

**РАЗДЕЛ 5.**  
**ГИДРОЛОГИЯ, ОКЕАНОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ**

**УДК 556.06**

**КЛИМАТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК МИНИМАЛЬНОГО ЛЕТНЕ-ОСЕННЕГО  
СТОКА РЕК СЕВЕРНОГО ПРИОХОТОМОРЬЯ**

*Ушаков М. В.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук, Магадан, Россия*

*E-mail: mvilorich@narod.ru*

В работе ставилась цель, оценить климатические изменения минимального суточного стока рек Северного Приохотоморья за летне-осенний период. Наименьшие расходы воды за период открытого русла могут наблюдаться в любой летний месяц, преимущественно во второй половине лета. В этот период питание рек осуществляется, главным образом за счет ресурсов водоносного сезонно-талого слоя и таликов. Сравнение среднесуточных значений модуля минимального суточного расхода воды, рассчитанных до 1980 г., и за период 1981-2016 гг. показало, что сток увеличился на 8-53 %. Увеличение минимального стока рек в первую очередь обусловлено ростом атмосферных осадков. Так сумма осадков за третий квартал за последние десятилетия увеличилась на 21 %. В связи с потеплением климата увеличиваются мощность сезонно-талого слоя и размеры таликов, а это приводит к повышению подземного стока рек. На примере наиболее изученной реки, показано, что можно рассчитывать, какая будет норма минимального суточного стока за летне-осенний период при различных сценариях повышения среднегодовой температуры воздуха.

**Ключевые слова:** глобальное потепление, модуль расхода воды, минимальный сток, скользящее среднее

**ВВЕДЕНИЕ**

На планете идет процесс глобального потепления климата [1], в том числе и в России [2, 3, 4, 5]. В течении XXI века температура воздуха продолжит повышаться, наибольшего потепления следует ожидать в Сибири и в арктических и субарктических районах России [6]. Климатические изменения вызывают изменения гидрологического режима морей и рек [7, 8, 9, 10, 11].

Важное место в гидрологическом режиме рек занимает минимальный сток. Он имеет не только водохозяйственное значение, но и экологическое. Реки Северного Приохотоморья используются для рыболовства, искусственного разведения лососевых рыб и коммунального хозяйства. На условия нереста лососевых рыб существенно влияет режим стока рек. В работе ставится цель, дать количественную оценку климатическим изменениям минимального суточного стока рек Северного Приохотоморья за летне-осенний период. Северное Приохотоморье – территория бассейнов рек Охотского моря в пределах Магаданской области. В работах [12, 13] было показано, что благодаря климатическим изменениям в бассейне р. Колымы,

который граничит с исследуемым районом, существенно увеличился речной сток в мае, августе и сентябре.

Для рассматриваемой территории характерен холодный климат [14], прерывистое и островное распространение многолетней мерзлоты [15]. Лесной ландшафт на горных хребтах и нагорьях сменяется тундрой, каменистыми пустынями [16]. Средняя годовая температура воздуха ниже нуля ( $-2,5 \div -7,2^{\circ}\text{C}$ ) [17]. Наиболее холодным является январь, самым теплым – июль. Осадки в течение всего года определяются циклонической деятельностью, внутримассовые осадки, обусловленные сильным прогревом, вносят незначительный вклад в годовую сумму.

Режим стока рек отличается значительной неравномерностью внутри года. В мае-октябре протекает основная масса воды (94-99 %) [18]. В зимние месяцы (ноябрь-март) сток незначителен. Гидрографы половодья характеризуются зачастую пилообразной. Дождевые паводки проходят в период середина июня-сентябрь. Наименьшие расходы воды за период открытого русла могут наблюдаться в любой летний месяц, преимущественно во второй половине лета и перед появлением на реке осенних ледовых явлений. Продолжительность летних меженных периодов, как правило, невелика. Зимняя межень наблюдается с конца октября. Особенности питания рек этого района в меженные периоды, с учетом его холодного морского климата и островного характера криолитозоны, рассмотрено ранее в [19].

## 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

В работе анализировались многолетние ряды минимальных летне-осенних суточных модулей стока на пяти работающих гидрологических постах Северного Приохотоморья (табл. 1). Следует отметить, что рассматриваемая территория в гидрологическом отношении очень слабо изучена, в настоящее время работает всего семь гидрологических постов с изучением речного стока. Для анализа пункты наблюдений за стоком выбирались так, чтобы они удовлетворяли двум следующим требованиям:

1) гидрологический режим не должен был подвергаться антропогенному воздействию ни в прошлом, ни в настоящем;

2) период наблюдений должен охватывать вторую половину XX века и второе десятилетие XXI века.

Данные о стоке взяты из [20] и гидрологических ежегодников Государственного водного кадастра.

Таблица 1

Сведения о гидрологических постах

| Река – пункт              | Площадь водосбора,<br>км <sup>2</sup> | Год начала<br>наблюдений за стоком |
|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| р. Дукча – устье          | 330                                   | 1961                               |
| р. Магаданка – г. Магадан | 48,5                                  | 1972                               |

| Река – пункт        | Площадь водосбора, км <sup>2</sup> | Год начала наблюдений за стоком |
|---------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| р. Хасын п. Хасын   | 682                                | 1941                            |
| р. Уптар – п. Уптар | 265                                | 1940                            |
| р. Тауй – с. Талон  | 25100                              | 1941                            |

Из данных табл. 2 видно, что за последние десятилетия среднемноголетние модули минимального суточного расхода воды увеличился на 8-53 % (табл. 2). И это приращение обратно пропорционально площади водосбора (рис. 1)

$$\Delta M = 162 \lg A^{-2,03}, \text{ коэффициент детерминации } R^2 = 0,92, (1)$$

где  $A$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>.

Таблица 2

Среднемноголетние значения минимального суточного летне-осеннего стока рек Северного Приохотоморья

| Река – пункт              | Среднемноголетний минимальный суточный модуль стока, л/(с·км <sup>2</sup> ) |               |
|---------------------------|---|---------------|
|                           | до 1980 г.  | 1981-2016 гг. |
| р. Дукча – устье          | 9,5   | 12,8          |
| р. Магаданка – г. Магадан | 13,2  | 20,2          |
| р. Хасын п. Хасын         | 7,4   | 8,8           |
| р. Уптар – п. Уптар       | 7,9   | 9,6           |
| р. Тауй – с. Талон        | 6,7   | 7,2           |

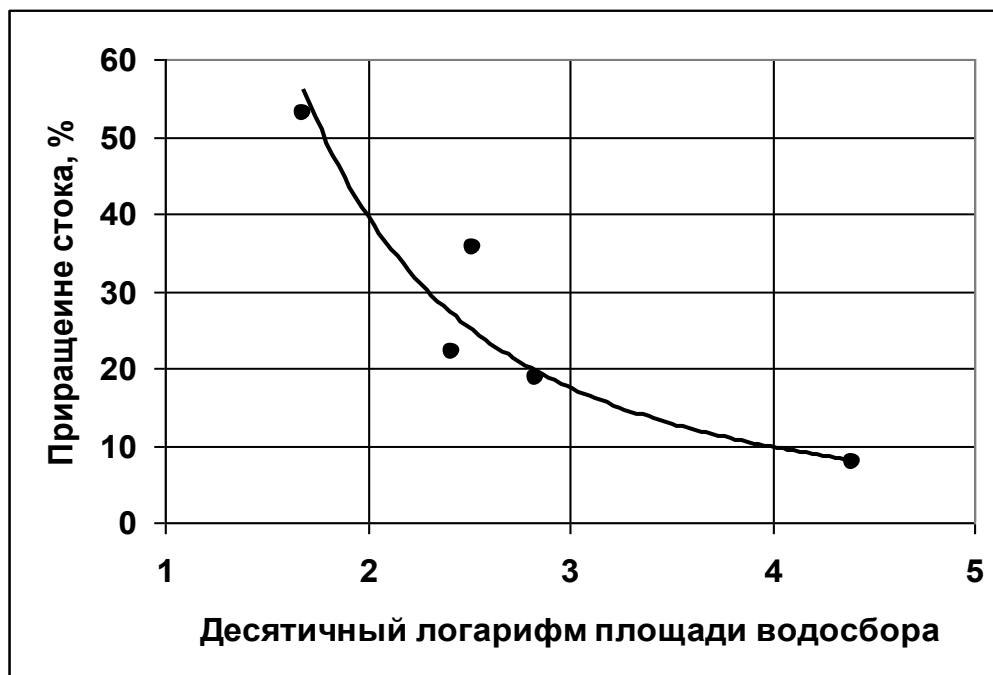


Рис. 1. Связь климатического приращения модуля минимального суточного расхода воды за летне-осенний период с площадью водосбора.

Изменения климатических характеристик температуры воздуха и атмосферных осадков в г. Магадане определялись по регулярно пополняемым многолетним массивам данных, размещенных на сайте Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации–Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) [21].

## 2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рост минимального стока рек Северного Приохотоморья (см. табл. 2) в первую очередь обусловлено ростом атмосферных осадков (табл. 3) как в целом за год, так и за третий квартал, внутри которого наблюдается летне-осенняя межень. Квартальная сумма осадков за последние десятилетия увеличилась на 21 %. Кроме того, в связи с повышением температур воздуха (см. табл. 3) увеличиваются мощность сезонно-талого слоя и размеры таликов, а это приводит к повышению подземного стока рек.

Таблица 3.

Среднемноголетние значения климатических характеристик

| Климатическая характеристика               | Среднее    |               |
|--|------------|---------------|
|  | до 1980 г. | 1981-2015 гг. |
| Среднегодовая температура воздуха, С°      | -3,5       | -2,6          |
| Температура воздуха в третьем квартале, С° | 10,0       | 10,5          |
| Сумма осадков за год, мм                   | 530        | 577           |
| Сумма осадков за третий квартал, мм        | 209        | 252           |

На рис. 2 представлен временной ход скользящих 30-летних средних среднегодовой температуры воздуха в г. Магадане и минимального суточного модуля стока на р. Хасыне у п. Хасына. По этим графикам можно проследить, как с течением времени растут нормы, рассчитанные за 30 лет.

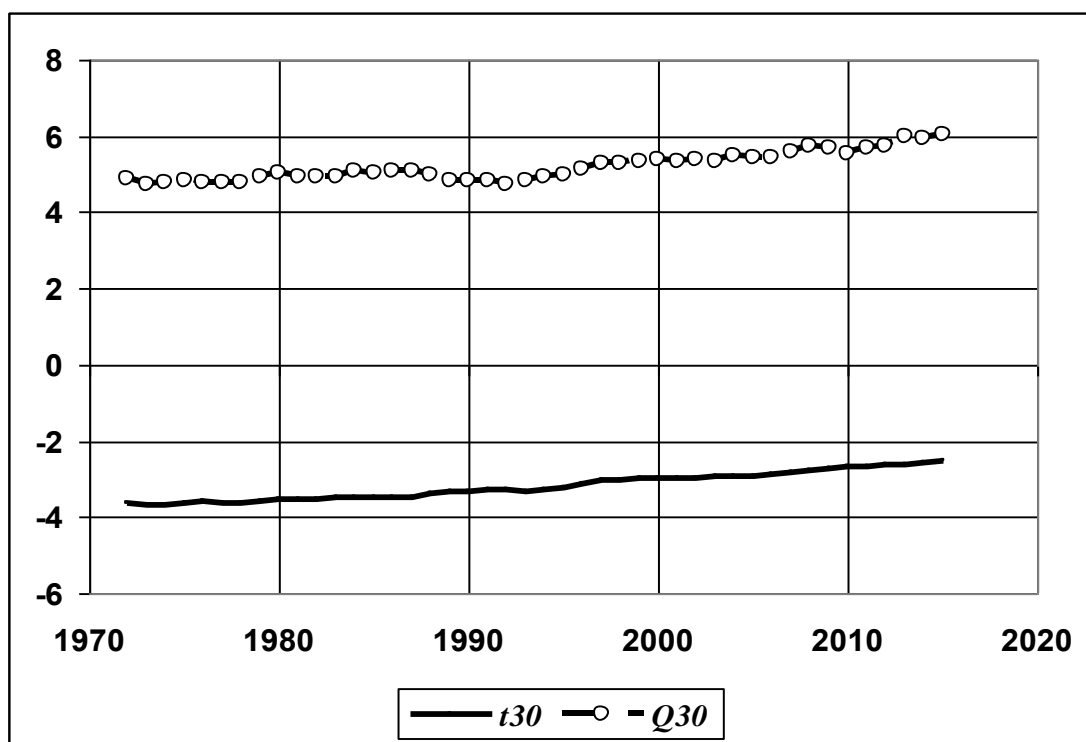


Рис. 2. Скользящие 30-летние средние среднегодовой температуры воздуха в г. Магадане ( $t_{30}$  в °С) и минимального летне-осеннего суточного модуля стока на р. Хасыне у п. Хасына ( $Q_{30}$  в л/(с·км<sup>2</sup>)).

Скользящие 30-летние средние модуля стока  $Q_{30}$  и температуры воздуха  $t_{30}$  очень хорошо связаны между собой

$$Q_{30_i} = 0,97t_{30_i} + 8,28, R^2=0,87, (2)$$

где  $i$  – год окончания 30-летнего периода.

Существуют различные сценарии потепления климата в XXI веке [22, 23]. Пользуясь формулой (2) можно рассчитать норму минимального суточного модуля расхода воды р. Хасына при различных сценариях повышения нормы среднегодовой температуры воздуха. Так, например, если к 2050 г. норма среднегодовой температуры воздуха в Магадане повысится на  $1^\circ\text{C}$  (достигнет величины  $-1,5^\circ\text{C}$ ), то норма модуля минимального суточного стока на р. Хасыне увеличится на 13 % по сравнению с нормой, рассчитанной за 1976-2015 гг.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ реакции минимального суточного стока за летне-осенний период на реках Северного Приохотоморья на современное глобальное потепление зафиксировал увеличение минимального стока на 8-53 %. Причем климатические изменения стока заметнее на мылах водосборах, так как там доля подземных вод в формировании суточных минимумов выше.

На примере р. Хасына, показано, что можно рассчитывать, какая будет норма минимального суточного стока за летне-осенний период при различных сценариях повышения среднегодовой температуры воздуха.

### Список литературы

2. WMO Statement on the status of the global climate in 2015. WMO-No 1167. Geneva: Publications Board World Meteorological Organization, 2016. 28 p.
3. Kattsov V. M., Shkolnik I. M., Efimov S. V. Climate Change Projections in Russian Regions: The Dewatering in Physical and Probability Spaces. Russian Meteorology and Hydrology, 2017, vol. 42(7), pp. 452–460.
4. Mokhova I. I., Timazheva A. V. Assessing the Probability of El Nino-related Weather and Climate Anomalies in Russian Regions. Russian Meteorology and Hydrology, 2017, vol. 42(10), pp. 635–643.
5. Стоцкоте Ю.В., Василевская Л.Н. Многолетние изменения температуры воздуха и почвы на крайнем северо-востоке России // Географический вестник. 2016. № 2(37). С. 84–96.
6. Ушаков М.В. Характер современного потепления климата в Магаданской области // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2016. № 2. С. 29–33.
7. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1: Изменение климата. М.: Росгидромет, 2008. 277 с.
8. Meleshko V. P., Kattsov V. M., Baidin A. V., Pavlova T. V., Govorkova V. A. Expected Change of Hydrologic Cycle in Northern Eurasia due to Disappearance of Multiyear Sea Ice in the Arctic Ocean. Russian Meteorology and Hydrology, 2016, vol. 41(11–12), pp. 735–746.
9. Makhmudov R. N. Regional Climate Changes and River Runoff in Azerbaijan. Russian Meteorology and Hydrology, 2016, vol. 41(9), pp. 635–639.
10. Khazheeva Z. I., Plyusnin A. M. Variations in Climatic and Hydrological Parameters in the Selenga River Basin in the Russian Federation. Russian Meteorology and Hydrology, 2016, vol. 41(9), pp. 640–647.

11. Mikhailova V. N., Mikhailova M. V. Natural and Anthropogenic Long-Term Variations of Water Runoff and Suspended Sediment Load in the Huanghe River. *Water Resources*, 2017, vol. 44(6), pp. 793–807.
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), pp. 697–706.
13. Соколов О.В., Ушаков М.В. Учет климатических изменений при прогнозировании притока воды в Колымское водохранилище на май // Труды ГГО им. А.И. Воейкова. 2012. Вып. 566. С. 289–297.
14. Ушаков М.В., Лебедева Л.С. Климатические изменения режима формирования притока воды в Колымское водохранилище // Научные Ведомости БелГУ. Естественные науки. 2016. Вып. 37. № 25(246). С. 120–127.
15. Север Дальнего Востока. М.: Наука, 1970. 487 с.
16. Геохронология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 515 с.
17. Ландшафты, климат и природные ресурсы Тауйской губы Охотского моря / Под ред. И.А. Чершнева. Владивосток: Дальнаука, 2006. 525 с.
18. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3, ч. 1-6, вып. 33. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 566 с.
19. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 282 с.
20. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Роль подземных вод в формировании стока рек бассейна Приморского шельфа // Криосфера Земли. 2012. Т. 6, № 3 (4). С.57–66.
21. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. I, вып. 17. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 429 с.
22. ВНИИГМИ-МЦД [Электронный ресурс]. – URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (дата обращения – 29.01.2018).
23. Булгаков К.Ю., Мелешко В.П., Шпееров Б.Е. О чувствительности климата к удвоению концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере // Труды ГГО. 2007. Вып. 556. С. 2–28.
24. Dodd E. M., Merchant C. J., Rayner N. A., Morice C. P. An investigation into the impact of using various techniques to estimate Arctic surface air temperature anomalies. *Journal of Climate*, 2015, no 28 (5), pp. 1743–1763.

## **CLIMATIC RESPONSE OF THE MINIMAL SUMMER-AUTUMN DRAIN OF THE RIVER OF THE NORTHERN PRIHOTOMORIE**

*Ushakov M. V.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n.a. N. A. Shilo, Far East Branch, Russian Academy of Sciences  
E-mail: mvilorich@narod.ru*

The aim of the work was to investigate the climatic changes of the minimum daily runoff of the rivers of the Northern Priokhtomorie for the summer-autumn period. The rivers of the area under consideration are used for water supply, fishing and artificial salmon farming. The territory is characterized by a cold climate, intermittent and island distribution of permafrost. The smallest flow of water during the open channel period can be observed in any summer month, mainly in the second half of the summer. During this period, the feeding of rivers is carried out, mainly due to the resources of the aquiferous seasonally thawed layer and taliks.

The work analyzed the perennial series of minimum summer-autumn daily runoff modules at five working hydrological posts of the Northern Aral Sea region (Table 1). It should be noted that the territory under consideration has been very poorly studied hydrologically,

currently only seven hydrological posts are working with the study of river flow. For the analysis, the observation points for the drain were chosen so that they satisfy the following two requirements:

- 1) the hydrological regime should not have been subjected to human impact, either in the past or in the present;
- 2) the observation period should cover the second half of the 20th century and the second decade of the 21st century.

Comparison of the mean annual values of the module of the minimum daily water discharge, calculated before 1980, and for the period 1981-2016 showed that the runoff increased by 8-53%. And this increment is inversely proportional to the catchment area. The increase in the minimum flow of rivers is primarily due to increased precipitation. So the amount of precipitation for the third quarter over the past decades has increased by 21%.

Due to the warming of the climate, the thickness of the seasonally thawed layer and the size of the taliks increase, and this leads to an increase in the underground flow of rivers. In small catchments, the flow of rainwater into rivers occurs faster than at large ones, and hence the share of groundwater in the formation of a minimum runoff is greater there than in large basins where surface runoff predominates. This can explain the decrease in the response of the minimum daily runoff to climatic changes with an increase in the size of the catchment area.

Using the example of the most studied river, it is shown that it is possible to calculate what will be the norm of the minimum daily flow for the summer-autumn period under different scenarios for increasing the average annual air temperature.

**Keywords:** global warming, water discharge module, minimum flows, the moving average

#### References

1. WMO Statement on the status of the global climate in 2015. WMO-No 1167. Geneva: Publications Board World Meteorological Organization, 2016. 28 p. (in English)
2. Kattsov V. M., Shkolnik I. M., Efimov S. V. Climate Change Projections in Russian Regions: The Detailing in Physical and Probability Spaces. Russian Meteorology and Hydrology, 2017, vol. 42(7), pp. 452–460. (in English)
3. Mokhova I. I., Timazheva A. V. Assessing the Probability of El Nino-related Weather and Climate Anomalies in Russian Regions. Russian Meteorology and Hydrology, 2017, vol. 42(10), pp. 635–643. (in English)
4. Stochkute Ju.V., Vasilevskaja L.N. Mnogoletnie izmenenija temperatury vozduha i pochvy na krajnem severo-vostoke Rossii (Perennial changes in air temperature and soil in the extreme north-east of Russia). Geograficheskij vestnik, 2016, no 2 (37), pp. 84–96 (in Russian).
5. Ushakov M.V. Harakter sovremennogo poteplenija klimata v Magadanskoj oblasti (The nature of modern climate warming in the Magadan region). Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo centra DVO RAN, 2016, no 2, pp. 29–33 (in Russian).
6. Ochenochnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii. T. 1: Izmenenie klimata (Assessment report on climate change and its effects on the territory of the Russian Federation). Moscow: Rosgidromet (Publ.), 2008. 277 p. (in Russian).
7. Meleshko V. P., Kattsov V. M., Baidin A. V., Pavlova T. V., Govorkova V. A. Expected Change of Hydrologic Cycle in Northern Eurasia due to Disappearance of Multiyear Sea Ice in the Arctic Ocean. Russian Meteorology and Hydrology, 2016, vol. 41(11–12), pp. 735–746.
8. Makhmudov R. N. Regional Climate Changes and River Runoff in Azerbaijan. Russian Meteorology and Hydrology, 2016, vol. 41(9), pp. 635–639. (in English)



9. Khazheeva Z. I., Plyusnin A. M. Variations in Climatic and Hydrological Parameters in the Selenga River Basin in the Russian Federation. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2016, vol. 41(9), pp. 640–647. (in English)
10. Mikhailova V. N., Mikhailova M. V. Natural and Anthropogenic Long-Term Variations of Water Runoff and Suspended Sediment Load in the Huanghe River. *Water Resources*, 2017, vol. 44(6), pp. 793–807. (in English)
11. 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)
12. Sokolov O.V., Ushakov M.V. Uchet klimaticheskikh izmenenij pri prognozirovanii pritoka vody v Kolymskoe vodохранилище na maj (Accounting for climate change when predicting the flow of water to the Kolyma reservoir in May) // *Trudy GGO im. A.I. Voejkova*, 2012, iss. 566, pp. 289–297 (in Russian).
13. Ushakov M.V., Lebedeva L.S. Klimaticheskie izmenenija rezhima formirovanija pritoka vody v Kolymskoe vodохранилище (Climatic changes in the regime of formation of the inflow of water to the Kolyma reservoir) // *Nauchnye Vedomosti BelGU. Estestvennye nauki*, 2016, Iss. 37, no 25(246), pp. 120–127 (in Russian).
14. Sever Dal'nego Vostoka (North of the Far East). Moscow: Nauka (Publ.), 1970, 487 p. (in Russian).
15. Geokriologija SSSR. Vostochnaja Sibir' i Dal'nij Vostok (Geocryology of the USSR. Eastern Siberia and the Far East) / Edited Je.D. Ershov. Moscow: Nedra (Publ.), 1989, 515 p. (in Russian).
16. Landshafty, klimat i prirodnye resursy Taujskoj guby Ohotskogo morja (Landscapes, climate and natural resources of the Taii Bay of the Sea of Okhotsk) / Edited. I.A. Chereshev. Vladivostok: Dal'nauka (Publ.), 2006. 525 p. (in Russian).
17. Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR. Ser. 3, ch. 1-6, vyp. 33 (Scientific and applied reference book on climate of the USSR. Ser. 3, part 1-6, vol. 33). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1990, 566 p. (in Russian).
18. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. T. 19. Severo-Vostok (Surface water resources of the USSR. Vol. 19. NorthEast). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1969, 282 p. (in Russian).
19. Glotov V.E., Glotova L.P. Rol' podzemnyh vod v formirovanii stoka rek bassejna Primagadanskogo shel'fa (The role of groundwater in the formation of river flow in the basin of the Primagadan shelf). *Kriosfera Zemli*, 2012, vol. 6, no 3 (4), pp. 57–66 (in Russian).
20. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi (Long-term data on the regime and resources of surface land waters). Vol. I, iss. 17. Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1985, 429 p. (in Russian).
21. VNIIGMI-MCD [Jelektronnyj resurs] (RIHMI-WDC [Electronic resource]). – <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (data obrashhenija – 29.01.2018) (in Russian).
22. Bulgakov K.Ju., Meleshko V.P., Shpeerov B.E. O chuvstvitel'nosti klimata k udvoenie koncentracii SO<sub>2</sub> v atmosfere (On the sensitivity of climate to a doubling of the concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere). *Trudy GGO im. A.I. Voejkova*, 2007, iss. 556, pp. 2–28 (in Russian).
23. Dodd E. M., Merchant C. J., Rayner N. A., Morice C. P. An investigation into the impact of using various techniques to estimate Arctic surface air temperature anomalies. *Journal of Climate*, 2015, no 28 (5), pp. 1743–1763.