

Оригинальная статья

УДК 556.12:626.82

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-98-102



УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЛЕТНИХ ОСАДКОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГТС НА МАЛЫХ ВОДОСБОРАХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РАЙОНА РОССИИ

Наумова Анна Анатольевна, старший преподаватель;

WoSResearcherID: HSG-1851-2023, SPIN-код: 9108-7416; AuthorID: 1010469; orcid: 0000-0002-0373-8655; koshevaya81@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

Аннотация. Основная цель исследований заключается в уточнении параметров экстремальных летних осадков для проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений на малых водосборах. Имея данные по 12 метеостанциям Центрально-Черноземной зоны России, для оценки степени изменчивости экстремальных осадков выбирали наблюдения по фазово-однородным величинам, которые имели генетически однородное происхождение. Использовались статистические методы как при наличии, так и при недостаточности данных наблюдений. В условиях изменяющихся климатических факторов и отсутствия достаточно точных методов определения коэффициента асимметрии были предложены подходы к его определению с помощью метода годопунктов для территории Центрально-Черноземной зоны РФ. Имеющиеся нормативные документы, в которых экстремальные осадки являются основой для определения максимальных расходов, утрачивают изначальную надежность и имеют недостатки в методах определения гидрометеорологических характеристик. Соответственно обоснована необходимость актуализации действующих нормативных документов в связи с тенденцией увеличения значений летних экстремальных осадков относительно рассматриваемого региона.

Ключевые слова: экстремальные осадки, метод годопунктов, однородность, изменение климата, гидротехнические сооружения

Формат цитирования: Наумова А.А. Уточнение параметров экстремальных летних осадков для проектирования и эксплуатации ГТС на малых водосборах Центрально-Черноземного района России // Природообустройство. 2023. № 4. С. 98-102. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-98-102.

© Наумова А.А., 2023

Original article

SPECIFICATION OF PARAMETERS OF EXTREME SUMMER PRECIPITATION FOR THE DESIGN AND OPERATION OF HYDRAULIC STRUCTURES IN SMALL CATCHMENTS OF THE CENTRAL CHERNOZEM (BLACK EARTH) ZONE OF RUSSIA

Naumova Anna Anatolyevna, senior lecturer,

Whos Researcher ID: HSG-1851-2023, SPIN code: 9108-7416; Author ID: 10469; orcid: 0000-0002-0373-8655; koshevaya81@mail.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya str., 49, Russia

Annotation. The main goal of the research is to clarify the parameters of extreme summer precipitation for the design and operation of hydraulic structures in small catchments. Having data on 12 meteorological stations of the Central Black Earth Zone of Russia, observations of phase-homogeneous values that were of genetically homogeneous origin were selected to assess the degree of variability of extreme precipitation. Statistical methods were used both in the presence and insufficiency of observational data. In the conditions of changing climatic factors and the lack of sufficiently accurate methods for determining the asymmetry coefficient, approaches to its determination using the method of year-points for the territory of the Central Black Earth Zone of the Russian Federation were proposed. Existing regulations, in which extreme precipitation is the basis for determining maximum discharges, lose their initial reliability and have shortcomings in the methods for determining hydrometeorological characteristics. Accordingly, the need to update the existing regulatory documents in connection with the trend of increasing the values of summer extreme precipitation relative to the region under consideration is substantiated.

Keywords: extreme precipitation, method of year-points, homogeneity, climate change, hydraulic structures

Format of citation: Naumova A.A. Specification of parameters of extreme summer precipitation for the design and operation of hydraulic structures in small catchments of the Central Chernozem (Black Earth) zone of Russia // Prirodobustrojstvo. 2023. № 4. P. 98-102. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-98-102.

Введение. Вероятностное прогнозирование экстремальных величин гидрологических значений требует постоянного совершенствования. Оценки экстремальных осадков имеют решающее значение для планирования проектирования важной инфраструктуры отдельных регионов.

Черноземная зона Европейской части России имеет большое количество малых рек и балок. На многих из них стоят малые гидротехнические сооружения, и максимальные суточные осадки являются основой для определения максимальных расходов как в нормативных документах [1-3], так и в моделях «Осадки-сток» (Modeling System НЕС-HMS) [4], без чего невозможна их безопасная эксплуатация. Гипотеза об увеличении максимальных суточных осадков по многолетним данным сетевых метеостанций Центрально-Черноземного района России проверялась в работах [5, 6] и получила ряд подтверждений, что ставит вопрос о реальной величине максимальных безопасных расходах гидротехнических объектов.

Выдающиеся величины, их вероятностная оценка по ранжированному ряду, надежность расчетных параметров, однородность рядов многолетних наблюдений – все перечисленные и ряд других характеристик экстремальных величин еще требуют совершенствования в связи как с проявлением новых расчетных возможностей, так и с проявившимися климатическими тенденциями.

Достоверность определения экстремальных характеристик напрямую связана с совершенствованием методик вероятностного прогнозирования стихийных явлений: наводнений, ливней и других проявлений экстремальных гидрометеорологических явлений, которые затрагивают общественные интересы, проблему безопасности людей, сохранности материальных ценностей [7, 8].

Цель исследований: уточнение параметров экстремальных летних осадков для проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений на малых водосборах.

Задачами достижения цели стали: оценка статистических параметров экстремальных летних осадков и их погрешностей по имеющимся рядам наблюдений; расчет статистических параметров методом годовых точек для Центрально-Черноземного региона РФ; обобщение численных значений статистических параметров

экстремальных осадков при отсутствии данных наблюдений.

Материалы и методы исследований. На малых водосборах площадью менее 200 км², следуя инструкции СП 33-101-2003 определения основных расчетных гидрологических характеристик, используют формулу «предельной интенсивности» [1]. Противоэрозионные сооружения также рассчитываются по ее аналогии. Максимальный суточный слой осадков является основополагающим параметром в формулах обеспеченностью 1% – $H_{1\%}$. Учет этой характеристики должен отражать изменения климата, а соответствующий документ должен постоянно обновляться.

Одной из оценок степени стационарности режима экстремальных осадков могут считаться показатели однородности рядов наблюдений [9]. Критерии однородности Стьюдента и Фишера являются традиционными для оценки однородности рядов. Эти критерии опираются на характеристики генеральной выборки (среднее, дисперсия). В коротких рядах наблюдений появление экстремального значения создает кажущуюся неоднородность, и есть стремление это экстремальное значение исключить как внесенную ошибку. Однако если продлить ряд до 300 лет и далее, то в эту численную последовательность попадут и экстремальные значения, и ряд уже не будет считаться неоднородным.

Оценка критериев рядов экстремальных суточных осадков показала достаточно представительное свидетельство о неоднородности этих рядов наблюдений. Поэтому когда натурных измерений в рассматриваемом регионе недостаточно и необходима дополнительная проверка, то возможно применение следующих методов:

- наблюдения по нескольким пунктам объединяются в один годопункт;
- привлекаются аналоги с наличием длительного ряда наблюдений, который обязательно имеет выдающиеся экстремальные значения;
- устанавливается генетическая связь рассматриваемого параметра с обуславливающими факторами, композиционный метод.

В наших исследованиях был применен метод годовых точек по 12 метеостанциям [10]. Для расчетов использовались метеостанции Центрально-Черноземного района России,

расположенные в следующих областях: Тамбовская (метеостанция Тамбов), Липецкая (Липецк, Конь-Колодезь), Курская (Курск, Рыльск), Белгородская (Валуйки, Готня, Богородицкое-Фенино), Воронежская (Воронеж, Калач), Саратовская (Балашов), Тульская (Плавск), которые имеют продолжительный ряд непрерывных метеорологических наблюдений. В соответствии с рекомендациями Всемирной метеорологической организации, во исполнение приказа Росгидромета от 18 февраля 2022 г. № 64 «О внедрении актуализированных климатических норм в оперативно-производственную практику подведомственных учреждений Росгидромета» и в соответствии с распоряжением Росгидромета от 29 июня 2022 г. № 197-р с 1 июля 2022 г. в приведенных далее расчетах используется ряд непрерывных наблюдений – с 1991 по 2021 гг.

Таким образом, с использованием метода годовых точек получен ряд экстремальных осадков длиной 372 года. Метод годовых точек был разработан и эффективно применен [11].

Используя графоаналитический метод для оценки коэффициента асимметрии за 372 года, и по каждой метеостанции отдельно в соответствии с рекомендациями [12, 13], при вычислении коэффициента скошенности S по данным точек 5%-, 50%- и 95%-ной обеспеченности, снятых с рисунка 1 (члены ряда были расположены в убывающей последовательности, и для каждого были определены эмпирические значения), метод моментов и метод приближенного наибольшего правдоподобия [14], получили результаты, представленные в таблице 1 [13].

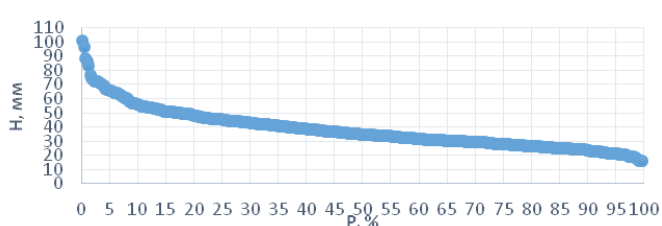


Рис. Экстремальные суточные осадки относительно эмпирической кривой обеспеченности по методу годовых точек

Fig. Extreme daily precipitation relative to the empirical provision curve by the year-point method

Таблица 1. Статистические характеристики рядов значений экстремальных суточных осадков по наблюдениям 12 метеостанций и методу годовых точек Центрально-Черноземного района России

Table 1. Statistical characteristics of extreme daily precipitation series based on observations of 12 meteorological stations and the method of the Year-point of the Central Black Earth zone of Russia

Метеостанции Weather stations	Метод моментов Method of moments				Метод Крицкого-Менкеля Kritsky-Menkeli mehod					Метод квантилей Алексева Alekseev's Quantile Method			
	\bar{X}_{cp}	C_v	C_s	C_s/C_v	λ_2	λ_3	C_v	C_s	C_s/C_v	S	C_v	C_s	C_s/C_v
Готня / Gotnya	37,27097	0,45	2,14	4,8	-0,03217	0,03578512	0,41	2,05	5	0,34782609	0,52	1,81	3,49
Калач / Kalach	34,29355	0,42	0,98	2,4	-0,03433	0,03486499	0,42	1,26	3	0,45098039	0,49	1,56	3,19
Балашов Balashov	39,43548	0,47	1,42	3	-0,04038	0,04285436	0,47	1,88	4	0,69230769	0,61	2,2	3,62
Валуйки / Valuiki	42,09032	0,35	0,84	2,4	-0,02513	0,02549789	0,35	1,05	3	0,37704918	0,41	1,13	2,79
Б-Фенино B-Fenino	37,77742	0,25	0,56	2,2	-0,01399	0,01374835	0,25	0,625	2,5	0,05555556	0,28	0,1	0,36
Плавск / Plavsk	42,35806	0,35	0,48	1,4	-0,02711	0,02635384	0,35	0,7	2	-0,1372549	0,36	0,58	1,62
Тамбов / Tambov	32,22258	0,33	1,84	5,5	-0,01975	0,02120494	0,32	1,6	5,00	0,39534884	0,42	1,55	3,72
Воронеж Voronazh	35,48065	0,27	0,17	0,6	-0,01636	0,01580457	0,28	0,7	2,50	0,03225806	0,27	0,1	0,37
Конь-Колодезь Kon-Kolodez	34,3	0,31	1,39	4,4	-0,01962	0,01991908	0,31	1,085	3,50	0,31818182	0,40	0,98	2,46
Рыльск / Rylsk	42,48387	0,33	0,69	2	-0,02343	0,02317495	0,33	0,99	3,00	0,30612245	0,33	0,8	2,42
Чертково Chertkovo	37,72581	0,31	0,36	1,1	-0,02174	0,02113898	0,315	0,63	2,00	0,23076923	0,32	0,75	2,35
Курск / Kursk	40,33548	0,40	1,05	2,6	-0,03155	0,03221367	0,4	1,2	3,00	0,48275862	0,42	1,45	3,43
Годовые точки Year-point	37,98118	0,37	1,26	3,4	-0,02638	0,02707246	0,37	1,26	3,41	0,37777778	0,38	1,35	3,51

Результаты и их обсуждение. Вычисления среднего значения осадков по данным за 31 год обычно выполняются с небольшой погрешностью. Для оценки статистической погрешности C_v использовалась формула:

$$\sigma_{C_v} = \frac{\sqrt{1 + C_v^2}}{\sqrt{2n}} 100\%. \quad (1)$$

Результаты представлены в таблице 2, из данных которой следует, что для рассматриваемого района C_v можно принимать равным 0,37. Особое внимание приходится уделять оценке коэффициента асимметрии C_s , поскольку даже при наличии 150-200 лет данные его погрешности довольно велики. Практика последних десятилетий показала, что наиболее объективной формой для вычисления статистических погрешностей C_s является формула Резниковского:

$$\sigma_{C_s} = \frac{1}{C_s} \sqrt{\frac{6}{n} (1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)} 100\%. \quad (2)$$

Таблица 2. Определение статистических погрешностей C_v и C_s в различных методах

Table 2. Determination of statistical errors C_v in C_s different methods

Пункт / Point	σ_{C_s}	σ_{C_s}	σ_{C_s}	Пункт / Point	σ_{C_v}	σ_{C_v}	σ_{C_v}
Готня / Gotnya	31,78	31,47	41,94	Готня / Gotnya	13,904	13,726	14,307
Калач / Kalach	66,59	51,95	46,53	Калач / Kalach	13,752	13,775	14,138
Балашов / Balashov	49,92	37,51	39,52	Балашов / Balashov	14,052	14,033	14,866
Валуйки / Valuiki	70,63	56,37	56,68	Валуйки / Valuiki	13,465	13,455	13,703
Б-Фенино / B-Fenino	93,39	83,12	539,7	Б-Фенино / B-Fenino	13,102	13,091	13,192
Плавск / Plavsk	124,64	84,56	103,21	Плавск / Plavsk	13,459	13,455	13,49
Тамбов / Tambov	31,5	35,5	42,02	Тамбов / Tambov	13,385	13,334	13,758
Воронеж / Voronezh	308,69	77	533,4	Воронеж / Voronezh	13,15	13,188	13,16
Конь-Колодезь Kon-Kolodez	40,53	51,65	64,69	Конь-Колодезь Kon-Kolodez	13,313	13,296	13,669
Рыльск / Rylsk	83,33	58,16	72,08	Рыльск / Rylsk	13,38	13,374	13,378
Чертково / Chertkovo	158,07	89,55	75,71	Чертково / Chertkovo	13,306	13,315	13,333
Курск / Kursk	60,79	52,98	45,3	Курск / Kursk	13,677	13,678	13,786
Годопункт / Year-point	13,95	13,95	13,3	Годопункт / Year-point	3,9065	3,9091	3,9282

Выводы

Анализ многолетних данных наблюдений за экстремальными осадками на сетевых метеостанциях Центрально-Черноземной зоны России имеет явные признаки изменений их статистических характеристик, которые используются при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений на малых водосборах. Для расчетов необходимо использовать более объективные данные последних 30 лет наблюдений, рекомендованные Росгидрометом, и метод годовых осадков.

Результаты исследований говорят о том, что для рассматриваемой Центрально-Черноземной зоны при отсутствии данных наблюдений следует принимать соотношение $C_s / C_v = 3.5$, $C_v = 0.37$, а среднее значение экстремальных

По данным таблицы 2 становится очевидным то, что при расчетах погрешности для каждой метеостанции разными методами (моментов, Крицкого-Менкеля, квантилей Алексеева) разброс в значениях составляет от 31,5 до 539,7% для σ_{C_s} и от 13,102 до 14,866% для σ_{C_v} . При использовании метода годовых осадков погрешность для C_s по всем методам находится в пределах от 13,3 до 13,95%, что менее 15%, а для C_v – от 3,9066 до 3,9682%. Следовательно, для данной территории применение годовых осадков при вычислении статистических погрешностей различными методами дает отклонение между ними менее 1%, что говорит об относительной достоверности полученных значений C_v и C_s .

В целом можно заключить, что для рассматриваемой территории, по данным расчетов, следует рекомендовать $C_s = 1.3$ и $C_s / C_v = 3.5$ (табл. 1).

осадков – 38 мм. Также следует обратить внимание на то, что для расчетов осадков в данной зоне лучше себя проявляет метод моментов. Из этого следует вывод о том, что при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений на малых водосборах нормативные документы нуждаются в новых рекомендациях, разработанных на основе результатов научных исследований, проведенных в конкретных территориальных зонах. Свод правил, не подвергавшийся актуализации, утратил свою изначально заданную безопасность для определенного класса сооружений. В современных климатических изменениях, при увеличении значений летних экстремальных осадков необходим учет тенденции их изменений и территориальных особенностей.

Список использованных источников

- СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. 77 с.
- Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометиздат, 1984. 448 с.
- Рекомендации по методике определения экстремальных гидрометеорологических характеристик. ПНИИС ГОССТРОЯ СССР. Москва, Стройиздат, 1981. 42 с.
- <https://github.com/Dowat/main/blob/master/docs/UserGuide.md>HydrologicModelingSystemHEC-HMS. Technical Reference Manual. (2000).
- Карпенко Н.П., Наумова А.А., Ильинич В.В.** Оценка влияния изменения характеристик экстремальных ливневых дождей на надежность гидротехнических сооружений // Природообустройство. 2021. № 4. С. 99-105. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-99-105. EDN EISNAA.
- Кошевой А.П.** Оценка изменения максимальных суточных осадков за последние десятилетия в Черноземной зоне РФ на примере Курской и Липецкой областей // Актуальные вопросы современной науки: теория, технология, методология и практика: Сборник научных статей по материалам X Международной научно-практической конференции, Уфа, 27 декабря 2022 г. Уфа: ООО Научно-издательский центр «Вестник науки», 2022. Ч. 4. С. 240-245. EDNYMWPFN.
- Beglyarova S., Sokolova S.A., Bakshtanin A.M.** Change of Indicators of Pollution of Surface Drain of Urban Territories when Carrying Out Construction Work on the Example of the Private Reservoirs of Rivers Likhoborka and Zhabenka //Hydraulic engineering construction. 2021. Vol. 55, No 1. Pp. 35-39. DOI: 10.1007/s10749-021-01316-0. EDNFPENOM.
- Кирейчева Л.В., Глазунова И.В.** Развитие и размещение сельскохозяйственных мелиораций в изменяющихся климатических условиях // Природообустройство. 2017. № 4. С. 80-87. EDN ZGUVOD.
- Ильинич В.В.** Оценка асимметрии в рамках трехпараметрического гамма-распределения // Природообустройство. 2010. № 5. С. 71-74. EDN NCMWAF.
- Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – мировой центр данных – URL: <http://meteo.ru>. (дата обращения: 20.12.2022).
- Евстигнеев В.М., Калинин Г.П., Никольская Н.В.** Основы расчета естественных колебаний стока по обобщенным кривым обеспеченности // В кн.: Исследование и расчеты речного стока М.: Изд-во Московского университета, 1970. С. 6-97.
- Statistical methods in the Atmospheric Sciences / Ed.R. Dmowska, D. Hartman, H.T. Rossby // Inter. Geoph. Series. 2011. Vol. 1. Oxford, OX51GB, UK. 668 p.
- Сикан А.В.** Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Изд. 2-е. СПб.: РГГМУ, 2007. С. 278.
- Блохинов Е.Г.** Распределение вероятностей величин речного стока. М.: Наука, 1974. С. 169.

Критерии авторства

Наумова А.А. выполнила теоретические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись. Наумова А.А. имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 30.03.2023

Одобрена после рецензирования 10.08.2023

Принята к публикации 15.08.2023

References

- SP 33-101-2003. Determination of the main calculated hydrological characteristics. Moscow: Gosstroy of Russia, FGUP TSPP. 2004. 77 p.
- Manual for determining calculated hydrological characteristics. – Leningrad, Gidrometizdat Publ., 1984. 448 p.
- Recommendations on the methodology for determining extreme hydrometeorological characteristics. PNIIS GOSSTROY OF THE USSR. Moscow, Stroyizdat, 1981. 42 p.
- <https://github.com/Dowat/main/blob/master/docs/UserGuide.md>Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual. (2000).
- Karpenko N.P., Naumova A.A., Ilyinich V.V.** Assessment of the influence of changes in the characteristics of extreme shower rains on the reliability of hydrotechnical structures. 2021. № 4. P. 99-105. – DOI 10.26897/1997-6011-2021-4-99-105. – EDN EISNAA
- Koshevoy A.P.** Assessment of changes in maximum daily precipitation for the last decades in the Chernozem zone of the Russian Federation, on the example of the Kursk and Lipetsk regions // Actual issues of modern science: theory, technology, methodology and practice: a collection of scientific articles based on the materials of the X International Scientific and Practical Conference, Ufa, December 27, 2022. Volume Part 4. Ufa: Vestnik Nauki Scientific and Publishing Center, 2022. P. 240-245. – EDN YMWPFN]
- Beglyarova S.** Change of Indicators of Pollution of Surface Drain of Urban Territories when Carrying Out Construction Work on the Example of the Private Reservoirs of Rivers Likhoborka and Zhabenka / S. Beglyarova, S.A. Sokolova, A.M. Bakshtanin // Hydraulic engineering construction. 2021. Vol. 55, No. 1. P. 35-39. – DOI 10.1007/s10749-021-01316-0. – EDN FPENOM;
- Kireycheva L.V., Glasunova I.V.** Development and placement of agricultural meliorations in changing climatic conditions. 2017. № 4. P. 80-87. – EDN ZGUVOD.
- Ilyinich V.V.** Assessment of asymmetry within the framework of three-parameter gamma distribution. 2010. № 5. P. 71-74. – EDN NCMWAF.
- All-Russian scientific research institute of hydro-meteorological information – world data center [Electronics resource]. (accessed: 12/20/2022).
- Evstigneev V.M., Kalinin G.P., Nikolskaya N.V.** Fundamentals of calculation of natural fluctuations of flow according to generalized supply curves / In the book: Study and calculations of river flow. Moscow: Publishing house of the University, 1970, P. 6-97.
- Statistical methods in the Atmospheric Sciences / Ed.R. Dmowska, D. Hartman, H.T. Rossby // Inter. Geoph. Series. 2011. Vol. 1. Oxford, OX51GB, UK. 668 p.
- Sikan A.V.** Methods of statistical processing of hydrometeorological information. Publ. 2. SPb: RSGMU, 2007. P. 278.
- Blokhinov E.G.** Probability distribution of river runoff values. Moscow, Nauka Publ., 1974. P. 169.

Criteria of authorship

Naumova A.A. carried out theoretical research, on the basis of which she generalized and wrote the manuscript. Naumova A.A. has the copyright to the article and is responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 30.03.2023

Approved after review 10.08.2023

Accepted for publication 15.08.2023