

Климатические изменения годового стока рек Северного Приохотоморья

© 2024. В. Е. Глотов, д. г.-м. н., г. н. с.,
М. В. Ушаков, к. геогр. н., с. н. с.,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный
комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило
Дальневосточного отделения РАН,
685000, Россия, г. Магадан, ул. Портовая, д. 16,
e-mail: mvilorich@narod.ru

Цель данной работы – оценить происходящие климатические изменения годового стока рек Северного Приохотоморья. Ранее был проведён анализ пространственно-временных колебаний годового стока рек Магаданской области по рядам стока, которые заканчивались 2004 г., и климатических изменений речного стока не было выявлено. В настоящей же работе анализируемые ряды заканчиваются данными за 2019 г., что позволило сделать уже другие выводы. В работе использованы ряды наблюдения за речным стоком на восьми гидрологических постах. Методом гидрологической аналогии эти ряды были приведены к многолетнему периоду путём восстановления погодичных значений. Таким образом, анализу были подвержены ряды годового стока за 1958–2019 гг. Методом исследования явился анализ временных рядов стока на наличие однородности по среднему (критерий Стьюдента), а также спектральный анализ. Сравнение среднеемноголетних значений слоёв стока за два периода (1958–2000 гг. и 2001–2019 гг.) показало, что «норма» увеличилась на 5–37%. Надо заметить, что согласно критерию Стьюдента с уровнем значимости 5% эти изменения не случайны. О наличии тренда в многолетних колебаниях водности свидетельствует и временной ход динамической средней годового стока. Анализ исходных рядов стока позволил сделать вывод, что увеличение годового стока вызвано климатическими изменениями, главным образом, ростом количества осадков. Не исключено, что увеличение стока происходит и за счёт оттаивания льда в толще многолетнемерзлых пород. Обратим внимание на то, что при потеплении климата увеличиваются потери влаги на эвапотранспирацию, прежде всего за счёт прироста древесно-кустарниковой растительности. Причём на больших водосборах этот эффект более заметен. В многолетних колебаниях годового стока выявлена 6-летняя цикличность. Эти колебания, скорее всего, представляют собой нестационарный сложный Марковский процесс. Результаты настоящей работы будут полезны при проведении гидрологических расчётов, составлении долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов стока, изучении экосистем река – море.

Ключевые слова: климатические изменения, криолитозона, речной сток, эвапотранспирация, временные ряды, тренд.

Climatic changes in annual river runoff of the Northern Okhotsk Sea region

© 2024. V. E. Glotov ORCID: 0000-0002-1577-0273
M. V. Ushakov ORCID: 0000-0003-1731-7541
North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n.a. N. A. Shilo, Far East Branch,
Russian Academy of Sciences,
16, Portovaya St., Magadan, Russia, 685000,
e-mail: mvilorich@narod.ru

The aim of this study was to assess the climatic changes in the annual river runoff of the Northern Okhotsk Sea region within the Magadan region. In the present work the analyzed series end with data for 2019. Observation series of river runoff at eight hydrological stations were used in this work. By the method of hydrological analogy, these series were brought to a multiyear period by restoring year-on-year values. Thus, the series of annual runoff for 1958–2019 were analyzed. The research method was the analysis of runoff time series for the presence of homogeneity in the mean (Student's criterion), as well as spectral analysis. Comparison of mean long-term values of runoff layers for two periods (1958–2000 and 2001–2019) showed that the “norm” increased by 5–37%. It should be noted that these changes are not random according to the Student's criterion with significance level of 5%. The presence of a trend in long-term water availability fluctuations is also evidenced by the time course of the dynamic mean annual runoff. Analysis of the runoff

series, mean annual air temperature and total annual precipitation made it possible to conclude that annual runoff increase is caused by climatic changes, mainly by an increase in precipitation. It is possible that runoff increase is also due to the thawing of ice in the permafrost strata. But you should pay attention to the fact that with climate warming, moisture losses for evapotranspiration increase, primarily due to the growth of trees and shrubs. Moreover, this effect is more noticeable in large catchments. A 6-year cyclicity was revealed in the long-term fluctuations of annual runoff. These fluctuations are most likely a non-stationary complex Markov process. The results of this work will be useful for hydrological calculations, long-term and ultra-long-term runoff forecasts, and studying the river – sea ecosystems. Further hydrological studies should be carried out with the obligatory study of evapotranspiration in various landscape conditions.

Keywords: climatic changes, cryolithozone, river runoff, evapotranspiration, time series, trend.

Под Северным Приохотоморьем понимается территория бассейнов рек Охотского моря в пределах Магаданской области от устья р. Тауй с запада до устья р. Гижиги на востоке. Это наиболее экономически освоенная часть области. Здесь расположен широко известный портовый город Магадан, наиболее крупные посёлки городского типа: Армань, Ола, Северо-Эвенск. На реках Тауй, Яна, Ола, Яма функционируют рыбоперерабатывающие и рыбоперерабатывающие заводы, транспортные, сельскохозяйственные и другие предприятия. Перспективы дальнейшего развития области связаны с отработкой месторождений угля, меди, золота и серебра. Названные населённые и промышленно-транспортные пункты и перспективные для открытия новых месторождений районы находятся в бассейнах рек, впадающих в Охотское море. Очень важно развитие биологических водных ресурсов. Как известно, реки исследуемого района, а также прилегающая часть Охотского моря изобилуют морскими, пресноводными рыбами, водорослями, морскими беспозвоночными и млекопитающими [1], все эти ресурсы чувствительны к изменениям режима речного стока.

По изложенным причинам в научном и практическом отношении важно знать особенности изменений режимов стока рек, связанные с происходящим потеплением климата. Необходимость таких исследований обоснована в более изученных регионах России [2].

Изучению годового стока рассматриваемой территории посвящён ряд исследований [3, 4]. В работе [3] впервые было дано подробное описание гидрологического режима рек Северо-Востока СССР. В исследовании [4] был проведён анализ пространственно-временных колебаний годового стока, предложены формулы по определению среднегодовых расходов воды различной обеспеченности на неизученных реках Магаданской области. В упомянутой работе обрабатывались ряды стока по 2004 г., и климатических изменений не было выявлено. В настоящей же работе ряды заканчиваются данными за 2019 г. и,

как будет показано ниже, за последние полторы декады произошли заметные изменения в многолетних колебаниях рассматриваемой характеристики, вызванные потеплением климата. Происходящие на планете процессы изменения климата отражаются и на гидрологическом режиме [5–9].

В последние годы проявляется интерес к природным водам Приохотоморья как экспортному товару [10].

Цель данной работы – оценить происходящие климатические изменения годового стока рек Северного Приохотоморья.

Объекты и методы исследования

Изучаемая территория занята преимущественно горными хребтами и массивами высотой до 1000–1500 м, редко выше 1800 м. Низины расположены только в бассейнах нижних течений наиболее крупных рек: Тауй, Яна, Армань, Ола, Яма, Гижига. Соответственно преобладающим развитием пользуются северо-таёжные горные редколесья. В долинах рек произрастают настоящие леса лиственницы с примесью тополей, чозении и берёзы [1].

Геологическое строение исследуемой части Магаданской области определяется её расположением, преимущественно, на площади развития Кони-Тайгоносского террейна – фрагменте позднепалеозойско-раннемезозойской островной дуги. Слагающие его породы представлены вулканотерригенными песчаниками, алевролитами, сланцами, слои которых прорваны дайками андезитов, базальтов. На значительных площадях террейн перекрыт вулканиками Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса. Велика рельефообразующая роль глубинных разломов, к которым приурочены межгорные впадины и прибрежно-морские низины [11].

Среднегодовые температуры воздуха лежат в пределах $-3,5-9,5$ °C [12]. Для этой зоны свойственно избыточное увлажнение, холодное лето, снежная зима [13].

Таблица 1 / Table 1

Среднегодовое значение слоя годового стока рек Северного Приохотоморья (мм) до 2000 г. и после / Average long-term values of the annual runoff layer of the rivers of the Northern Okhotsk Sea (mm) up to 2000 and after

Река – пункт River – point	Площадь водосбора, км ² Catchment area, km ²	Слой стока, мм Runoff layer, mm		Прирост слоя стока, мм Growth of runoff layer, mm
		1958–2000	2001–2019	
Тауй – Талон / Taui – Talon	25100	437	530	93
Уптар – Уптар / Uptar – Uptar	285	496	642	146
Хасын – в 80 км от устья Khasyn – 80 km from the mouth	682	429	504	75
Каменушка – в 8 км от устья Kamenushka – 8 km from the mouth	40,3	568	726	158
Магаданка – Магадан Magadanka – Magadan	48,5	692	893	201
Дукча – устье / Dukcha – mouth	330	516	649	133
Дукча – Снежная Долина Dukcha – Snejnaya Dolina	119	687	943	256
Гижига – в 20 км от устья Gizhiga – 20 km from the mouth	11700	409	430	21*
Динамическое среднее Dynamic Average	–	529	665	136

Примечания: * – статистически незначимое изменение «нормы»; прочерк означает, что площадь водосбора для характеристики не применима.

Notes: * – statistically insignificant change in the “norm”; a dash means that the catchment area for the characteristic is not applicable.

Распространение многолетнемерзлых пород примерно до 60° с. ш. прерывистое, а севернее – слабо прерывистое [14, 15].

В тёплую часть года (май – октябрь) протекает основная масса воды (94–98%) [3]. Весеннее половодье проходит в мае – июне, дождевые паводки наблюдаются в июне – сентябре, реже в октябре.

В гидрологическом отношении Северное Приохотоморье слабо изучено [16]. На рассматриваемой территории имеются наблюдения за речным стоком на восьми гидрологических постах (табл. 1). Данные о стоке взяты из справочника [17] и Гидрологических ежегодников Государственного водного кадастра. Ряды годового стока были выражены в слоях стока. Методом гидрологической аналогии эти ряды были приведены к многолетнему периоду путём восстановления погодичных значений.

Методом исследования явился анализ временных рядов стока на наличие однородности по среднему (критерий Стьюдента), а также спектральный анализ. Спектральная функция $S(T)$ рассчитывалась с использованием весовой функции Хэмминга по формуле [18]

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

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

Многолетние данные о среднегодовой температуре воздуха и годовой сумме осадков по метеостанции Магадан были взяты на сайте Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных [19] (табл. 2, рис. 1).

Результаты и обсуждение

Сравнивая среднегодовое значение слоёв стока за два периода (1958–2000 гг. и 2001–2019 гг.), можно заметить, что «норма» увеличилась на 5–37% (см. табл. 1). Согласно критерию Стьюдента с уровнем значимости 5% эти изменения не случайны, за исключением стока на р. Гижиге, где «норма» увеличилась незначительно. О наличии тренда в многолетних колебаниях водности свидетельствует и временной ход динамической средней годового стока (рис. 2а). Погодичные значения динамического среднего слоя годового стока рассчитывались по формуле

$$H_i = \frac{\sum_{j=1}^m h_{ij}}{m} \quad (2)$$

где h_j – слой годового стока в пункте j в год i ; m – количество пунктов.

Сопоставляя кривые на рисунках 1 и 2а, а также данные таблиц 1 и 2, можно сделать вывод, что увеличение годового стока вызвано климатическими изменениями, главным образом ростом количества атмосферных осадков. Это подтверждается и удовлетворительной связью относительного прироста среднемноголетнего слоя годового стока с относительным приростом годовой суммы осадков (рис. 3).

$$100\% \cdot \Delta h / h_0 = 1,44 \lg(100\% \cdot \Delta x / x_0) + 3,3 ;$$

$$r=0,72, (3)$$

где h – прирост «нормы» слоя стока (мм); h_0 – «норма» слоя стока за 1958–2000 гг. (мм); x – прирост «нормы» годовой суммы атмосферных осадков (мм); x_0 – «норма» суммы осадков за 1966–2000 гг. (мм).

Не исключено, что увеличение стока происходит и за счёт оттаивания льда в толще многолетнемёрзлых пород, ранее нами названного гидрокриогенным ресурсом [20]. Последнее заключение основано не только на данных гидрометеостанций Северо-Востока России, но и на данных об оттаивании криолитозоны в высокогорных районах Кавказа [21].

Интересна редукция относительного прироста слоя годового стока по площади водосбора (рис. 4).

Эту особенность мы можем объяснить следующим. В условиях потепления климата идёт более интенсивное развитие растительного покрова, а, значит, наблюдается увеличение потерь речного стока на эвапотранспирацию. Причём по мере увеличения размеров бассейна уменьшается средняя высота водосбора, а, следовательно, климатический прирост зелёной массы становится больше, нежели

Таблица 2 / Table 2

Среднемноголетние значения среднегодовой температуры воздуха, суммы осадков за год до 2000 г. и после / Long-term average values of mean annual air temperature and total annual precipitation up to 2000 and after

Период осреднения, годы Averaging period, years	Среднегодовая температура воздуха на метеостанции Магадан, °C Mean annual air temperature at Magadan weather station, °C	Годовая сумма атмосферных осадков на метеостанции Магадан, мм Total annual precipitation at Magadan weather station, mm	Годовая сумма атмосферных осадков на метеостанции Талон, мм Total annual precipitation at Talon weather station, mm	Годовая сумма атмосферных осадков на метеостанции Шелихово, мм Total annual precipitation at Shelikhovo weather station, mm
1958–2000	-3,2	534	720	449
2001–2019	-2,2	626	771*	476*

Примечание: * – статистически незначимый прирост «нормы». / Note: * – statistically insignificant increase in the “norm”.

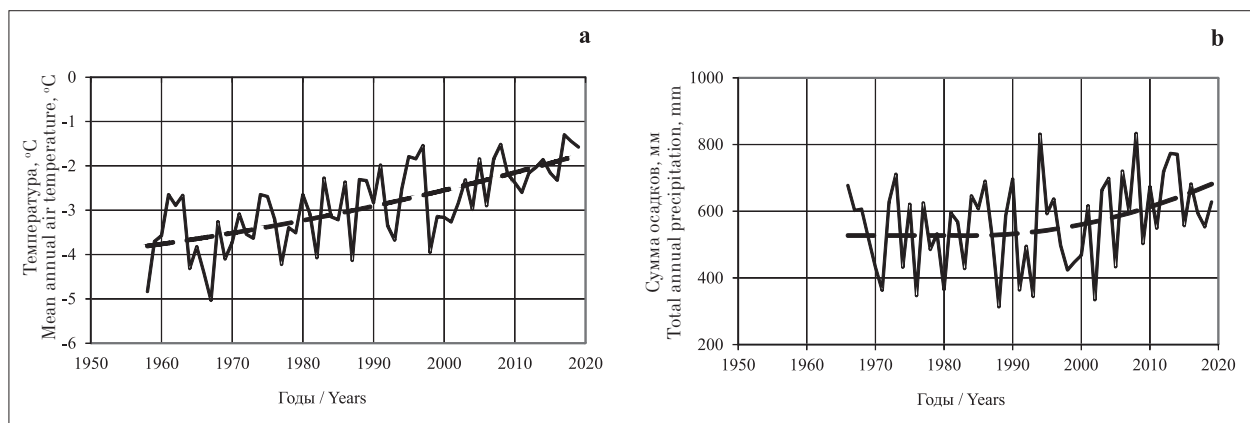


Рис. 1. Временной ход среднегодовой температуры воздуха (а) и суммы осадков за год (б) в г. Магадане. Пунктиром проведены линии тренда / Fig. 1. The time course of the mean annual air temperature (a) and total annual precipitation (b) in Magadan. The trend lines are dotted

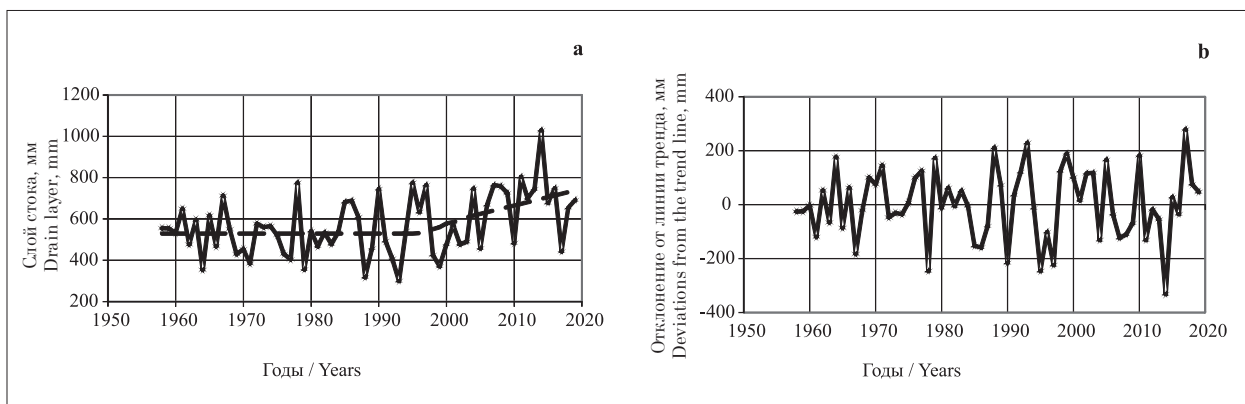


Рис. 2. Многолетние колебания динамического среднего слоя стока за год рек Северного Приохотоморья (а) и его отклонений от линии тренда (б). Пунктиром проведена линия тренда
Fig. 2. Long-term fluctuations of the dynamic mean annual runoff layer of the rivers of the Northern Okhotsk Sea region (a) and its deviations from the trend line (b). The trend line is dotted

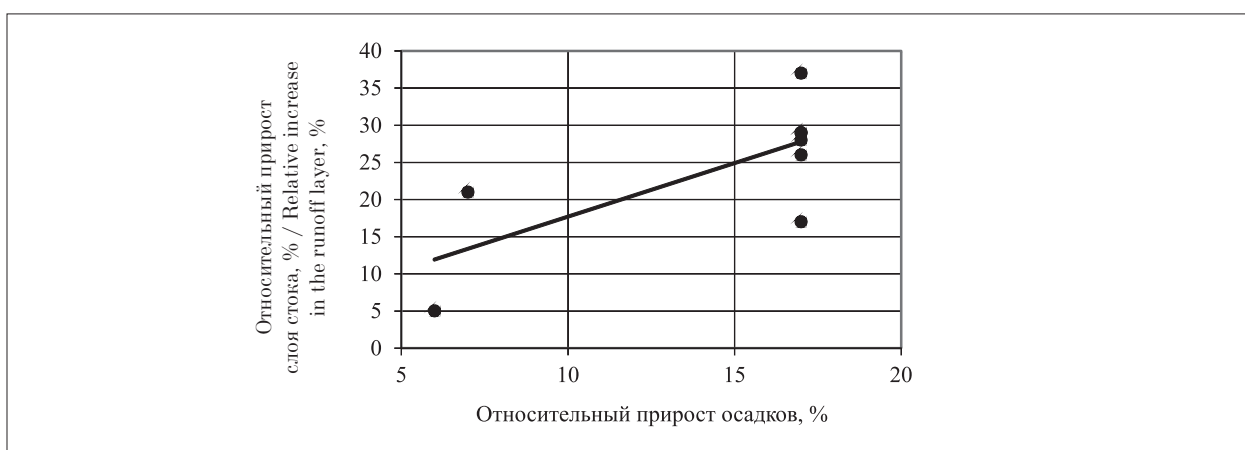


Рис. 3. Связь относительного прироста слоя годового стока рек Северного Приохотоморья с относительным приростом годовой суммы осадков
Fig. 3. Correlation between the relative increase in the annual runoff layer of the rivers of the Northern Okhotsk Sea region and the relative increase in the total annual precipitation

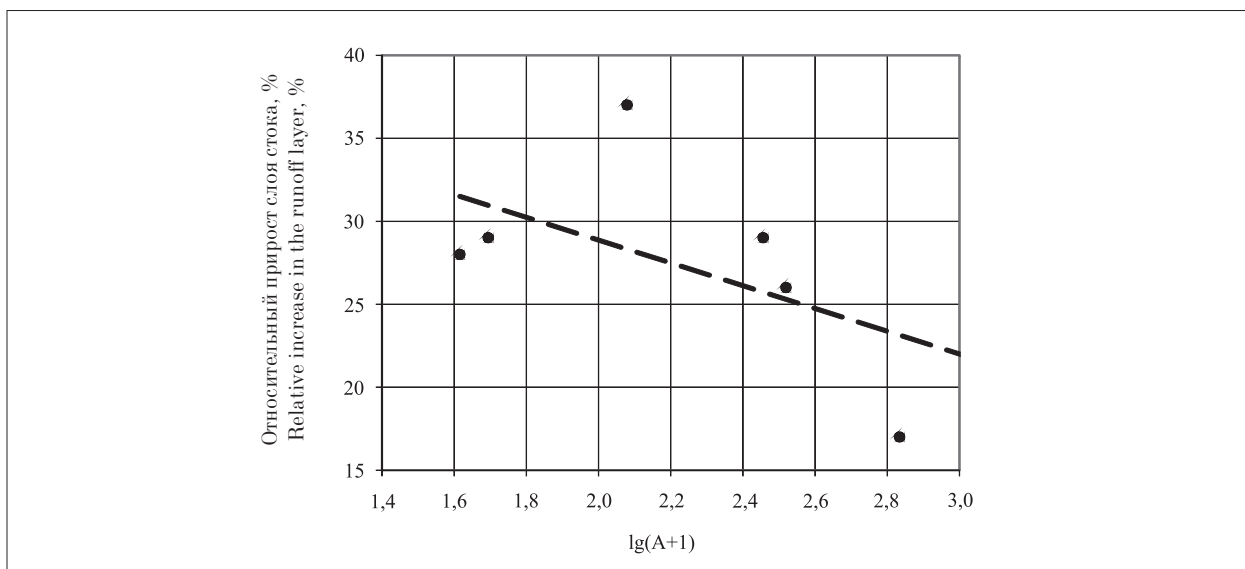


Рис. 4. Связь относительного прироста слоя годового стока рек Северного Приохотоморья с площадью водосбора, A (км²)
Fig. 4. Correlation between the relative increase in the annual runoff layer of the rivers of the Northern Okhotsk Sea region and the catchment area, A (km²)

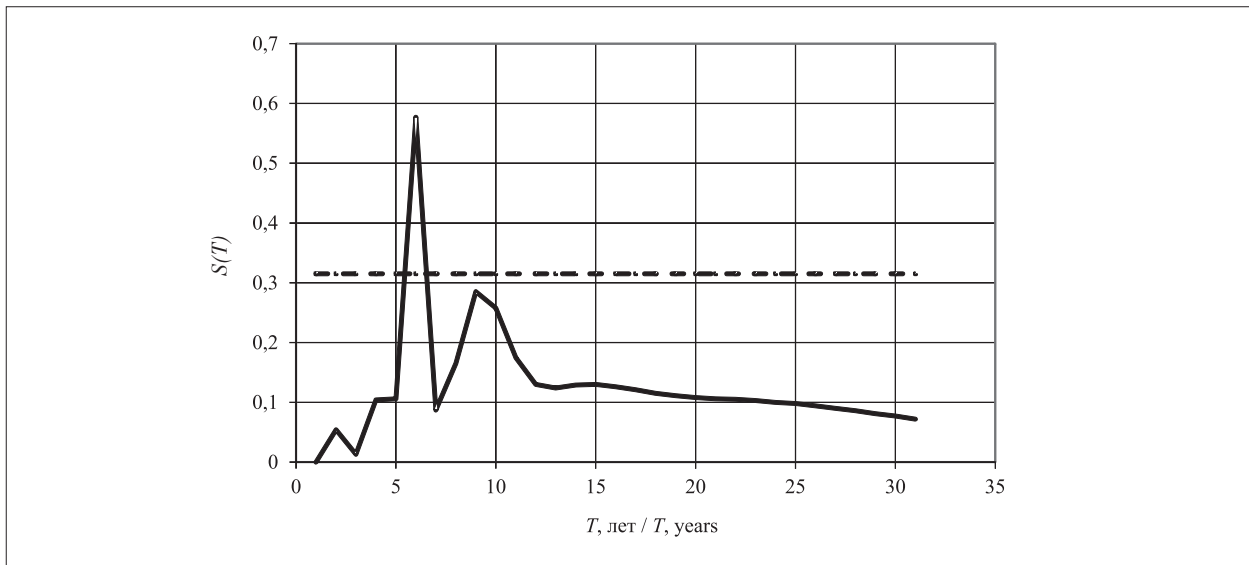


Рис. 5. Спектрограмма отклонений динамического среднего от линии тренда.

Пунктиром проведён 5%-ный доверительный уровень

Fig. 5. Spectrogram of deviations of the dynamic mean from the trend line.

The dotted line shows the 5% confidence level

в высотных поясах. Таким образом, приращение стока за счёт увеличения количества осадков на больших водосборах менее заметно.

Данное заключение носит характер предположения, так как роль эвапотранспирации в формировании стока рек Северо-Востока России слабо изучена. Некоторые сведения можно получить из материалов Колымской водно-балансовой станции (КВБС), расположенной в верховьях р. Колымы. Так, в бассейне руч. Контактный в июне – августе 1978–1984 гг. экспериментально выявили, что потери влаги на испарение на поверхности мелкообломочной каменной осыпи без растительности, в среднем, составляли 28% от суммы осадков и 38,7% на поверхности, покрытой кустарничком [22]. Таким образом, растительность увеличивает потери влаги на 10–11% от суммы осадков в летнее время. В условиях, близких к южным районам Северного Приохотоморья – в горах Чугач (штат Аляска США) в поясе редколесья эвапотранспирация на абсолютных высотах 100–350 м достигает 55% от суммы выпадающих осадков [23]. Надо заметить, что гидрологическая роль этого процесса недооценена, хотя потери влаги на общее испарение могут играть ведущую роль, например, в формировании различий режима стока горных рек не только в пределах развития многолетнемерзлых пород, но и в таких тёплых странах как Армения и Украина [24].

Временной ход отклонений от линии тренда показан на рисунке 2b. Судя по спек-

трограмме, многолетние колебания этих отклонений имеют 6-летнюю цикличность (рис. 5). Ранее такая же цикличность была выявлена в колебаниях годового стока Колымы, протекающей по другую сторону Главного водораздела Земли [4].

Допускаем, что в районах распространения слабопрерывистой мерзлотной зоны потепление климата сказывается на увеличении глубины сезонного протаивания сильнее, чем в районах прерывистой мерзлоты. В свою очередь, это благоприятствует активизации развития растительного покрова по эффективности более значительной, чем в районах с прерывистым распространением многолетнемерзлых пород.

Заключение

Современные изменения климата привели к ощутимому росту годового стока рек Северного Приохотоморья – на 5–37%. Прирост стока обусловлен главным образом увеличением количества атмосферных осадков. Но следует обратить внимание на то, что при потеплении климата увеличиваются потери влаги на эвапотранспирацию, прежде всего за счёт прироста древесно-кустарниковой растительности. Причём на больших водосборах этот эффект более заметен. Возможна компенсация потерь за счёт оттаивания подземных льдов, конденсации влаги в сезонноталом слое. Следовательно, связь стока с климатическими изменениями многогранна. Это отражается

в многолетних колебаниях годового стока, в которых проявлена 6-летняя цикличность. Эти колебания, скорее всего, представляют собой нестационарный сложный Марковский процесс.

Результаты настоящей работы будут полезны при проведении гидрологических расчётов, составлении долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов стока, изучении экосистем река – море.

Дальнейшие гидрологические исследования необходимо проводить с обязательным изучением эвапотранспирации, дополнительных источников воды в различных ландшафтных обстановках.

Литература

1. Ландшафты, климат и природные ресурсы Тауйской губы Охотского моря / Отв. ред. И. А. Черешнев. Владивосток: Дальнаука, 2006. 525 с.
2. Косолапов А.Е., Косолапова Н.А., Матвеева Л.Г., Чернова О.А. Рациональность использования водных ресурсов в экономике горных территорий Северного Кавказа // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 1 (35). С. 48–62.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 600 с.
4. Lobanov S.A., Ushakov M.V. The river water resources of the Magadan region and their long-term variability // Geogr. Nat. Resour. 2008. V. 29. No. 3. P. 247–250. doi: 10.1016/j.gnr.2008.09.008
5. WMO statement on the status of the global climate in 2015. WMO–No. 1167 [Электронный ресурс] https://www.unclearn.org/wp-content/uploads/library/wmo_2015.pdf (Дата обращения: 16.08.2023).
6. 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 Resour. 2017. V. 44. No. 5. P. 697–706. doi: 10.1134/S0097807817050062
7. Ушаков М.В. Климатические изменения минимального суточного стока за летне-осенний период на реках северного Приохотоморья // Пресноводные экосистемы – современные вызовы: тезисы докладов и стендовых сообщений международной конференции. Иркутск: ООО «Мегапринт», 2018. P. 349–350.
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) // Russ. Meteorol. Hydrol. 2020. V. 45. No. 12. P. 858–863. doi: 10.3103/S1068373920120067
9. Даниленко А.О., Георгиади А.Г. Влияние современного потепления на водный и ионный сток Северной Двины // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 64–69. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-064-069
10. Глотов В.Е. Природные воды Северо-Востока как перспективный товар для международного рынка // Экология и развитие общества. 2020. № 2–3 (3). С. 65–73.
11. Бялобжеский С.Г., Горячев Н.А., Шпикерман В.Ф. Олойско-Чукотский орогенный пояс // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Под ред. А.И. Ханчука. Кн. 1. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 144–152.
12. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Вып. 33. Магаданская область, Чукотский автономный округ Магаданской области. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 566 с.
13. Север Дальнего Востока / Под ред. Н.А. Шило. М.: Наука, 1970. 487 с.
14. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 515 с.
15. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Гидрогеология северной береговой зоны Охотского моря // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27. № 6. С. 31–42.
16. Ушаков М.В. О сокращении стационарной гидрологической сети на Северо-Востоке России // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Тезисы докладов VII Всеросс. науч. конф. с междунар. участием, посвящённой 30-летию Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН и 75-летию со дня рождения доктора биологических наук, профессора В.В. Никонова. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2019. С. 172–173.
17. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. Вып. 17. Бассейны Колымы и рек Магаданской области. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 429 с.
18. Шелутко В.А. Численные методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 239 с.
19. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных [Электронный ресурс] <http://meteo.ru/data/> (Дата обращения: 12.12.2020).
20. Глотов В.Е., Ушаков М.В. Климатические изменения стока заполярных рек Западной Чукотки // Криосфера Земли. 2020. Т. 24. № 6. С. 33–44.
21. Лурье П.М., Панов В.Д., Панова С.В. Криосфера Большого Кавказа // Устойчивое развитие горных территорий. 2019. Т. 11. № 40. С. 182–190. doi: 10.21177/1998-4502-2019-11-2-182-190
22. Бояринцев Є.Л., Гопченко Є.Д., Сербов М.Г., Завалій Н.В. Експериментальні дослідження випаровування та конденсації в гірських регіонах багаторічномерзлих ґрунтів // Вісник Одеського державного екологічного університету. 2010. № 10. С. 162–168.
23. Dearborn L.L., Barnwel W.W. Hydrology for land-use planning: the Hillside area, Anchorage, Alaska. Open-File Report 75–105. Anchorage, Alaska, 1975. 46 p. doi: 10.3133/ofr75105
24. Маргарян В.Г., Овчарук В.А., Гопций М.В., Боровская Г.А. Сравнительный анализ и оценка много-

летних колебаний максимального стока рек горных территорий Армении и Украины в условиях глобальных изменений климата // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. № 1 (43). С. 61–75. doi: 10.21177/1998-4502-2020-12-1-61-75

References

1. Landscapes, climate and natural resources of the Tauysk bay of the sea of Okhotsk / Ed. I.A. Chereshev. Vladivostok: Dalnauka, 2006. 525 p. (in Russian).
2. Kosolapov A.E., Kosolapova N.A., Matveeva L.G., Chernova O.A. Efficiency of water resource use in the economics of the North Caucasus mountain areas // Ustojchivoe razvitie gornyx territorij. 2018. V. 10. No. 1 (35). P. 48–62 (in Russian).
3. Resources of surface waters of the USSR. V. 19. North-East. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1967. 600 p. (in Russian).
4. Lobanov S.A., Ushakov M.V. The river water resources of the Magadan region and their long-term variability // Geogr. Nat. Resour. 2008. V. 29. No. 3. P. 247–250. doi: 10.1016/j.gnr.2008.09.008
5. WMO statement on the status of the global climate in 2015. WMO–No. 1167 [Internet resource] https://www.unclearn.org/wp-content/uploads/library/wmo_2015.pdf (Accessed: 16.08.2023).
6. 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 Resour. 2017. V. 44. No. 5. P. 697–706. doi: 10.1134/S0097807817050062
7. Ushakov M.V. Climatic changes of the minimum day flow for a summer-autumn period on the rivers of the North Priokhotomorie // Freshwater Ecosystems – Key Problems: International conference. Abstracts. Irkutsk: LLC “Megaprint”, 2018. P. 348–349.
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) // Russ. Meteorol. Hydrol. 2020. V. 45. No. 12. P. 858–863. doi: 10.3103/S1068373920120067
9. Danilenko A.O., Georgiadi A.G. The influence of modern climate warming on the water flow and major ion flux of the Northern Dvina // Theoretical and Applied Ecology. 2022. No. 1. P. 64–69 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-064-069
10. Glotov V.E. Natural waters of the North-East as a promising commodity for the international market // Ekologiya i razvitie obshchestva. 2020. No. 2–3 (3). P. 65–73 (in Russian).
11. Bjalobzheskij S.G., Gorjachev N.A., Shpikerman V.F. Oloj-Chukotka orogenic belt // Geodynamics, magmatism and metallogeny of the Russian East / Ed. A.I. Khanchuk. Book 1. Vladivostok: Dal'nauka, 2006. P. 144–152 (in Russian).
12. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Ser. 3. V. 33. Magadan Oblast, Chukotka Autonomous Okrug of Magadan Oblast. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990. 566 p. (in Russian).
13. North of the Far East / Ed. N.A. Shilo. Moskva: Nauka, 1970. 487 p. (in Russian).
14. Geokryology of USSR. The East Siberia and Far East / Ed. E.D. Ershov. Moskva: Nedra, 1989. 515 p. (in Russian).
15. Glotov V.E., Glotova L.P. Hydrogeology of the northern coastal zone of the Sea of Okhotsk // Ti-hookeanskaja geologija. 2008. V. 27. No. 6. P. 31–42 (in Russian).
16. Ushakov M.V. The decline of the stationary hydrological network in the North-East of Russia // Ecological problems of the Northern Regions and ways to their solution: Abstracts of VII Russian Scientific Conference with international participation “Ecological problems of the Northern Regions and ways to their solution”, dedicated to the 30th anniversary of the Institute of North Industrial Ecology Problems and to the 75th anniversary celebration of Professor V.V. Nikonov. Apatity: Kola Science Centre of the RAS, 2019. P. 172–173 (in Russian).
17. Long-term data on the regime and resources of land surface waters. V. 1. No. 17. The basins of the Kolyma River and rivers of Magadan Oblast. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. 429 p. (in Russian).
18. Shelutko V.A. Numerical methods in hydrology. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991. 239 p. (in Russian).
19. All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center [Internet resource] <http://meteo.ru/data/> (Accessed: 12.12.2020).
20. Glotov V.E., Ushakov M.V. Climatic changes in the runoff of polar rivers in Western Chukotka // Kriosfera Zemli. 2020. V. 24. No. 6. P. 33–44 (in Russian).
21. Lurie P.M., Panov V.D., Panova S.V. Cryosphere of the Greater Caucasus // Ustojchivoe razvitie gornyx territorij. 2019. V. 11. No. 40. P. 182–190 (in Russian). doi: 10.21177/1998-4502-2019-11-2-182-190
22. Bojarincev E.L., Gopchenko E.D., Serbov N.G., Zavalij N.V. Experimental studies of evaporation and condensation in mountainous regions of the permafrost zone // Vestnik Odesskogo gosudarstvennogo jekologicheskogo universiteta. 2010. No.10. P. 162–168 (in Ukrainian).
23. Dearborn L.L., Barnwel W.W. Hydrology for land-use planning: the Hillside Area, Anchorage, Alaska. Open-File Report 75–105. Anchorage, Alaska, 1975. 46 p. doi: 10.3133/ofr75105
24. Margarjan V.G., Ovcharuk V.A., Goleij M.V., Borovskaja G.A. Comparative analysis and estimate of long-term fluctuations of the maximum runoff of the mountain territories of Armenia and Ukraine under of global climate change // Sustainable Development of Mountain Territories. 2020. V. 12. No. 1 (43). P. 61–75 (in Russian). doi: 10.21177/1998-4502-2020-12-1-61-75