

М. В. Ушаков

***Пространственно-временные колебания
максимальных расходов воды весеннего
половодья на реках Северного
Приохотоморья***

ФГБУН «Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН»,
г. Магадан, Российская Федерация
e-mail: mvilorich@narod.ru

Аннотация. Цель работы: изучить пространственно-временных колебания максимальных расходов воды весеннего половодья на реках северного побережья Охотского моря. Исходными данными послужили многолетние наблюдения за стоком на восьми гидрологических постах. Какой-либо закономерности в пространственном распределении модуля максимального расхода воды и его коэффициента вариации не прослеживается. Зато выявлены связи этих характеристик с площадью водосбора. Эти связи могут стать основой для разработки районной методики по определению максимальных расходов воды весеннего половодья различной вероятности превышения на неизученных реках. Современное глобальное потепление на многолетние колебания максимальных расходов воды весеннего половодья пока не отразилось. Спектральный анализ в колебаниях выявил 6-летнюю цикличность. Можно принять гипотезу, что многолетние колебания исследуемой характеристики представляют собой сложную цепь Маркова. Дальнейшие исследования можно направить на разработку метода предвычисления многолетних колебаний максимумов половодья.

Ключевые слова: весеннее половодье, модуль расхода воды, площадь водосбора, спектральный анализ, вероятность превышения.

Введение

Известно, что весеннее половодье на реках охватывает большие территории и нередко наносит большой ущерб экономике и населению. Это грандиозное природное явление оказывает значительное влияние на жизненный цикл речной и пойменной биоты.

В данной работе ставится цель получить представление о пространственно-временных колебаниях максимальных расходов воды весеннего половодья на реках северного побережья Охотского моря (Северного Приохотоморья). Знание характера многолетних колебаний этой характеристики полезны при использовании водных ресурсов, регулировании стока водохранилищами, коих здесь три.

Как известно, со второй половины XX века идет процесс глобального потепления [1; 2; 3], который отражается и на некоторых элементах гидрологического режима рек [4; 5; 6; 7; 8]. Поэтому вызывает интерес вопрос, сказывается ли современное изменение климата на максимальный весенний сток.

Характеристикам речного стока рек Северного Приохотоморья посвящено ряд работ [9; 6; 7, 10]. Вопрос пространственно-временных колебаний

максимальных расходов воды весеннего половодья для данного района еще никем не рассматривался.

Рассматриваемая территория относится к Тихоокеанской области умеренного климатического пояса. Среднегодовые температуры воздуха лежат в пределах $-3,5\div-9,5^{\circ}\text{C}$ [11]. Для этой зоны свойственно избыточное увлажнение, холодное лето, снежная зима [12]. Распространение многолетнемерзлых пород, примерно до с.ш. прерывистое, а севернее – слабо прерывистое. [13; 14].

В теплую часть года (май-октябрь) протекает основная масса воды (94-98%) [9]. С ноября по апрель наблюдается зимняя межень. Весеннее половодье проходит в мае-июне, его пик проходит обычно во второй половине мая, первой декаде июня. Дождевые паводки отмечаются в июне-сентябре, реже в октябре.

Материалы и методы

Исходными данными послужили многолетние наблюдения за стоком на восьми гидрологических постах Колымского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (табл.). Пост на р. Тауе расположен на западе Северного Приохотоморья, на р. Гижиге – на востоке (рис. 1). Остальные пункты наблюдений расположены в г. Магадане и его окрестностях.

Погодичные значения максимальных расходов воды весеннего половодья выбирались из [15] и Гидрологических ежегодников Государственного водного кадастра. Пропуски в наблюдениях восстанавливались методом гидрологической аналогии [16].

Таблица 1

Статистические параметры рядов максимальных расходов весеннего половодья рек Северного Приохотоморья

№№	Река – пункт	Площадь водосбора, км ²	Годы наблюдений за стоком, годы	Средний максимум, м ³ /с	Средне-квадратичное отклонение, м ³ /с
1	Гижига – в 20 км от устья	11700	1961-1993	2450	917
2	Магаданка – г. Магадан	48,5	1972-2019	8,55	5,90
3	Кменушка – в 8 км от устья	40,3	1977-2019	5,48	3,72
4	Дукча – п. Снежная Долина	119	1979-2019	22,7	17,3
5	Дукча – устье	330	1961-2019	43,2	26,7
6	Хасын – в 80 км от устья	682	1962-2019	92,1	46,0
7	Уптар – п. Уптар	285	1975-2019	53,2	46,8
8	Тауй – с. Талон	25100	1962-2019	2450	917

Составлено автором

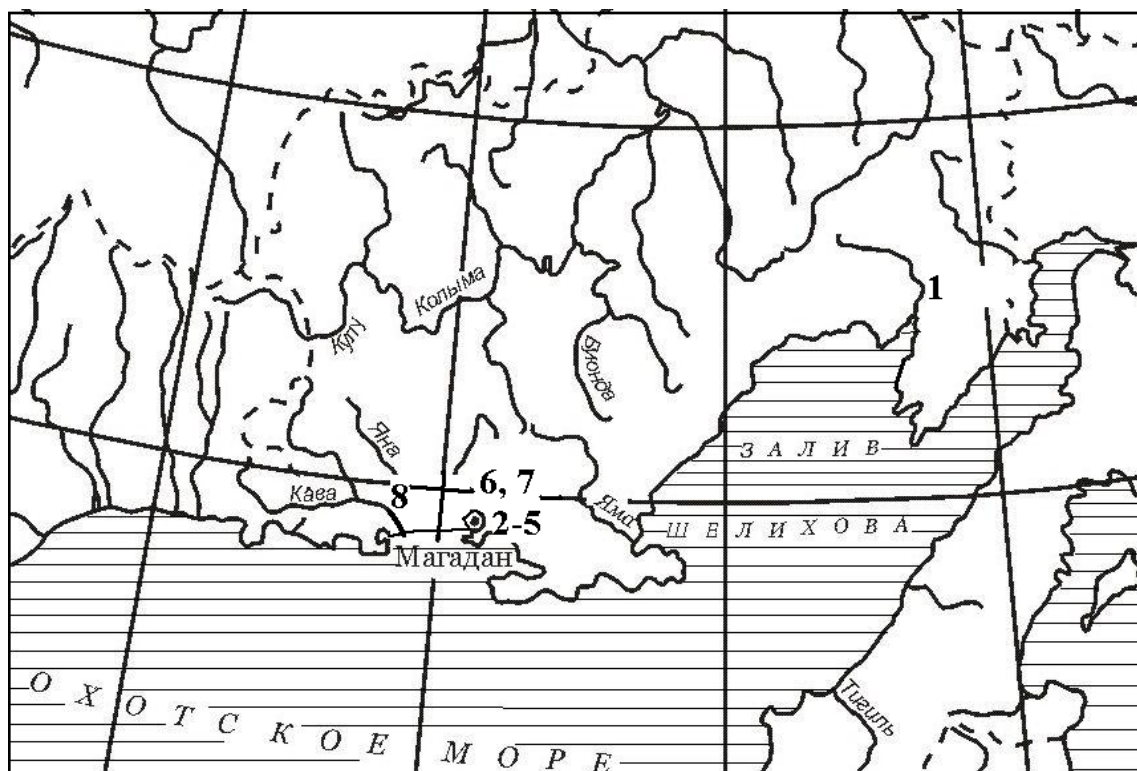


Рис. 1. Пункты многолетних наблюдений за речным стоком (цифры). Номера пунктов по табл.

Статистические параметры рядов максимумов рассчитывались методом моментов [СП, 2004].

При анализе многолетних колебаний использовался спектральный анализ.

Результаты и обсуждение

По территории Северного Приохотоморья модуль среднемноголетнего максимального расхода воды лежит в пределах $0,10-0,20 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$, а его коэффициент вариации меняется от 0,36 до 0,88. Какой-либо закономерности в пространственном распределении этих параметров нет. Зато имеются удовлетворительные связи их с площадью водосбора

$$M = 0,22 - 0,024 \lg(A + 1), r = 0,70, \quad (1)$$

$$C_V = 1 - 0,15 \lg(A + 1), r = 0,82, \quad (2)$$

где M – среднемноголетний модуль максимального расхода воды, $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$; C_V – коэффициент вариации; r – коэффициент корреляции.

Редукция модуля расхода воды известна давно. 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.

Обратная связь коэффициентов вариации и асимметрии с площадью водосбора объясняется следующим. Чем больше величина бассейна, тем больше

проявляется его роль как регулятора стока. В пределах большого бассейна разнообразнее количество и режим поступления талых вод. Увеличение типов подстилающей поверхности приводит к пространственному разнообразию режима испарения. Возрастание глубины вреза речных русел увеличивает долю подземного стока. Можно сказать, что чем больше река, тем меньше многолетняя изменчивость модуля максимального расхода воды.

Согласно критерию Стьюдента и Фишера при уровне значимости 5 % ряды максимумов половодья однородны по среднему и дисперсии, не имеют тренда, то есть глобальное потепление пока никак не сказывается на многолетних колебаниях.

Для анализа многолетних колебаний максимумов половодья исходные ряды были представлены в стандартных отклонениях

$$t_{i,j} = (Q_{i,j} - \bar{Q}_j) / \sigma_j,$$

где $Q_{i,j}$ – максимальный расход воды весеннего половодья в год i в пункте j ; \bar{Q}_j – среднемноголетний максимум ряда j ; σ_j – среднеквадратичное отклонение ряда j .

Далее был рассчитан ряд средневзвешенного по площади водосбора динамического среднего максимума половодья по Северному Приохотоморью (рис. 2)

$$\tilde{K}_i = \sum_{j=1}^m a_j t_{i,j} / (Am),$$

где a_j – площадь j -го водосбора; A – сумма площадей водосбора в пунктах наблюдений; m – число пунктов наблюдений.

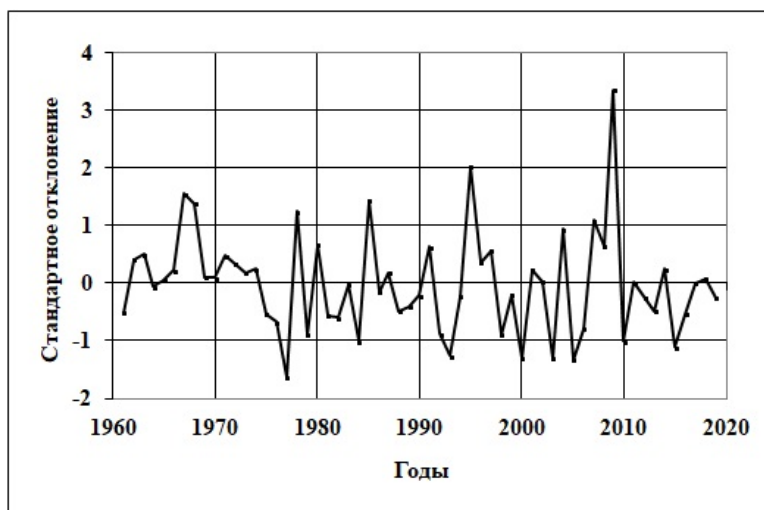


Рис. 2. Многолетние колебания динамического среднего максимальных расходов воды весеннего половодья на реках Северного Приохотоморья, выраженных в стандартных отклонениях.

Составлено автором

Получить представление о частотной структуре временных рядов помогает спектральный анализ [17]. Спектральная функция рассчитывалась с использованием фильтра Хэмминга [18]

$$S(T) = 1/2\pi + \sum_{\tau=1}^m [(0,54 + 0,46\cos(\pi\tau/m))r(\tau)\cos(2\pi\tau/T)]/\pi,$$

где T – период ($T = 1, 2, \dots, m$ лет); τ – сдвиг по времени с дискретностью 1 год; m – максимальный сдвиг по τ ($m = n/2$ лет); $r(\tau)$ – ординаты автокорреляционной функции.

На спектрограмме (рис. 3) видно, что спектральная функция динамического среднего имеет статистически значимый пик на периоде 6 лет. Интересно заметить, что в работе [19] в многолетних колебаниях объема стока весеннего половодья в бассейне Верхней Колымы, который расположен по другую сторону Главного водораздела Земли, тоже была выявлена 6-летняя гармоника.

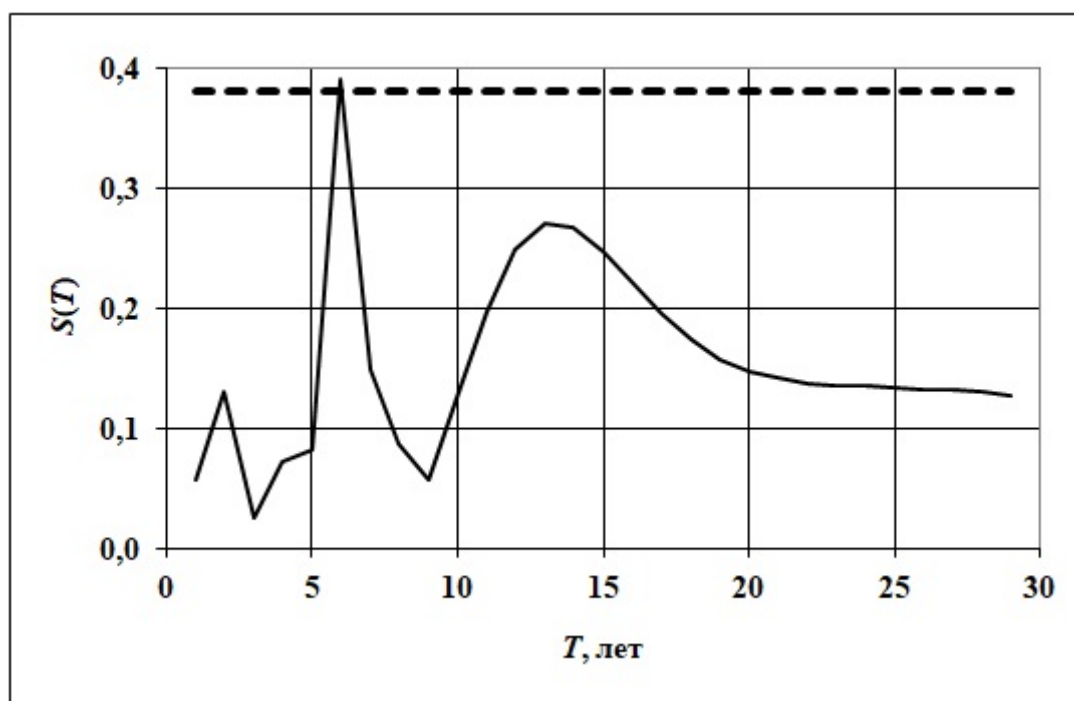


Рис. 3. Спектрограмма колебания динамического среднего максимальных расходов воды весеннего половодья на реках Северного Приохотоморья.

Пунктиром проведен доверительный уровень 95 %.

Составлено автором

Коэффициент автокорреляции исследуемого ряда имеет околонулевое значение ($r(1) = -0,06$), то есть ряд не отвечает модели простой цепи Маркова [20]. Учитывая 6-летний цикл в колебаниях максимумов можно принять гипотезу, что многолетние колебания максимальных расходов воды весеннего половодья на реках северного побережья Охотского моря представляют собой сложную цепь Маркова [20]. Отсюда можно сделать вывод, что многолетние колебания этой характеристики можно предвычислять. Для этого нужно отыскивать дальние асинхронные связи с различными индексами атмосферной и океанической циркуляции. Это предмет дальнейших исследований.

Выводы

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

В пространственном распределении модуля максимальных расходов воды весеннего половодья на реках Северного Приохотоморья и его коэффициента вариации отсутствует какая-либо закономерность, то есть они не поддаются картированию. Однако выявлены связи этих характеристик с размерами водосбора. Формулы (1), (2) могут послужить основой для разработки районной методики по определению максимальных расходов воды весеннего половодья различной обеспеченности на неизученных реках Северного Приохотоморья.

На многолетние колебания максимальных расходов воды весеннего половодья современное глобальное потепление пока не сказывается.

Спектральный анализ в колебаниях выявил 6-летнюю цикличность. Следовательно, многолетние колебания максимумов половодья можно прогнозировать. Это направление дальнейших исследований.

Литература

1. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1: Изменение климата. М.: Росгидромет, 2008. 277 с.
2. Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2015 году. ВМО-№ 1167. Женева, Publications Board World Meteorological Organization, 2016, 26 с.
3. Сточкуте Ю. В., Василевская Л. Н. Многолетние изменения температуры воздуха и почвы на Крайнем Северо-Востоке России // Географический вестник, 2016, № 2(37), с. 84-96.
4. Woo M., 1990. Consequences of Climatic Change for Hydrology in Permafrost Zones. Journal of Cold Regions Engineering, Vol. 4, No. 1, p. 15-20.
5. 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), pp. 697-706.
6. Глотов В. Е., Глотова Л. П., Ушаков М. В. Влияние климата на минимальный зимний сток рек Тауйского экорегиона // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2018, № 3. С. 36-42.
7. Ушаков М. В. Климатический отклик минимального летне-осеннего стока рек северного Приохотоморья // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Т. 5(71). № 1. 2019. С. 238-246.
8. Ushakov M. V., Ukhov N. V. Modern Changes in the Thermal Regime of Mountain Rivers in the Permafrost Zone (A Case Study for the Upper Kolyma) Russian Meteorology and Hydrology. 2020, vol. 45, No. 12, pp. 858-863.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. 282 с.
10. Ушаков М. В. Расчет кривых спада дождевых паводков для управления гидроэкологической ситуацией на реках Северного Приохотоморья // Географическая среда и живые системы. 2020. № 1. С. 126-133.
11. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер.3. Ч. 1-6. Вып. 33. Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. 566 с.

12. Север Дальнего Востока / Под ред. Н. А. Шило. Москва: Наука, 1970. 487 с.
13. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э.Д. Ершова. Москва: Недра, 1989. 515 с.
14. Глотов В. Е., Глотова Л. П. Гидрогеология северной береговой зоны Охотского моря // Тихоокеанская геология. 2008. Т.28, № 6. С. 12-132.
15. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. I. Вып. 17. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. 429 с.
16. Владимиров А. М. Гидрологические расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 366 с.
17. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1971. 288 с.
18. Шелутко В. А. Численные методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 239 с.
19. Ушаков М. В. Пространственно-временные колебания стока весеннего половодья на реках Верхней Колымы // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2019. Том 5(15) Вып. 4. с. 319-333.
20. Шелутко В. А. Статистические модели и методы исследования многолетних колебаний стока. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 160 с.

M. Ushakov

Spatio-temporal fluctuations of the maximum water discharges during the spring flood on the rivers of the northern Okhotsk Sea region

North-Eastern Integrated Research Institute named after N.A. Shilo FEB RAS, Magadan, Russian Federation
e-mail: mvilorich@narod.ru

Abstract. *The purpose of the article: to study the spatial and temporal fluctuations of the maximum water flow during the spring flood on the rivers of the northern coast of the Sea of Okhotsk. The initial data were long-term observations of runoff at eight hydrological stations. There is no regularity in the spatial distribution of the module of the maximum water flow and its coefficient of variation. On the other hand, relationships between these characteristics and the catchment area have been revealed. These relationships can become the basis for the development of a regional methodology for determining the maximum water discharges of spring floods of various probability of exceeding on unexplored rivers. The current global warming has not yet affected the long-term fluctuations in the maximum water flow during the spring flood. Spectral analysis in fluctuations revealed a 6-year cyclicality. We can accept the hypothesis that long-term fluctuations of the characteristic under study represent a complex Markov chain. Further research can be directed to the development of a method for predicting long-term fluctuations in flood maxima*

Keywords: *spring flood, water discharge module, catchment area, spectral analysis, probability of exceed.*

References

1. Otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Moscow: Roshydromet, 2008, 227 p. (in Russian).
2. Zajavlenie VMO o sostojanii global'nogo klimata v 2015 godu. VMO-№ 1167. Geneva: Publications Board World Meteorological Organization, 2016, 26 p. (in Russian).
3. Stokhute Ju.V., Vasilevskaja L.N. Mnogoletnie izmenenija temperatury vozduha i pochvy na Krajnem Severo-Vostoke Rossii. Geographic Bulletin, 2016, No 2(37), pp. 84-96. (in Russian).
4. Woo M., 1990. Consequences of Climatic Change for Hydrology in Permafrost Zones. Journal of Cold Regions Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 15-20. (in English)
5. 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), pp. 697-706. (in English)
6. Glotov V.E., Glotova L.P., Ushakov M. V. Vlijanie klimata na minimal'nyj zimmij stok rek Taujskogo jekoregiona. Bulletin of the North-Eastern Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. 2018, No 3. pp. 36-42. (in Russian).
7. Ushakov M.V. Klimaticheskij otklik minimal'nogo letne-osennego stoka rek severnogo Priohotomor'j. Scholarly notes V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology. Vol. 5(71). No 1. 2019. pp. 238-246. (in Russian).
8. Ushakov M.V., Ukhov N.V. Modern Changes in the Thermal Regime of Mountain Rivers in the Permafrost Zone (A Case Study for the Upper Kolyma) Russian Meteorology and Hydrology. 2020, vol. 45, No. 12, pp. 858-863. (in Russian).
9. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. T. 19. Severo-Vostok. Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1969, 282 p. (in Russian).
10. Ushakov M.V. Raschet krivyh spada dozhdevyh pavodkov dlja upravlenija gidrojekologicheskoj situaciej na rekah Severnogo Priohotomor'ja. Geographical environment and living systems. 2020. No 1. pp. 126-133. (in Russian).
11. Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR. Serija 3. Chast' 1-6. Vypusk 33. Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1990. 566 p. (in Russian).
12. Sever Dal'nego Vostoka / Ed. by N.A.Shilo. Moscow: Nauka (Publ.), 1970, 487 p. (in Russian).
13. Geokriologija SSSR. Vostochnaja Sibir' i Dal'nij Vostok / Pod red. Je.D. Ershova. Moscow: Nedra (Publ.), 1989. 515 p. (in Russian).
14. Glotov V. E., Glotova L. P. Gidrogeologija severnoj beregovoj zony Ohotskogo morja. 2008. Vol. 28, No 6. pp. 12-132. (in Russian).
15. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushy. T. I. Vyp. 17 [Long-term data on the regime and resources of surface waters on land. Vol. I. Issue. 17] Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1985. 429 p. (in Russian).
16. Vladimirov A. M. Gidrologicheskie raschety. Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1990. 366 p. (in Russian).
17. Dzhenskij G., Vatts D. Spektral'nyj analiz i ego prilozhenija. Moscow: Mir (Publ.), 1978. 288 p. (in Russian).
18. Shelutko V. A. Chislennye metody v gidrologii. Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1991. 239 p. (in Russian).

19. Ushakov M.V. Prostranstvenno-vremennye kolebanija stoka vesennego polovod'ja na rekah Verhnej Kolymy. Geopolitics and ecogeodynamics of regions. 2019. Vol. 5(15). Issue. 4. pp. 319-333. (in Russian).
20. Shelutko V.A. Statisticheskie modeli i metody issledovanija mnogoletnih kolebanij stoka. Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1984. 160 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 20.01.2022 г.