годовых осадков не является однородным. С середины XIX в. наблюдался заметный рост количества осадков, но параболический тренд показывает, что этот рост замедлялся, а концу 70-х годов прошлого века практически прекратился. Мало того, после многоводного 2017 г. последовало подряд 5 лет меньшей водности. Кроме климатических изменений, на такую разницу могли повлиять заниженные результаты наблюдений за осадками в предыдущий период из-за отсутствия учета потерь осадкомеров.

³ СП 131.13330.2020. Строительная климатология. М. : Стандартинформ, 2020. 150 с.

⁴ ФГБУ ВНИИ гидрометеорологической информации. Специализированные массивы данных для климатических исследований.

Базовые массивы данных по основным метеорологическим элементам (измеряемые каждые 3 ч) можно получить в электронной форме на интернет-ресурсе. ФГБУ ВНИИ гидрометеорологической информации в рамках реализации концепции глобальной рамочной основы для климатического обслуживания обеспечено функционирование открытого полноценного доступа к специализированным климатическим массивам данных. Массив данных «8-срочные наблюдения на станциях» содержит метеорологические элементы по большому количеству МС России.

Наземная наблюдательная сеть Калининградского Центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды состоит из семи МС. В базе есть данные по четырем станциям (табл. 1).

Если исключить годы с большими пробелами в результатах наблюдений, то по четырем МС можно воспользоваться массивами с данными по осадкам на четырех указанных в табл. 1 станциях с 1977 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В табл. 2 приведены рассчитанные значения коэффициентов парной корреляции (КПК) между H_{24} на разных станциях (выше главной диагонали). Ниже главной диагонали для сравнения приведены значения КПК между суммами годовых осадков.

Стохастическую связь между суммами годовых осадков можно считать значимой. Например, КПК Калининград – Советск равен 0,775. Стохастическая

связь между H_{24} метеостанций КО области слабая, нередко она практически отсутствует. Поэтому характеристики максимальных сумм осадков нужно рассчитывать отдельно по каждой станции. При анализе максимальных суточных и 24-часовых сумм осадков в Калининграде и Железнодорожном выяснилось, что за многие годы величина H_{24} заметно превышала H_C . Наибольшее различие между этими величинами на МС Железнодорожный (на 85 %) было зафиксировано в 1987 г. Рассмотрим этот случай подробнее.

На рис. 1, а показаны 3-часовые суммы осадков МС Железнодорожный в июне 1987 г. По применяемой методике фиксируется сумма осадков за метеорологические сутки, поэтому наибольшее значение 1987 г. получилось 6 июня $H_C = 23,9$ мм. Если начать отсчет с 9, 12 или 15 ч 05.06.1997, то за 24 ч получим наибольшую величину $H_{24} = 44,3$ мм (рис. 1, б), так как в указанный период попадают осадки за время с 15 до 21 ч 5 июня.

Не следует думать, что это уникальное явление, характерное лишь для КО. В СП⁵ для МС Мурманск приведено значение $H_C = 58$ мм, зафиксированное в 1977 г. Анализ результатов 8-срочных наблюдений за осадками указанной МС дал значение $H_{24} = 66,7$ мм в 2007 г.

Далее будем рассматривать ряды максимальных сумм суточных и 24-часовых осадков МС КО

⁵ СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Издание официальное. М. : Стандартинформ, 2020. 150 с.

Табл. 1. Метеостанции Калининградской области⁴
Table 1. Weather stations of the Kaliningrad region⁴

Номер метеостанции Weather station number	Название Name	Координаты Coordinates	Имеются результаты наблюдений за осадками There are results of observations of precipitation	
			Суточные Daily rainfall	8-срочные 8 urgent
26614	Советск Sovetsk	55.08 с. ш. 21.93 в. д. 55.08 p. w. 21.93 c. d.	с 1947 г. / since 1947	с 1977 г. / since 1977
26701	Балтийск Baltiysk	54.65 с. ш. 19.90 в. д. 54.65 p. w. 19.90 c. d.	с 1960 г. / since 1960	с 1966 г. / since 1966
26702	Калининград Kaliningrad	54.72 с. ш. 20.62 в. д. 54.72 p. w. 20.62 c. d.	с 1947 г. / since 1947	с 1966 г. / since 1966
26706	Железнодорожный Zheleznodorozhny	54.38 с. ш. 21.30 в. д. 54.38 p. w. 21.30 c. d.	с 1977 г. / since 1977	с 1977 г. / since 1977

Табл. 2. Коэффициенты парной корреляции между суммами осадков (1977–2021)
Table 2. Pair correlation coefficients between precipitation totals (1977–2021)

Метеостанция Weather station	Советск Sovetsk	Балтийск Baltiysk	Калининград Kaliningrad	Железнодорожный Zheleznodorozhny
Советск / Sovetsk	1	0,214	0,378	0,437
Балтийск / Baltiysk	0,423	1	0,286	-0,036
Калининград / Kaliningrad	0,775	0,635	1	0,322
Железнодорожный / Zheleznodorozhny	0,750	0,344	0,698	1

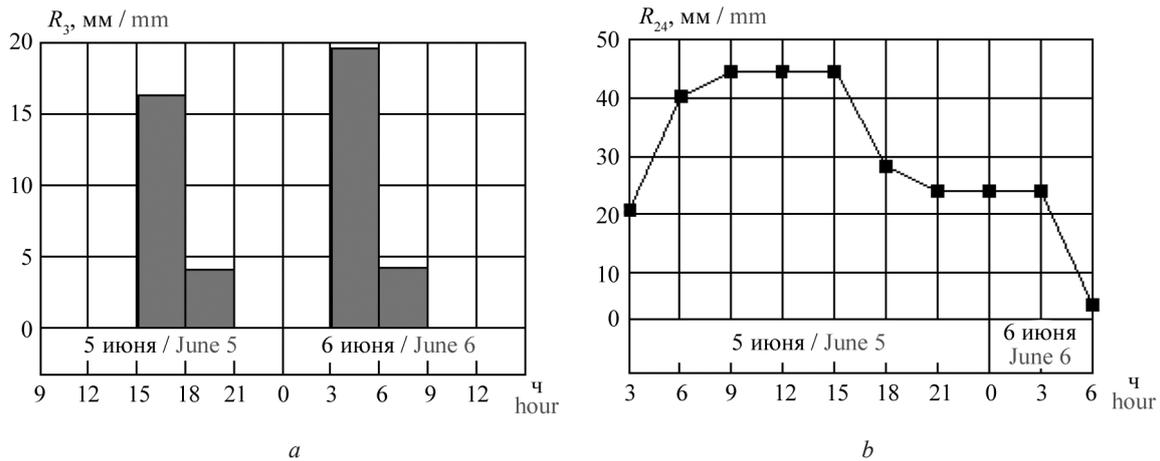


Рис. 1. Суммы осадков 5, 6 июня 1987 г. (МС Железнодорожный): а — 8-срочные (3-часовые); б — 24-часовые
 Fig. 1. Precipitation sums on June 5, 6, 1987 (Zheleznodorozhny): a — 8 urgent (3-hour); b — 24-hour

за 45 лет наблюдений (1977–2021). Линейный тренд по МС Советск и Железнодорожный получился слабо возрастающим, МС Балтийск — убывающим, МС Калининград — практически совпадает со средним значением. Проверка по критериям Фишера и Стьюдента показала, что все эти ряды можно считать однородными при уровне значимости 0,05.

Как известно, аналитическая кривая обеспеченности характеризуется тремя стандартными статистическими параметрами: средним значением \$H_s\$, коэффициентом вариации \$C_v\$, коэффициентом асимметрии \$C_s\$, которые рассчитываются по известным формулам:

$$H_s = \Sigma H_i / n; \quad (1)$$

$$C_v = \frac{(\Sigma (H_i / H_s - 1)^2)}{(n - 1)^{0.5}}; \quad (2)$$

$$C_s = n \Sigma \frac{(H_i / H_s - 1)^3}{((n - 1) \cdot (n - 2) \cdot C_v^3)}, \quad (3)$$

где \$H_i\$ — МССО в \$i\$-м году, мм; \$n\$ — длина ряда наблюдений (в рассматриваемом случае \$n = 45\$).

Наибольшая разница числовых параметров рядов \$H_C\$ и \$H_{24}\$ получилась по МС Балтийск. Для максимальных сумм осадков МС Балтийск наиболее подходящим теоретическим распределением оказалось трехпараметрическое гамма-распределение (Крицкого – Менкеля) с плотностью вероятности:

$$f_{\Gamma}(k) := \frac{1}{b \cdot \Gamma(a)} \cdot \left(\frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)} \right)^{a/b} \times k^{a/b-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)} \cdot k \right)^{1/b} \right], \quad (4)$$

где \$k = H_i / H_s\$ — модульный коэффициент; \$\Gamma\$ — гамма-функция, \$a, b\$ — параметры распределения, найденные методом наибольшего правдоподобия, путем решения численным методом системы уравнений (6), (5) из работы [20]:

$$\lambda_2 + \ln \left(\frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)} \right) - \frac{b}{\Gamma(a)} \times \left(\int_0^{\infty} t^{a-1} \cdot \ln(t) \cdot \exp(-t) dt \right) = 0 \quad (5)$$

$$a \cdot \lambda_2 - \left(\frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)} \right)^{1/b} \times \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\ln(k_i) \cdot (k_i)^{1/b} \right] \right] + b = 0, \quad (6)$$

где вспомогательный параметр рассчитывается по формуле (7):

$$\lambda_2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \ln(k_i). \quad (7)$$

По рис. 2 теоретические кривые хорошо согласуются с данными наблюдений, видно насколько кривая \$H_{24}\$ проходит выше, чем \$H_C\$.

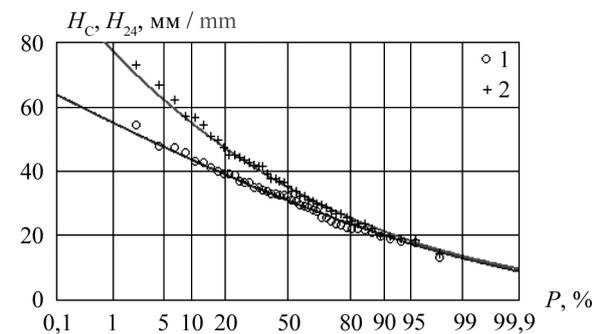


Рис. 2. Кривые обеспеченности максимальных сумм осадков (МС Балтийск), 1977–2021: точки — эмпирические: 1 — суточные; 2 — 24-часовые; линии — теоретические (Крицкого – Менкеля)

Fig. 2. Probability curves for maximum precipitation amounts (Baltiysk), 1977–2021: points — empirical: 1 — daily; 2 — 24-hour; lines — theoretical (Kritsky – Menkel)

Наименьшая разница числовых параметров рядов H_C и H_{24} получилась по МС Железнодорожный. Для максимальных сумм осадков МС Железнодорожный наиболее подходящим теоретическим распределением оказалось непрерывное биномиальное распределение (Пирсона III типа):

$$f_p(k) = \begin{cases} \frac{\exp(-\beta(k - k_{\min})) \cdot \beta^\alpha (k - k_{\min})^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} & \text{при } k \geq k_{\min} \\ 0 & \text{при } k < k_{\min}, \end{cases} \quad (8)$$

где параметры распределения в выражении (6) были рассчитаны по формулам, приведенным в труде [21]:

$$\alpha = \left(\frac{2}{C_S}\right)^2; \quad \beta = \frac{2}{(C_S \cdot C_V)}; \quad k_{\min} = \frac{1 - 2C_V}{C_S}. \quad (9)$$

Рассчитанные по формуле (9) значения параметров: для H_C $\alpha = 3,949$; $\beta = 6,103$; $k_{\min} = 0,353$; для H_{24} $\alpha = 6,422$; $\beta = 7,798$; $k_{\min} = 0,176$.

На рис. 3 разница между кривыми не столь значительна, как на рис. 2, но она четко прослеживается, за исключением сумм осадков с обеспеченностью выше 90 %. Следует отметить отклонение вверх от теоретических кривых точек, соответствующих наибольшим значениям как H_C , так и H_{24} . Это же было отмечено и на двух оставшихся МС (Советск и Калининград). Для максимальных сумм осадков указанных МС наиболее подходящим теоретическим распределением оказалось трехпараметрическое логарифмически нормальное.

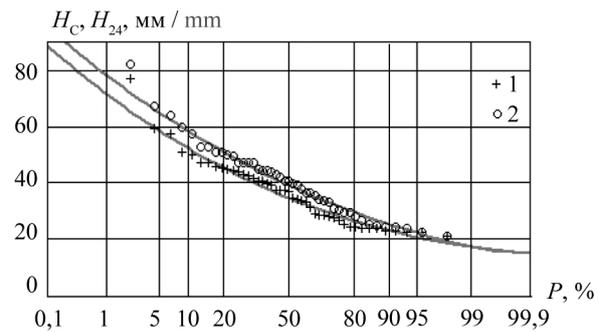


Рис. 3. Кривые обеспеченности максимальных суточных (1) и 24-часовых (2) сумм осадков (МС Железнодорожный): точки — эмпирические; линии — теоретические (Пирсона III типа)

Fig. 3. Probability curves for maximum daily (1) and 24-hour (2) total precipitation (Zheleznodorozhny): points are empirical, lines are theoretical (Pearson type III)

В табл. 3 показаны числовые параметры рядов максимальных сумм осадков на четырех МС за 1977–2021 гг. Относительное превышение параметров максимальных 24-часовых сумм осадков над максимальными суточными суммами рассчитано по формулам:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{1\%} &= (H_{24-1\%} / H_{C1\%} - 1) \cdot 100; \\ \varepsilon_{\max} &= (H_{24\max} / H_{C\max} - 1) \cdot 100. \end{aligned} \quad (10)$$

Табл. 3. Числовые параметры рядов максимальных сумм осадков (1977–2021)

Table 3. Numerical parameters of the series of maximum precipitation amounts (1977–2021)

Параметр Parameter	Советск Sovetsk	Балтийск Baltiysk	Калининград Kaliningrad	Железнодорожный Zheleznodorozhny
<i>Максимальные, за год, суточные суммы осадков</i> <i>Maximum, in a year, daily precipitation amounts</i>				
Среднее H_C , мм / Average H_C , mm	34,5	31,2	39,5	36,3
Наибольшее H_C , мм / The largest H_C , mm	71,8	54,2	118	76,8
C_V	0,391	0,296	0,417	0,326
C_S	1,102	0,270	2,793	1,006
$H_{C1\%}$, мм $H_{C1\%}$, mm	76,5	54,9	101	72,0
<i>Максимальные, за год, 24-часовые суммы осадков</i> <i>Maximum, in a year, 24-hour precipitation amounts</i>				
Среднее H_{24} , мм / Average H_{24} , mm	38,8	36,7	44,3	40,6
Наибольшее H_{24} , мм / The largest H_{24} , mm	84,3	73,3	138	82,4
C_V	0,387	0,371	0,437	0,325
C_S	1,397	0,664	2,707	0,737
$H_{24-1\%}$, мм / $H_{24-1\%}$, mm	88,5	77,3	117	78,7
<i>Относительное превышение 24-часовых сумм осадков над суточными</i> <i>Relative excess of 24-hour precipitation amounts over daily</i>				
ε_{\max} , %	17,4	34,5	17,1	7,3
$\varepsilon_{1\%}$, %	15,7	40,8	15,8	9,3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, на примере МС КО показано, как с помощью 8-срочных наблюдений за осадками можно повысить точность определения максимальных сумм суточных (24-часовых) осадков.

Во всех рассмотренных случаях максимальные 24-часовые суммы осадков обеспеченности $P = 1\%$ оказались выше соответствующих значений, определенных по результатам наблюдений за метеоро-

логические сутки. Наибольшее превышение (более 40 %) было обнаружено по МС Балтийск.

При высокой обеспеченности ($P > 90\%$) максимальные 24-часовые суммы осадков не отличаются от значений, найденных по массиву результатов суточных наблюдений.

Полученные данные могут быть использованы при выполнении инженерных гидрометеорологических изысканий для расчета максимальных расходов дождевых паводков.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гельфан А.Н., Гусев Е.М., Калугин А.С., Крыленко И.Н., Мотовилов Ю.Г., Насонова О.Н. и др. Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. 2. Влияние изменения климата на водный режим рек России в XXI веке // *Водные ресурсы*. 2022. Т. 49. № 3. С. 270–285. DOI: 10.31857/S0321059622030051. EDN FBYFJJ.
2. Bormann H., Diekkruger B. Possibilities and limitations of regional hydrological models applied within an environmental change study in Benin (West Africa) // *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2003. Vol. 28. Issue 33–36. Pp. 1323–1332. DOI: 10.1016/j.pce.2003.09.008
3. Golian S., Murphy C., Meresa H. Regionalization of hydrological models for flow estimation in ungauged catchments in Ireland // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2021. Vol. 36. P. 100859. DOI: 10.1016/j.ejrh.2021.100859
4. Horton P., Schaeftli B., Kauzlaric M. Why do we have so many different hydrological models? A review based on the case of Switzerland // *WIREs Water*. 2022. Vol. 9. Issue 1. DOI: 10.1002/wat2.1574
5. Jiang C., Parteli E.J.R., Xia Q., Yin X., Shao Y. A regional hydrological model for arid and semi-arid river basins with consideration of irrigation // *Environmental Modelling & Software*. 2022. Vol. 157. P. 105531. DOI: 10.1016/j.envsoft.2022.105531
6. Наумов В.А., Нелюбина Е.А. Межгодовая изменчивость элементов водного баланса бассейна трансграничной реки Ангапы // *Природообустройство*. 2022. № 3. С. 95–100. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-95-100. EDN ACBMSN.
7. Наумов В.А. Максимальные годовые расходы воды малых рек Славского района Калининградской области // *Мелиорация и гидротехника*. 2022. Т. 12. № 4. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-367-383. EDN HQBZOW.
8. Клименко Д.Е., Корепанов Е.П. Картирование суточного слоя осадков обеспеченностью $P = 1\%$ на территории деятельности Уральского УГМС при расчетах стока дождевых паводков по формуле предельной интенсивности // *Географический вестник*. 2012. № 3 (22). С. 54–63.
9. Клименко Д.Е., Черепанова Е.С., Кузьминых А.Ю. Оценка параметров распределений экстремальных ливней при учете нескольких событий в году // *Водные ресурсы*. 2019. Т. 46. № 4. С. 438–446. DOI: 10.31857/S0321-0596464438-446. EDN ONRVGP.
10. Coles S., Pericchi L.R., Sisson S. A fully probabilistic approach to extreme rainfall modeling // *Journal of Hydrology*. 2003. Vol. 273. Issue 1–4. Pp. 35–50. DOI: 10.1016/s0022-1694(02)00353-0
11. De Michele C. Advances in deriving the exact distribution of maximum annual daily precipitation // *Water*. 2019. Vol. 11. Issue 11. P. 2322. DOI: 10.3390/w11112322
12. Ma H.-Y., Klein S. A., Lee J., Ahn M.-S., Tao C., Gleckler P.J. Superior daily and sub-daily precipitation statistics for intense and long-lived storms in global storm-resolving models // *Geophysical Research Letters*. 2022. Vol. 49. Issue 8. DOI: 10.1029/2021GL096759
13. Miró J.J., Lemus-Canovas M., Serrano-Notivoli R., Cantos J.O., Estrela M.J., Martin-Vide J. et al. A component-based approximation for trend detection of intense rainfall in the Spanish Mediterranean coast // *Weather and Climate Extremes*. 2022. Vol. 38. P. 100513. DOI: 10.1016/j.wace.2022.100513
14. Morales J., García-Barrón L., Aguilar-Alba M., Sousa A. Hazard characterization of the annual maximum daily precipitation in the southwestern Iberian peninsula (1851–2021) // *Water*. 2022. Vol. 14. Issue 9. P. 1504. DOI: 10.3390/w14091504
15. Palagin E.D., Strelkov A.K., Pavluhin A.A. Rain precipitation parameters for the design of surface effluent treatment facilities from the territory of industrial enterprises // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 720. Issue 1. P. 012021. DOI: 10.1088/1755-1315/720/1/012021
16. Papalexiou S.M., Koutsoyiannis D. Battle of extreme value distributions: A global survey on extreme daily rainfall // *Water Resources Research*. 2013. Vol. 49. Issue 1. Pp. 187–201. DOI: 10.1029/2012wr012557

17. Veneziano D., Langousis A., Lepore C. New asymptotic and preasymptotic results on rainfall maxima from multifractal theory // *Water Resources Research*. 2009. Vol. 45. Issue 11. DOI: 10.1029/2009wr008257

18. Наумов В.А. Использование специализированных массивов данных для климатических исследований // *Вестник научно-методического совета по природообустройству и водопользованию*. 2020. № 18. С. 52–59. EDN DMCZOE.

19. Барина Г.М. Калининградская область. Климат. Калининград : Янтарный сказ, 2002. 194 с.

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

21. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб. : Изд-во РГГМУ, 2007. 279 с.

Поступила в редакцию 27 августа 2023 г.

Принята в доработанном виде 10 сентября 2023 г.

Одобрена для публикации 6 октября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Владимир Аркадьевич Наумов — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры техноферной безопасности и природообустройства; Калининградский государственный технический университет (КГТУ); 236022, г. Калининград, Советский пр-т, д. 1; SPIN-код: 1788-8843, Scopus: 16441812200, ResearcherID: T-2380-2017, ORCID: 0000-0003-0560-5933; van-old@mail.ru;

Наталья Равиловна Ахмедова — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры техноферной безопасности и природообустройства; Калининградский государственный технический университет (КГТУ); 236022, г. Калининград, Советский пр-т, д. 1; SPIN-код: 5896-2408, ORCID: 0000-0003-3483-3580; isfendi@mail.ru.

Вклад авторов:

Наумов В.А. — научное руководство, концепция исследования, написание исходного текста.

Ахмедова Н.Р. — сбор материала, доработка текста, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Gelfan A.N., Gusev E.M., Kalugin A.S., Krylenko I.N., Motovilov Y.G., Nasonova O.N. et al. Runoff of Russian rivers under current and projected climate change: A review 2. Climate change impact on the water regime of Russian rivers in the XXI century. *Water Resources*. 2022; 49(3):270-285. DOI: 10.31857/S0321059622030051. EDN FBYFJJ. (rus.).

2. Bormann H., Diekkruger B. Possibilities and limitations of regional hydrological models applied within an environmental change study in Benin (West Africa). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2003; 28(33-36):1323-1332. DOI: 10.1016/j.pce.2003.09.008

3. Golian S., Murphy C., Meresa H. Regionalization of hydrological models for flow estimation in ungauged catchments in Ireland. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2021; 36:100859. DOI: 10.1016/j.ejrh.2021.100859

4. Horton P., Schaeffli B., Kauzlaric M. Why do we have so many different hydrological models? A review based on the case of Switzerland. *WIREs Water*. 2022; 9(1). DOI: 10.1002/wat2.1574

5. Jiang C., Parteli E.J.R., Xia Q., Yin X., Shao Y. A regional hydrological model for arid and semi-arid river basins with consideration of irrigation. *Envi-*

ronmental Modelling & Software. 2022; 157:105531. DOI: 10.1016/j.envsoft.2022.105531

6. Naumov V.A., Nelyubina E.A. Interannual variability of elements of the water balance of the basin of the transboundary river Angrapa. *Environmental Engineering*. 2022; 3:95-100. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-95-100. EDN ACBMSN. (rus.).

7. Naumov V.A. Maximum annual water discharges of small rivers in Slavsky district Kaliningrad region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022; 12(4). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-367-383. EDN HQBZOW. (rus.).

8. Klimenko D.E., Korepanov E.P. Mapping of daily layer precipitation security $P = 1\%$ for territories activity Urals management of hydrometeorology at calculations of the drain rain high waters for the formula of limiting intensity. *Geographical Bulletin*. 2012; 3(22):54-63. (rus.).

9. Klimenko D.E., Cherepanova E.S., Kuz'minykh A.Y. Evaluating parameters of the distributions of extreme storms with several events per year taken into account. *Water Resources*. 2019; 46(4):438-446. DOI: 10.31857/S0321-0596464438-446. EDN ONRVGP. (rus.).

10. Coles S., Pericchi L.R., Sisson S. A fully probabilistic approach to extreme rainfall modeling. *Jour-*

nal of Hydrology. 2003; 273(1-4):35-50. DOI: 10.1016/S0022-1694(02)00353-0

11. De Michele C. Advances in deriving the exact distribution of maximum annual daily precipitation. *Water*. 2019; 11(11):2322. DOI: 10.3390/w11112322

12. Ma H.-Y., Klein S.A., Lee J., Ahn M.-S., Tao C., Gleckler P.J. Superior daily and sub-daily precipitation statistics for intense and long-lived storms in global storm-resolving models. *Geophysical Research Letters*. 2022; 49(8). DOI: 10.1029/2021GL096759

13. Miró J.J., Lemus-Canovas M., Serrano-Notivoli R., Cantos J.O., Estrela M.J., Martín-Vide J. et al. A component-based approximation for trend detection of intense rainfall in the Spanish Mediterranean coast. *Weather and Climate Extremes*. 2022; 38:100513. DOI: 10.1016/j.wace.2022.100513

14. Morales J., García-Barrón L., Aguilar-Alba M., Sousa A. Hazard characterization of the annual maximum daily precipitation in the southwestern Iberian peninsula (1851–2021). *Water*. 2022; 14(9):1504. DOI: 10.3390/w14091504

15. Palagin E.D., Strelkov A.K., Pavluhin A.A. Rain precipitation parameters for the design of surface effluent treatment facilities from the territory of

industrial enterprises. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 720(1):012021. DOI: 10.1088/1755-1315/720/1/012021

16. Papalexiou S.M., Koutsoyiannis D. Battle of extreme value distributions: A global survey on extreme daily rainfall. *Water Resources Research*. 2013; 49(1):187-201. DOI: 10.1029/2012wr012557

17. Veneziano D., Langousis A., Lepore C. New asymptotic and preasymptotic results on rainfall maxima from multifractal theory. *Water Resources Research*. 2009; 45(11). DOI: 10.1029/2009wr008257

18. Naumov V.A. Using specialized data sets for climate research. *Bulletin of the Scientific and Methodological Council for Environmental Engineering and Water Use*. 2020; (18):52-59. EDN DMCZOE. (rus.).

19. Barinova G.M. *Kaliningrad region. Climate*. Kaliningrad, Amber Tale, 2002; 194. (rus.).

20. Rozhdestvensky A.V., Chebotarev A.I. *Statistical Methods in Hydrology*. Leningrad, Gidrometeoizdat, 2009; 424. (rus.).

21. Sikan A.V. *Methods of statistical processing of hydrometeorological information*. St. Petersburg, Publishing House of the Russian State Humanitarian University, 2007; 279. (rus.).

Received August 27, 2023.

Adopted in revised form on September 10, 2023.

Approved for publication on October 6, 2023.

B I O N O T E S: **Vladimir A. Naumov** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technosphere Safety and Environmental Management, **Kaliningrad State Technical University (KSTU)**; 1 Sovetsky prospekt, Kaliningrad, 236022, Russian Federation; SPIN-code: 1788-8843, Scopus: 16441812200, ResearcherID: T-2380-2017, ORCID: 0000-0003-0560-5933; van-old@mail.ru;

Natal'ya R. Ahmedova — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Environmental Management; **Kaliningrad State Technical University (KSTU)**; 1 Sovetsky prospekt, Kaliningrad, 236022, Russian Federation; SPIN-code: 5896-2408, ORCID: 0000-0003-3483-3580; isfendi@mail.ru.

Contribution of the authors:

Vladimir A. Naumov — scientific guidance, research concept, writing the source text.

Natal'ya R. Ahmedova — collection of material, revision of the text, final conclusions.

The authors declare that there is no conflict of interest.