

УДК 556.535.3

DOI: 10.18384/2310-7189-2019-4-17-24

БЫСТРЫЙ СПОСОБ РАСЧЕТА МАКСИМАЛЬНЫХ В ГОДУ РАСХОДОВ ВОДЫ РЕДКОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ НА РЕКАХ ПРИМАГАДАНЫ

Ушаков М. В.

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт имени Н. А. Шило
Дальневосточного отделения Российской академии наук
685000, г. Магадан, ул. Портовая, д. 16, Российская Федерация*

Аннотация. В статье представлен опыт разработки быстрого и удобного способа определения максимальных в году расходов воды редкой повторяемости для неизученных рек Примагаданы. Автором использованы данные многолетних наблюдений за стоком рек на 9-ти гидрологических постах Гидрометеослужбы. В ходе исследования сделана попытка выявления закономерных связей максимальных в году расходов воды различной обеспеченности с площадью водосбора и виртуальным объемом водосборной котловины. По результатам проведенного исследования получены уравнения связи годовых максимумов стока редкой повторяемости с площадью водосбора. Связи с виртуальным объемом водосборной котловины оказались не столь высоки. Предложенный способ в среднем дает ошибку в 16–18 %, что сопоставимо с ошибками измерений расходов воды в периоды высоких половодий и паводков. Быстрый и удобный способ вычисления годовых максимумов стока будет полезен при картировании зон затопления при наводнениях различной обеспеченности, а также при проектировании гидротехнических сооружений (защитных дамб, плотин, мостовых переходов и др.).

Ключевые слова: город Магадан, речной сток, годовой максимум стока (для реки), площадь водосбора, водосборная котловина

FAST METHOD FOR CALCULATING THE MAXIMAL ANNUAL EXPENDITURES OF WATER OF RARE PERIODICITY FOR MANAGING WATER AND ECOLOGICAL RISKS IN RIVERS OF THE PRIMAGADAN AREA

M. Ushakov

*North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute of the Far East Branch
of the Russian Academy of Sciences
ul. Portovaya 16, 685000 Magadan, Russian Federation*

Abstract. We report the experience of developing a fast and convenient way of determining the maximum annual expenditures of the water flow of rare periodicity for the unexplored rivers of the Primagadan area. Use is made of the data of long-term observations of the river flow at 9 hydrological observation points of the Hydrometeorological Service. The correlations of the maximum annual water flows of various probability with the catchment area and the virtual volume of the catchment basin are presented. As a result of the study, the equations for the connection of the annual maxima of the runoff of rare frequency with the catchment area are obtained. Relations with the virtual volume of the catchment basin turn to be worse. The proposed method on average gives an error of 16–18%, which is comparable with the measurement errors of water flow during periods of high

floods. A quick and convenient method for calculating annual flow maxima will be useful when mapping flood zones during floods of various probability, as well as in designing hydraulic structures (protective dams, dams, bridge crossings, etc.).

Keywords: Magadan city, river runoff, annual maximum runoff (for a river), catchment area, catchment basin

Введение

Вопрос определения расчетных гидрологических характеристик на неизученных реках остается актуальным, особенно на слабоизученной территории Северо-Востока России. Выводом районных формул для рек Магаданской области посвящен ряд работ [2; 6; 7; 8; 9; 13].

В 2014 г. в г. Магадане прошел дождевой паводок, вызвавший наводнение. В связи с этим встал вопрос построения карт зон затопления города и его окрестностей при наводнениях заданной повторяемости, а для этого необходимы формулы, позволяющие рассчитывать максимальные в году расходы воды различной обеспеченности в любом створе неизученной реки.

Цель настоящей работы состояла в разработке быстрого и удобного способа определения максимальных в году расходов воды редкой повторяемости для неизученных рек Примагаданья.

Под Примагаданьем понимается территория муниципального образования «Город Магадан», которое включает в себя помимо самого города поселки Снежный, Снежная Долина, Дукча, Сокол, аэропорт Магадан¹. Реки рассматриваемого района расположены в зоне прерывистого распространения многолетнемерзлых грунтов [3]. Прерывистость и мощность мерзлоты контролируется двумя факторами: климатическим (температура воздуха, величина атмосферных осадков, в том числе в виде снега) и фильтрационными свойствами приповерхностных отложений и их мощностью. Если последняя

превышает глубину сезонного промерзания, то мощность многолетнемерзлых пород, при прочих равных условиях, сокращается, возникает сквозной талик [4].

Сток рек внутри года распределен неравномерно. В период май-октябрь протекает основная масса воды (94–98%). Из-за значительных уклонов и наличия многолетней мерзлоты на реках формируются большие максимумы стока. Для рек характерно ежегодное прохождение весеннего половодья, дождевые паводки наблюдаются в июне-октябре [7].

Для определения максимальных расходов воды весеннего половодья и дождевых паводков на неизученных реках рекомендуется использовать региональные расчетные формулы. Так, для определения максимальных расходов воды весеннего половодья и дождевых паводков на неизученных реках используются следующие формулы²:

$$Q_{P\%} = (K_0 h_{P\%} \mu_{P\%} A \delta \delta_1 \delta_2) / (A + A_1)^n \quad (1)$$

$$Q_{P\%} = q_{200} (200 / A)^n \delta \delta_2 \delta_3 \lambda_{P\%} A \quad (2)$$

$$Q_{P\%} = q'_{1\%} \phi H_{1\%} \delta \lambda_{P\%} A \quad (3)$$

Региональные параметры в формулах (1–3), определяются по местной сети гидрологических постов, изучающих сток. Надо заметить, что работа по расчету этих параметров очень трудоемка и сложна даже для специалистов. В настоящей же статье предлагается быстрый способ определения максимальных в году расходов воды различной обеспеченности.

¹ См.: Паспорт муниципального образования «город Магадан», утв. Главой гор. округа 01.01.2016 г. // Правительство Магаданской области [сайт]. – URL: https://www.49gov.ru/common/upload/1/editor/file/Gorod_Magadan.pdf (дата обращения 01.02.2019 г.)

² Свод правил по проектированию и строительству [СП 33-101-2003]: Определение основных расчетных гидрологических характеристик (одобрен для применения Пост. Госстроя РФ № 218 от 26 дек. 2003 г.)

Таблица 1

Сведения о гидрологических постах Колымского управления гидрометеослужбы

Название поста	Площадь водосбора, км ²	Виртуальный объем водосборной котловины, км ³	Годы наблюдений за стоком	
			начало	окончание
р. Уптар – п. Уптар	265	65	1975	действует
р. Дукча – п. Снежная Долина	119	42,5	1981	действует
р. Дукча – устье	330	101	1961	Действует
р. Магаданка – г. Магадан	48,5	16,9	1972	Действует
р. Магаданка – устье р. Каменушки	74,7	30,2	1958	1971
р. Магаданка – мост Колымского шоссе	155	52,9	1947	1957
р. Каменушка – в 8 км от устья	40,3	8,98	1977	Действует
р. Каменушка – в 3,3 км выше плотины	58,8	16	1958	1976
руч. Спутник – устье	2,25	0,64	1958	1975
руч. Солнечный – устье	3,57	1,02	1971	1987

Исходные материалы и метод исследования

В работе были использованы данные многолетних наблюдений за стоком рек Примагаданья (табл. 1), которые были взяты из ежегодников Государственного водного кадастра¹. Исходные ряды максимальных в году расходов воды были приведены к многолетнему периоду.

Во второй половине XX в. зафиксирован процесс глобального потепления климата, который продолжается и сейчас [1; 12], а это отражается и на гидрологическом режиме рек, в том числе и на максимальном стоке [10]. Поэтому в данной работе уделено внимание на наличие трендов в рядах годовых максимумов.

Все ряды максимальных расходов воды по среднему однородны (критерий Стьюдента с уровнем значимости 5%), за исключением ряда по гидрологическому посту

р. Магаданка – г. Магадан (рис. 1а). Однако, если исключить статистический выброс – катастрофический паводок 2014 г., то ряд имеет стационарный вид (рис. 1б). Было принято решение не элиминировать тренд, а принять этот выброс рядовым членом ряда, который просто увеличил дисперсию и отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации.

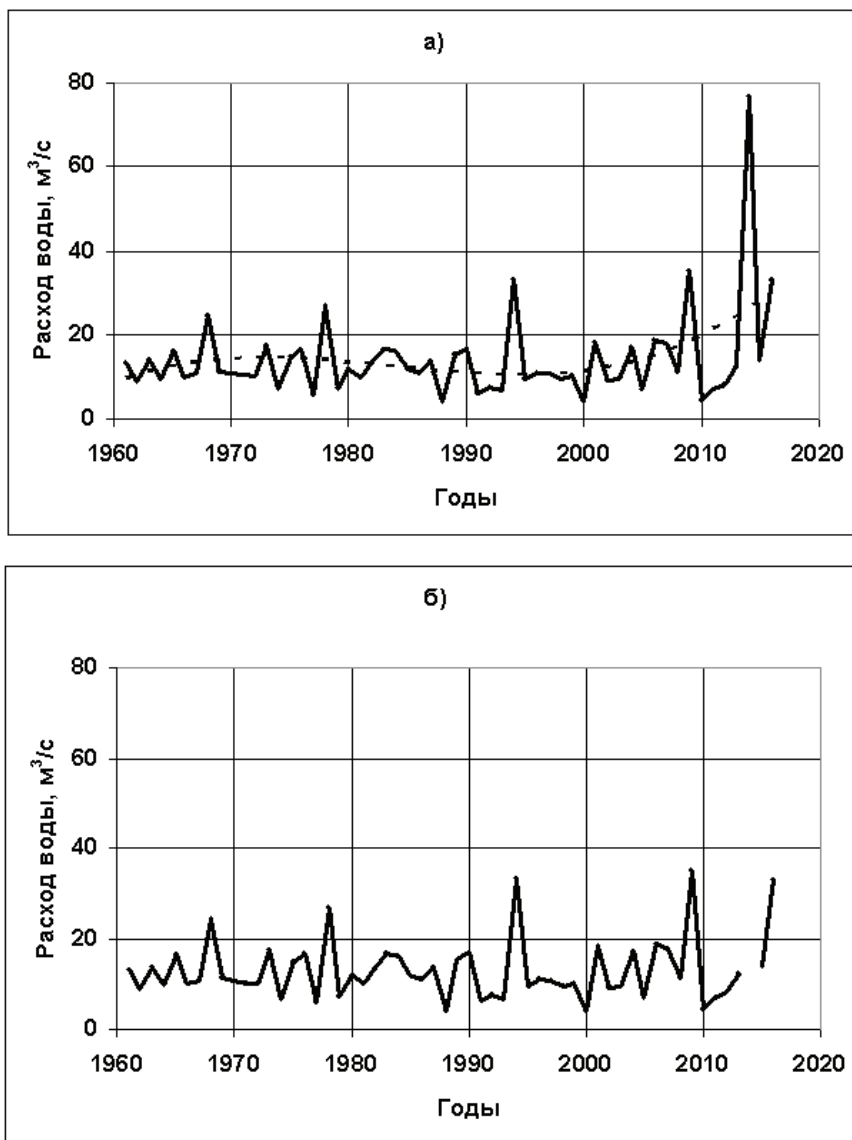
Оценка статистических параметров рядов максимальных расходов воды по опорной сети производилось методом моментов с введением соответствующих поправок. Кривые обеспеченности расходов воды строились с использованием трехпараметрических кривых Крицкого и Менкеля [5].

В качестве характеристики размеров водосбора помимо его площади использован показатель «виртуальный объем водосборной котловины»:

$$W = 0,001(H - h)F, \quad (4)$$

где H – средняя высота водосбора над уровнем моря, м; h – отметка меженного уровня реки или отметка нуля гидроло-

¹ Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1. Реки и каналы. Т. I: РСФСР. Вып. 17: Бассейн Колымы и рек Магаданской области. Л.: Гидрометеоиздат, 1985.



Прим.: пунктиром проведена линия тренда

Рис. 1. Многолетние колебания максимальных в году расходов воды на р. Магаданке у г. Магадана при полном ряде (а) и при исключении выброса 2014 г. (б)

гического поста в замыкающем створе над уровнем моря, м; F – площадь водосбора, км².

Этот показатель был успешно использован ранее при подсчете водных ресурсов Примагаданья [11].

Графические построения и вычисленные параметров уравнений регрессии

производилось при помощи табличного редактора *Microsoft Excel*.

2. Результаты и их обсуждение

По рядам максимальных в году расходов воды были рассчитаны квантили от 0,1 до 5% (табл. 2). Пост на р. Упгаре оставлен для проверки на независимом материале.

Таблица 2

Максимальные в году расходы воды различной обеспеченности

Название поста	Обеспеченность, %			
	0,1	0,5	1	5
р. Дукча – п. Снежная Долина	163	134	111	76,7
р. Дукча – устье	309	254	211	145
р. Магаданка – г. Магадан	92	69,7	56,9	36,0
р. Магаданка – устье р. Каменушки	89,9	71,2	58,5	37,2
р. Магаданка – мост Колымского шоссе	275	195	158	96,5
р. Каменушка – в 8 км от устья	49,4	35,9	30,7	21,1
р. Каменушка – в 3,3 км выше плотины	75,8	56,5	45,8	29,1
руч. Спутник – устье	2,13	1,76	1,47	0,93
руч. Солнечный – устье	3,42	2,55	2,06	1,29

На рис. 2 приведены графики связи квантилей максимальных в году расходов воды Q_p с площадью водосбора A :

$$Q_{0,1} = -2,70 \cdot 10^{-3} A^2 + 1,86A - 1,99, \quad \text{коэффициент детерминации } R^2=0,970, \quad (5)$$

$$Q_{0,5} = -1,74 \cdot 10^{-3} A^2 + 1,36A - 1,28, \quad R^2=0,984, \quad (6)$$

$$Q_1 = -1,39 \cdot 10^{-3} A^2 + 1,11A - 0,99, \quad R^2=0,986, \quad (7)$$

$$Q_5 = -0,75 \cdot 10^{-3} A^2 + 0,70A - 0,53, \quad R^2=0,991. \quad (8)$$

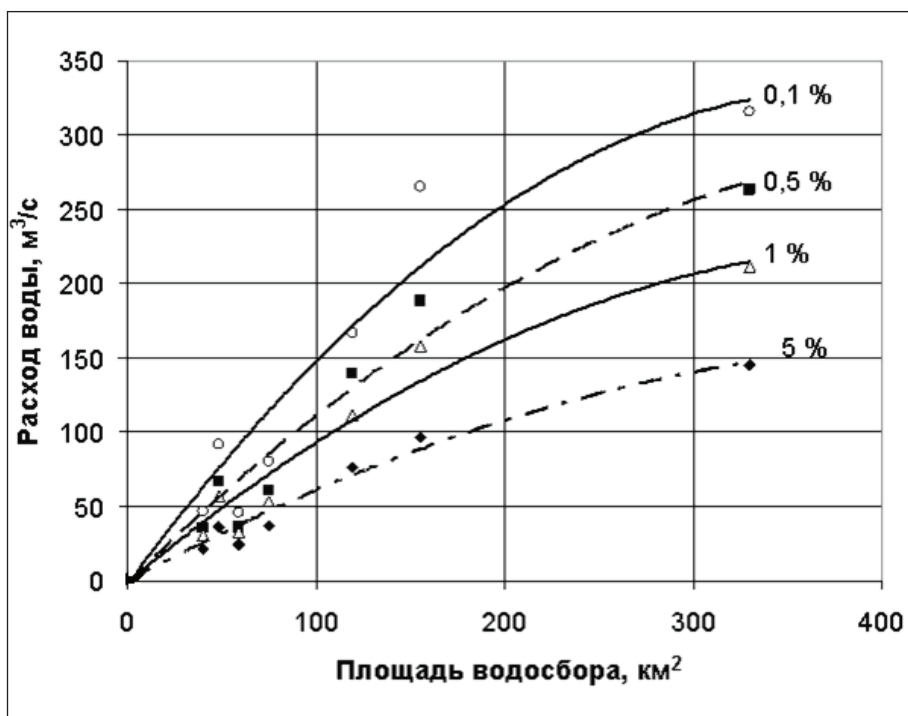


Рис. 2. Кривые связи максимальных расходов воды в году различной обеспеченности с площадью водосбора

Параболический вид связей свидетельствует о том, что размеры водосбора увеличиваются быстрее, чем речной сток. С возрастанием размеров водосбора снижаются уклоны местности, увеличивается путь движения воды до замыкающего створа, появляются замкнутые бессточные понижения, что в итоге приводит к увеличению потерь стока на испарение.

Подключение виртуального объема водосборной котловины, рассчитываемого по формуле (4), в качестве альтернативного аргумента не улучшило качество определения максимальных расходов

воды. Это можно объяснить тем, что, в отличие от минимального стока, максимальный сток в условиях криолитозоны мало зависит от емкости бассейна грунтовых вод, то есть большее значение имеет площадь с которой формируется сток.

По полученным формулам (5–8) можно рассчитывать максимальные в году расходы воды различной обеспеченности в любом неизученном створе реки. Средняя относительная ошибка (табл. 3) предлагаемого способа по определению максимальных в году расходов воды обеспеченностью 1% составляет 17,6%.

Таблица 3

Проверочные расчеты максимальных в году расходов воды обеспеченностью 1%

Река – пункт	$Q_{\max 1\%}$, м ³ /с		Ошибка	
	по натурным данным	по формуле	абсолютная, м ³ /с	относительная, %
р. Уптар – п. Уптар	111	108	-3	-2,3
р. Дукча – п. Снежная Долина	211	216	5	2,3
р. Дукча – устье	56,9	47,8	-9,1	-16,1
р. Магаданка – г. Магадан	58,5	71,8	13,3	22,7
р. Магаданка – устье р. Каменушки	158	135	-23	-14,8
р. Магаданка – мост Колымского шоссе	30,7	39,9	9,2	29,9
р. Каменушка – в 8 км от устья	45,8	57,4	11,6	25,3
р. Каменушка – в 3,3 км выше плотины	1,47	1,20	-0,27	-18,3
руч. Спутник – устье	2,06	2,60	0,54	26,4
руч. Солнечный – устье	111	108	-3	-2,3

Ошибки вычисленных значений расходов воды сопоставимы с точностью их измерения, которая в периоды высокой водности может достигать 10%. К тому же нужно иметь в виду, что годовые максимумы стока подразделениями Росгидромета зачастую определяются путем экстраполяции кривой связи расходов и уровней воды, ибо не всегда удается измерить пик половодья или дождевого паводка.

Заключение

В результате проведенной работы были получены быстрый и удобный способ определения максимальных в году расходов воды на неизученных реках Примагаданья редкой повторяемости. Осредненные по всем гидрологическим постам относительные ошибки лежат в пределах 16–18%, максимальная ошибка составила 31%.

Предложенный способ будет полезен при картировании зон затопления при наводнениях различной вероятности превышения, а также при проектировании гидротехнических сооружений (защитных дамб, плотин, мостовых переходов и др.).

Статья поступила в редакцию 17.07.2019

ЛИТЕРАТУРА

1. Белопицкий П. В., Барцев С. И., Дегерменджи А. Г. Гипотеза о двойном скачкообразном изменении климата в XX веке // Доклады Академии наук. 2015. Т. 460. № 1. С. 79–83.
2. Гарцман И. Н., Рябчикова Т. К. О распределении средних многолетних годовых осадков и стока по территории Верхней Колымы и Северного побережья Охотского моря. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 240 с.
3. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э. Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 515 с.
4. Глотов В. Е., Глотова Л. П., Ушаков М. В. Влияние климата на минимальный зимний сток рек Тауйского экорегиона // Вестник Северо-Восточного научного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2018. № 3. С. 36–42.
5. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. М.: Наука, 1982. 271 с.
6. Левин А. Г. Некоторые особенности условий формирования стока на Крайнем Северо-Востоке СССР // Тез. докл. III Всесоюзного гидрологического съезда. Секция расчетов и прогнозов стока. Л.: Гидрометеиздат, 1957. С. 32–55.
7. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 448 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 282 с.
9. Ушаков М. В. Методика расчета минимальных летне-осенних расходов воды рек Примагданья // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2017. Вып. 38. № (253). С. 141–148.
10. Ушаков М. В. Расчет минимальных 30-суточных расходов воды малых рек Магаданской области за летне-осенний период // Вестник Северо-Восточного научного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2013. № 3. С. 45–47.
11. Ушаков М. В. Схема расчета ресурсов речных вод Примагданья в условиях меняющегося климата // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2018. № 3 (155). С. 76–79.
12. Gartsman B. I., Lupakov S. Yu. Effect of Climate Changes on the Maximal Runoff in the Amur Basin: Estimation Based on Dynamic–Stochastic Simulation // Water Resources. 2017. Vol. 44 (5). P. 697–706.
13. Lobanov S. A., Ushakov M. V. The river water resources of the Magadan region and their long-term variability // Geography and natural resources. 2008. Vol. 29. № 3. P. 247–250.

REFERENCES

1. Belopiletskii P., Bartsev S., Degermendzhi A. [The hypothesis of double abrupt climate change in the XX century]. In: *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2015, vol. 460, no. 1, pp. 79–83.
2. Gartsman I., Ryabchikova T. *O raspredelenii srednikh mnogoletnikh godovykh osadkov i stoka po territorii Verkhnei Kolymy i severnogo poberezh'ya Okhotskogo morya* [On the distribution of the long-term average annual precipitation and runoff throughout the Upper Kolyma and Northern Okhotsk sea coast]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1972. 240 p.
3. Ershov E., ed. *Geokriologiya SSSR. Vostochnaya Sibir' i Dal'nii Vostok* [Geocryology of the USSR. Eastern Siberia and the far East]. Moscow, Nedra Publ., 1989. 515 p.
4. Glotov V., Glotova L., Ushakov M. [Climate impact on the minimum winter flows of Tauisk eco-region rivers]. In: *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo centra Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk* [Bulletin of the Scientific Center of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences], 2018, no. 3, pp. 36–42.
5. Kritskii S., Menkel' M. *Gidrologicheskie osnovy upravleniya vodokhozyaistvennymi sistemami* [Hydrological bases of water management systems]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 271 p.

6. Levin A. [Some features of the conditions of runoff formation in the Extreme North-East of the USSR]. In: *Tez. dokl. III Vsesoyuznogo gidrologicheskogo s"ezda. Sektsiya raschetov i prognozov stoka* [Abstracts of III all-Union hydrological Congress. Section calculations and predictions of the flow]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1957, pp. 32–55.
7. *Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Manual on determination of design hydrological characteristics]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1984. 448 p.
8. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 19. Severo-Vostok* [Surface water resources of the USSR. Vol. 19. Northeast]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1969. 282 p.
9. Ushakov M. [The method of calculation of the minimum summer–autumn water flow of the Magadan rivers]. In: *Nauchnye Vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Belgorod State University Scientific Bulletin, Natural Sciences], 2017, iss. 38, no. (253), pp. 141–148.
10. Ushakov M. [The calculation of the minimum 30-day discharges of the small rivers of the Magadan region in the summer–autumn period]. In: *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo centra Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk* [Bulletin of the Scientific Center of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences], 2013, no. 3, pp. 45–47.
11. Ushakov M. [The scheme of calculation of resources of river waters of Magadan in a changing climate]. In: *Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii* [Use and protection of natural resources in Russia], 2018, no. 3 (155), pp. 76–79.
12. Gartsman B., Lupakov S. Effect of Climate Changes on the Maximal Runoff in the Amur Basin: Estimation Based on Dynamic–Stochastic Simulation. In: *Water Resources*, 2017, vol. 44 (5), pp. 697–706.
13. Lobanov S., Ushakov M. The river water resources of the Magadan region and their long-term variability. In: *Geography and natural resources*, 2008, vol. 29, no. 3, pp. 247–250.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ушаков Михаил Вилорьевич – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории региональной геологии и геофизики Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института им. Н. А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук; e-mail: mvilorich@narod.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Michael V. Ushakov – PhD in Geographical Sciences, senior researcher at the Laboratory of Regional Geology and Geophysics of North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: mvilorich@narod.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Ушаков М. В. Быстрый способ расчета максимальных в году расходов воды рек Примагаданья редкой повторяемости // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2019. № 4. С. 17–24.
DOI: 10.18384/2310-7189-2019-4-17-24

FOR CITATION

Ushakov M. Fast Method for Calculating the Maximal Annual Expenditures of Water of Rare Periodicity for Managing Water and Ecological Risks in Rivers of the Primagadan Area. In: *Bulletin of the Moscow Regional State University, Series: Natural Sciences*, 2019, no. 4, pp. 17–24.
DOI: 10.18384/2310-7189-2019-4-17-24