

Оригинальная статья

УДК 502/504: 556.12 : 626/627:627.5

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-99-105

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЛИВНЕВЫХ ДОЖДЕЙ НА НАДЕЖНОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

КАРПЕНКО НИНА ПЕТРОВНА , д-р техн. наук, профессор
npkarpenko@yandex.ru 

НАУМОВА АННА АНАТОЛЬЕВНА, старший преподаватель
koshevaya81@mail.ru

ИЛЬНИЧ ВИТАЛИЙ ВИТАЛЬЕВИЧ , канд. техн. наук, профессор
vv_ilinitch@mail.ru 

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 19. Россия

В статье по наблюдениям метеостанций на юго-западе Черноземной зоны России проверяется основная гипотеза об увеличении максимальных суточных осадков, которые являются основой для расчета максимальных расходов воды при проектировании водохранилищ, гидротехнических сооружений на малых водосборах. Статистические расчеты показали четкую региональную тенденцию увеличения максимального суточного количества осадков с течением времени. Проведенные исследования подтвердили значительную асимметрию в распределении их значений, соотношение между коэффициентами асимметрии и вариации колеблется от 2 до 5. Отмечено, что в настоящее время нет достаточно точного метода определения коэффициентов асимметрии, поэтому предложены подходы к их экспертной оценке. Рекомендуются оценивать нормативные значения максимальных суточных осадков для расчетов эрозии с использованием эмпирических кривых вероятности. Таким образом, в действующих нормативных документах, предназначенных для проектирования гидротехнических сооружений, имеются недостатки в методах определения гидрометеорологических характеристик, что приводит к снижению их эксплуатационной надежности при прохождении опасных дождевых паводков. Обоснована необходимость соответствующего обновления действующих нормативных документов.



Ключевые слова: изменение климата, экстремальные осадки, максимальный сток, малые реки, гидротехнические сооружения

Формат цитирования: Карпенко Н.П., Наумова А.А., Ильнич 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.



© Карпенко Н.П., Наумова А.А., Ильнич В.В., 2021

Original article

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CHANGES IN THE CHARACTERISTICS OF EXTREME HEAVY RAINS ON THE RELIABILITY OF HYDRAULIC STRUCTURES

KARPENKO NINA PETROVNA , doctor of technical sciences, professor
npkarpenko@yandex.ru 

NAUMOVA ANNA ANATOLJEVNA, senior lecturer
koshevaya81@mail.ru

ILJINICH VITALIJ VITALJEVICH , candidate of technical sciences, professor
vv_ilinitch@mail.ru 

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Pryanishnikova, 19. Russia

The article on the observations of weather stations in the south-west of the Chernozem (Black Earth) zone of Russia checks the main hypothesis about the increase in the maximum

daily precipitation which is the basis for calculating the maximum water consumption when designing reservoirs of hydraulic structures on small catchments. Statistical calculations showed a clear regional trend towards an increase in the maximum daily precipitation over time. Studies have confirmed a significant asymmetry in the distribution of their values, the ratio between the coefficients of asymmetry and variation ranges from 2 to 5. It is noted that there is currently no sufficiently accurate method for determining the coefficients of asymmetry, therefore, approaches to their expert assessment have been proposed. It is recommended to estimate the normative values of the maximum daily precipitation for erosion calculations using empirical probability curves. Thus, in the current regulatory documents intended for the design of hydraulic structures, there are shortcomings in the methods for determining hydro meteorological characteristics which leads to a decrease in their operational reliability during the passage of dangerous rain floods. The necessity of appropriate updating of the existing regulatory documents is substantiated.

Keywords: *climate change, extreme precipitation, maximum flow, small rivers, hydraulic structures*

Format of citation: *Karpenko N.P., Naumova A.A., Iljinich V.V. Assessment of the impact of changes in the characteristics of extreme heavy rains on the reliability of hydraulic structures // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 4 – S. 99-105. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-99-105.*

Введение. В последние десятилетия отмечается увеличение максимальных суточных дождевых осадков как во многих регионах мира [1-3], так и в России [4-6]. Согласно одной из гипотез это происходит в первую очередь ввиду потепления климата как на глобальном, так и на региональном уровнях, по причине того, что более теплый воздух может содержать больше влаги до момента конденсации, чем холодный. Вследствие этого облачность при конвективных передвижениях воздушных масс порождает более мощные дожди. Однако такая гипотеза не может распространяться абсолютно на все регионы и поэтому должна проверяться для конкретных объектов.

Максимальные суточные осадки являются основой определения расчетных максимальных расходов при проектировании и создании малых гидротехнических сооружений в руслах малых рек, на балках и склонах [7-10]. В России большинство малых гидротехнических сооружений приходится на Черноземную зону ее Европейской территории, где они устроены совместно с оросительными прудами и для противодействия почвенной эрозии, имеющей колоссальное значение для сохранения драгоценных черноземов.

В исследовании проверяется гипотеза о повышении максимальных суточных осадков на примере конкретных данных наблюдений сетевых метеорологических станций юго-запада Черноземной зоны РФ.

Целью исследований явилось подтверждение обозначенной выше гипотезы. При этом решались следующие задачи:

- констатация увеличения и учащения максимальных суточных осадков;

- оценка степени повышения максимальных суточных осадков в конце прошлого и в начале текущего вв.;

- оценка степени их влияния на расчетные максимальные расходы воды.

Материалы и методы. Объектами исследований послужили территории в Белгородской и Воронежской областях, где для решения поставленных задач имеются метеорологические станции с достаточно длительными наблюдениями. Для анализа были выбраны метеостанции Калач и Готня с продолжительной и надежной серией наблюдений, данные о которых имеются на сайте <http://meteo.ru/> [11]. Следует заметить, что в течение 40-х – начале 60-х гг. прошлого века система измерения осадков на сетевых метеостанциях была несколько видоизменена, а в 80-е гг. изменены суточные сроки измерения осадков [12]. Однако степень изменения их показаний не могла существенно повлиять именно на численные значения максимальных суточных осадков ввиду их весьма больших величин по сравнению с введенными поправками. Тем не менее с целью исключения значимых ошибок к исследованию привлекались наблюдательные ряды с 1960 г.

Таким образом, были составлены ряды из 60 годовых максимумов суточных осадков, мм, которые представлены в виде хронологических рядов на рисунках 1, 2.

Из представленных графиков, основанных на линейном тренде, следует, что суточные максимумы со временем увеличиваются. Затем, в соответствии с рядом российских и международных нормативных рекомендаций [7, 13, 14], которые допускают, что для точного

определения статистических характеристик гидрометеорологических величин достаточно использовать ряды наблюдений продолжительностью не менее 30 лет, с целью более детальной проверки обозначенной гипотезы ряды были разделены на два одинаковых ряда: 1) 1960-1989 гг.; 2) 1990-2019 гг. Их члены были расположены в порядке убывания, и для

каждого определены соответствующие значения эмпирической обеспеченности формуле [13, 14]:

$$P_{\%} = \frac{m \cdot 100\%}{(N + 1)},$$

где m – порядковый номер значений осадков в убывающем ряду; N – количество членов статистического ряда (в нашем случае $N = n_1 = n_2 = 30$).

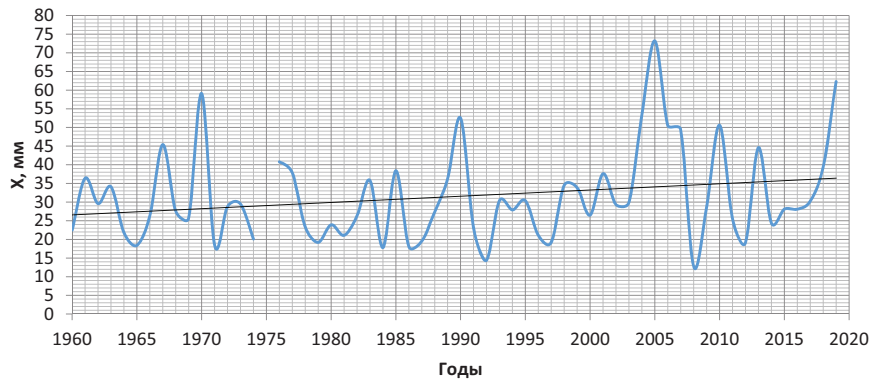


Рис. 1. Хронологический ряд максимальных суточных осадков по годам за период с 1960 по 2019 гг. для метеостанции Калач

Fig. 1. Chronological series of maximum daily precipitation by year for the period from 1960 to 2019 for the Kalach weather station

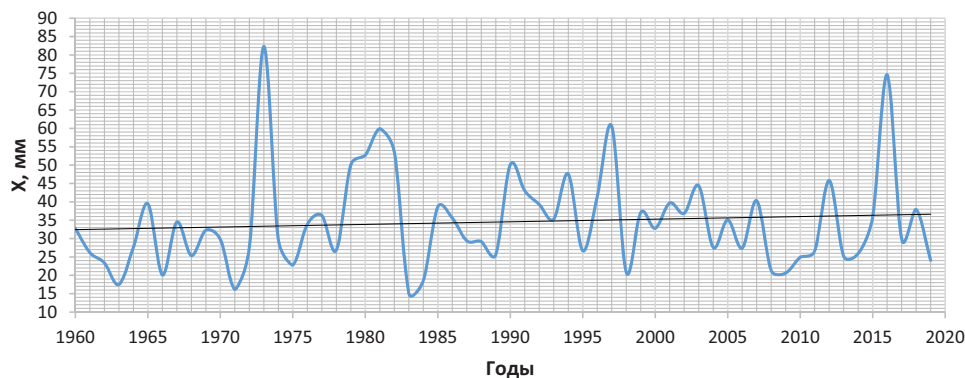


Рис. 2. Хронологический ряд максимальных суточных осадков по годам за период с 1960 по 2019 гг. для метеостанции Готня

Fig. 2. Chronological series of maximum daily precipitation by year for the period from 1960 to 2019 for the Gotnya weather station

На рисунках 3, 4 можно видеть результаты в виде точек эмпирической обеспеченности. Из них очевидно, что большинство точек более ранних рядов наблюдения располагается ниже более поздних наблюдений. Такой факт подтверждает гипотезу об увеличении максимальных суточных осадков в течение последних десятилетий.

Согласно инструкциям СП 33-101-2003 [7] к расчетам гидротехнических и мелиоративных сооружений на малых речных бассейнах площадью менее 200 км^2 используется формула «предельной интенсивности». По аналогии

с ней рассчитываются ипротивоэрозионные сооружения [8].

Основополагающим параметром в формулах является максимально суточный слой осадков обеспеченностью 1% – $H_{1\%}$. Порядок его определения в настоящей работе опирался на применение метода моментов и метода наибольшего правдоподобия (средние значения и коэффициенты вариации – Cv) [7, 14]. Также использовался и графоаналитический метод оценки параметров аналитической кривой обеспеченности и, в частности, коэффициента

асимметрии (C_s) в соответствии с рекомендациями [13, 14] при предварительном вычислении так называемого коэффициента скошенности (S) по данным точек 5%-ной, 50%-ной и 95%-ной обеспеченности, снятых с рисунков 3, 4. Такой подход был применен

вследствие практически невозможного достижения достаточной точности определения C_s посредством первых двух методов при имеющейся длительности рядов наблюдений [13, 14]. Последовательно полученные результаты отражены в таблицах 1, 2.

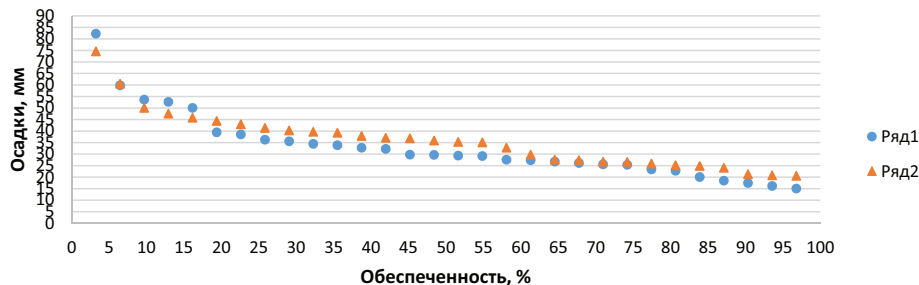


Рис. 3. Максимальные суточные осадки относительно эмпирической обеспеченности на метеостанции Готня для двух периодов:
ряд 1 – период с 1960 по 1989 гг.; ряд 2 – период с 1990 по 2019 гг.

Fig. 3. Maximum daily precipitation relative to empirical provision at the Gotnya weather station for two periods:
series 1 – the period from 1960-1989; series 2 – period from 1990-2019

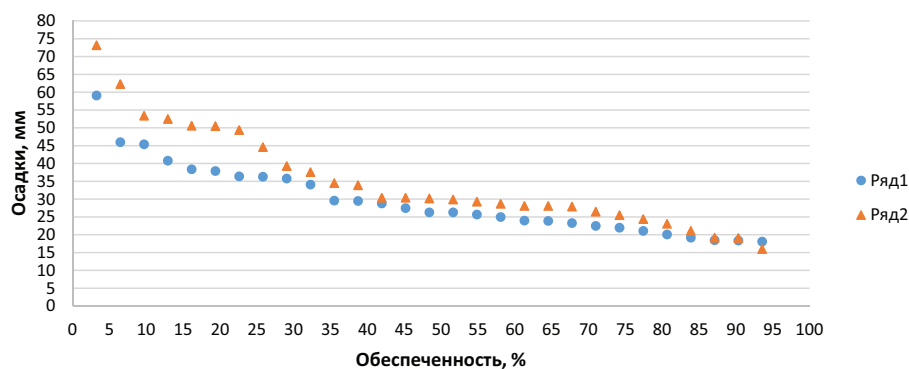


Рис. 4. Максимальные суточные осадки относительно эмпирической обеспеченности на метеостанции Калач для двух периодов:
ряд 1 – период с 1960 по 1989 гг.; ряд 2 – период с 1990 по 2019 гг.

Fig. 4. Maximum daily precipitation relative to empirical provision at the Kalacha weather station for two periods:
series 1 – the period from 1960-1989; series 2 – period from 1990-2019

Таблица 1

Статистические характеристики рядов значений
максимальных суточных осадков по наблюдениям на метеостанции Калач

Table 1

Statistical characteristics of the series of values
of the maximum daily precipitation from observations at the Kalach weather station

Период наблюдений <i>Period of observations</i>	Среднее значение, мм <i>Average value, mm</i>	C_v	$C_s = f(S)$	Принятое отношение C_s/C_v <i>Accepted C_s/C_v relation</i>	$X_{p=1\%}$
1960-1989	29,2	0,34	1,65	3,5	61,2
1960-2019 г.	31,9	0,39	1,36	3,5	73,2
1990-2019 г.	34,5	0,41	1,6	3,5	82,6

Статистические характеристики рядов значений
максимальных суточных осадков по наблюдениям на метеостанции Готня

Table 2

Statistical characteristics of the series of values
of the maximum daily precipitation from observations at the Gotnya weather station

Период наблюдений <i>Period of observations</i>	Среднее значение, мм <i>Average value, mm</i>	C_v	$C_s = f(S)$	Принятое отношение C_s/C_v <i>Accepted C_s/C_v relation</i>	$X_{p=1\%}$
1960-1989	33,1	0,44	1,75	4	81
1960-2019 г.	34,5	0,37	1,93	5	82
1990-2019 г.	36,0	0,34	0,67	2	82,6

Результаты и обсуждение. В целом графики рисунков 1-4 и результаты таблиц 1, 2 показывают, что по этим пунктам наблюдений значения максимальных суточных осадков (как средней величины, так и 1%-ной обеспеченности) за последние три десятилетия выше, чем за предыдущие 30 лет, несмотря на то, что в 1973 г. на метеостанции пункта Готня был зафиксирован выдающийся экстремум – 82,3 мм/сутки. При этом на метеостанции города Калач расчетный слой 1%-ной обеспеченности последнего 30-летнего периода (82,6 мм/сут.) более чем на 10% превышает расчетное значение такой же обеспеченности, определенное за весь период, и более чем на 25% – определенное за период 1960-1989 гг. Имеется в виду, что действующий СП [7] переиздан в 2004 г. Тем не менее при определении осадков заданной обеспеченности данное издание ссылается на карту осадков 1%-ной обеспеченности приложения к СП [15], изданного в 1984 г., тем самым создавая предпосылку к существенному уменьшению реального на сегодня значения $H_{1\%}$.

Необходимо также иметь в виду, что коэффициенты асимметрии гидрометеорологических величин на практике не удается получить достаточно точными даже при наличии 150-летнего ряда [14, 16] (который не может быть сегодня актуальным ввиду климатических изменений). Поэтому в случаях необходимости определения расчетных значений максимальных суточных осадков менее 5%-ной обеспеченности имеет смысл определять C_s – экспертным путем на основании результатов всех трех методов его оценки, рекомендованных в работе [7] и подробно проанализированных в работе [14]. В случаях определения расчетных значений максимальных суточных осадков 5% и более (противозерозионные сооружения и мероприятия) точнее будет снимать такие значения

непосредственно с эмпирической кривой обеспеченности, не определяя традиционные параметры C_v и C_s и не обращаясь к аналитическим кривым обеспеченности традиционных законов распределения случайных величин.

Выводы

Проведенный анализ данных наблюдений за максимальными суточными осадками по многолетним данным сетевых метеорологических метеостанций юго-запада Черноземной зоны РФ подтверждает гипотезу об их повышении в последние десятилетия на основе явных признаков изменений их статистических характеристик повышения расчетных нормативных значений, которые использовались при проектировании водохозяйственных объектов.

Наблюденные статистические ряды максимальных суточных осадков в пределах последних трех десятилетий можно считать более объективными для получения нормативных гидрологических характеристик при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений на малых речных бассейнах и севооборотах.

По результатам исследований следует сделать вывод о том, что гидротехнические сооружения, построенные как во второй половине XX в. на малых речных бассейнах, так и в последующие десятилетия с применением строительных правил, не подвергшихся актуализации, утратили изначально заданную надежность для своего класса сооружений.

Таким образом, ввиду климатических изменений в регионах России и, в частности, повышения максимальных суточных осадков имеется необходимость актуализации нормативных документов, которые должны применяться для расчетных величин максимального стока. В целом при строительстве гидротехнических сооружений необходим учет тенденций изменения климата в регионах.

Библиографический список

1. Groisman P.Y., Knight R.W. and Zolina O.G. Recent Trends in Regional and Global Intense Precipitation Patterns // Academic Press: In: «Climate Vulnerability, 1st Edition Understanding and Addressing Threats to Essential Resources», edited by R. Pielke. – 2013. – Pp. 25-52.
2. Zolina O.G., Simmer C., Kapala A., Shabanov P., Becker P., Mächel H., Gulev S.K. and Groisman P. Precipitation Variability and Extremes in Central Europe: New View from STAMMEX Results // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 2014. – Vol. 95. – Pp. 995-1002.
3. Raynaud D., Thielen J., Salamon P., Burek P., Anquetin S., Alfieri L. A dynamic runoff coefficient to improve flash flood early warning in Europe: Evaluation on the 2013 central European floods in Germany // Meteorological Applications. – 2015. – № 22(3). – Pp. 410-418.
4. Золина О.Г., Булыгина О.Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2016. – Т. 1. – С. 84-103.
5. Iljinich V., Akulova E., Belchihina V. & Ponomarchuk K. Estimation of Statistical Characteristics for Storm Precipitation with Long-term Data to Assess Climate Change // Journal of Climate Change. – 2016. – Vol. 2. – № 2. – Pp. 83-87.
6. Лапушкин М.Ю., Ильинич В.В. Оценка изменений характеристик штормовых дождей на севере Москвы, влияющих на надежность гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. – 2020. – № 3. – С. 96-99.
7. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП. – 2004. – 77 с.
8. Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий на Европейской территории СССР. – Л.: Гидрометиздат, 1979. – 61 с. <https://search.rsl.ru/ru/record/01007632174>
9. Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual. (2000). Retrieved from <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HECHMS>.
10. MIKESHE11.A modelling System for River and Channels // Reference Manual. – 2008.
11. <http://meteo.ru/> Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – мировой центр данных.

References

1. Groisman P.Y., Knight R.W. and Zolina O.G. Recent Trends in Regional and Global Intense Precipitation Patterns // Academic Press: In: “Climate Vulnerability, 1st Edition Understanding and Addressing Threats to Essential Resources”, edited by R. Pielke. – 2013. – Pp. 25-52.
2. Zolina O.G., Simmer C., Kapala A., Shabanov P., Becker P., Mächel H., Gulev S.K. and Groisman P. Precipitation Variability and Extremes in Central Europe: New View from STAMMEX Results // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 2014. – vol. 95. – Pp. 995-1002.
3. Raynaud D., Thielen J., Salamon P., Burek P., Anquetin S., Alfieri L. A dynamic runoff coefficient to improve flash flood early warning in Europe: Evaluation on the 2013 central European floods in Germany // Meteorological Applications. – 2015. – 22(3). – Pp. 410-418.
4. Золина О.Г., Булыгина О.Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2016. – т. 1. – С. 84-103.
5. Iljinich V., Akulova E., Belchihina V. & Ponomarchuk K. Estimation of Statistical Characteristics for Storm Precipitation with Long-term Data to Assess Climate Change // Journal of Climate Change. – 2016. – Vol. 2. – No. 2. – Pp. 83-87.
6. Lapushkin M.Yu., Iljinich V.V. Otsenka izmenenij harakteristik shtormovyh dozhdjev na severe Moskvy, vliyayushchih na nadezhnost gidrotehnicheskikh sooruzhenij // Hidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 2020. – № 3. – С. 96-99.
7. SP 33-101-2003 Opredelenie osnovnyh raschetnyh gidrologicheskikh harakteristtik. – М.: Gosstroj Rossii, FGUP TSPP. – 2004. – 77 s.
8. Instruksiya po opredeleniyu raschetnyh gidrologicheskikh harakteristtik pri proektirovanii protivoerozionnyh meroprojatij na evropejskoj territorii SSSR. – L.: Hidrometizdat. – 1979. – 61 s. <https://search.rsl.ru/ru/record/01007632174>
9. Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual. (2000). Retrieved from <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HECHMS>.
10. MIKESHE11.A modelling System for River and Channels // Reference Manual. – 2008.
11. meteo.ru Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut gidrometeorologicheskoy informatsii – mirovoj tsentr dannyh.
12. Bogdanova E.G., Gavrilova S.Yu. Ustranenie neodnorodnosti vremennyh ryadov osadkov,

12. **Богданова Э.Г., Гаврилова С.Ю.** Устранение неоднородности временных рядов осадков, вызванной заменой дождемера с защитой Нифера на осадкомер Третьякова // *Метеорология и гидрология*. – 2008. – № 8. – С. 87-102.

13. 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.

14. **Сикан А.В.** Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – Изд. 2-е. – СПб.: РГГМУ, 2007. – 278 с.

15. **Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик.** – Л.: Гидрометиздат, 1984. – 448 с.

16. **Ильинич В.В.** Анализ нестандартных параметров для оценки асимметрии распределения случайных величин // *Вестник международной общественной академии экологической безопасности и природопользования*. – 2008. – № 3 (10). – С. 61-70.

Критерии авторства

Карпенко Н.П., Наумова А.А., Ильинич В.В. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 10.06.2021 г.

Одобрена после рецензирования 15.09.2021 г.

Принята к публикации 24.09.2021 г.

vyzvannoj zamenoj dozhdemera s zashchitoj Nifera na osadkomer Tretjakova // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2008. – № 8. – С. 87-102.

13. 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.

14. **Sikan A.V.** Metody statisticheskoy obrabotki gidrometeorologicheskoy informatsii. Izd. 2. – SPb: RGGMU. – 2007. – 278 s.

15. **Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик.** – Л.: Гидрометиздат. – 1984. – 448 с.

16. **Iljinich V.V.** Analiz nestandartnyh parametrov dlya otsenki assimetrii raspredeleniya sluchajnyh velichin // *Vestnik mezhdunarodnoj obshchestvennoj akademii ekologicheskoy bezopasnosti i prirodopolzovaniya*. – 2008. – № 3 (10). – С. 61-70.

Criteria of authorship

Karpenko N.P., Naumova A.A., Iljinich V.V. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 10.06.2021

Approved after reviewing 15.09.2021

Accepted for publication 24.09.2021