

УДК 556.51; 551.583 (571.5)
DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-5-27-49-55

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ПРЕДЕЛАХ ВОДОСБОРА ОЗ. БАЙКАЛ

MODERN TRENDS IN CHANGING CLIMATIC CONDITIONS WITHIN THE CATCHMENT AREA OF LAKE BAIKAL

Е. Н. Сутырина, Иркутский государственный университет, г. Иркутск
ensut78@gmail.com

E. Sutyrina, Irkutsk State University, Irkutsk



Выявлены современные тенденции изменения климатических факторов формирования стока рек в пределах водосбора оз. Байкал и частных бассейнов его наиболее крупных притоков – рек Селенги, Верхней Ангары и Баргузин.

По данным баз реанализа NCEP/NCAR определены тенденции изменения приземной температуры воздуха и параметров осадков. Результаты исследования показывают статистически значимые тенденции к уменьшению годовых сумм осадков: снижение на 8,7 мм за десятилетие – в пределах всего водосбора озера, уменьшение на 10,6 мм за десятилетие – в пределах бассейна р. Селенги, а также снижение годовых сумм на 7,1 и 7,0 мм за десятилетие – в пределах водосборных территорий рек Баргузин и Верхней Ангары соответственно. Указано, что средняя по водосбору сумма осадков за 1993–2015 гг. уменьшилась на 10 % по сравнению с данной величиной за период с 1948 по 1970 гг. В пределах бассейна оз. Байкал произошло планомерное снижение сумм осадков за месяц практически во все месяцы года. Наиболее заметные изменения, выражавшиеся в снижении среднемноголетних сумм осадков за месяц на 8,2, 12,0 и 6,8 мм, наблюдались в июле, августе и сентябре соответственно.

Отмечено, что после 1970 г. в пределах изучаемых водосборов наблюдалась статистически значимая тенденция к увеличению средней приземной температуры воздуха на 0,3...0,4 °C за десятилетие. Средняя температура воздуха в пределах водосбора озера повысилась более чем на 2 °C в феврале, апреле и ноябре. Выявлено, что в целом средняя многолетняя температура воздуха за 1993–2015 гг. выросла по сравнению с данным показателем за период с 1948 по 1970 гг. на 1,5 °C в пределах водосбора р. Баргузин и на 1,3 °C – в пределах бассейнов рек Селенга и Верхняя Ангара, а также всего бассейна озера

Ключевые слова: озеро Байкал; р. Селенга; р. Верхняя Ангара; р. Баргузин; водосборный бассейн; данные реанализа NCEP/NCAR; изменение климата; температура воздуха; осадки; тренд

The purpose of this article is to identify current trends in the change of climatic factors in the river runoff formation within the watershed of lake Baikal and the catchment areas of the Selenga, Upper Angara and Barguzin rivers, which are the largest tributaries of the lake.

According to NCEP / NCAR reanalysis databases, trends in surface air temperature and precipitation amounts have been determined. The results of the study show a statistically significant trend towards a decrease in annual precipitation. There was a reduction of annual rainfall by 8,7 mm per decade in the lake Baikal catchment, by 10.6 mm per decade within the Selenga river basin, and by 7,1 and 7,0 mm per decade within the catchment areas of the Barguzin and Upper Angara rivers, respectively. The average amount of precipitation for the lake Baikal watershed for 1993–2015 was decreased by 10 % compared with the value for the period from 1948 to 1970. Within the lake Baikal basin, there was a decrease in the monthly amount of precipitation in almost all the months of the year. The most significant changes, expressed in the decrease in monthly long-term mean precipitation amounts by 8,2, 12,0 and 6,8 mm, were observed in July, August, and September, respectively.

After 1970, within the studied watersheds, there was a statistically significant trend toward an increase in the mean surface air temperature by 0,3...0,4 °C per decade. The average air temperature within the lake Baikal

watershed has increased by more than 2 °C in February, April, and November. In general, the average long-term air temperature in 1993–2015 increased compared with this indicator for the period from 1948 to 1970 at 1,5 °C within the catchment area of the Barguzin river and by 1,3 °C within the basins of the Selenga and Upper Angara rivers, as well as the entire lake watershed

Key words: lake Baikal; Selenga river; Upper Angara river; Barguzin river; watershed; NCEP/NCAR reanalysis data; climate change; air temperature; precipitation; trend

Введение. Озеро Байкал имеет трансграничный водосборный бассейн с площадью около 571 тыс. км² [7], который расположен на территории России (около 48 %) и на монгольской территории (около 52 %). В оз. Байкал впадает порядка 544 притоков, из которых наиболее крупные – реки Селенга, Верхняя Ангара и Баргузин. В среднем за год они приносят в озеро около 42 км³ воды, или 70 % от всего притока в водоём. Суммарная площадь бассейнов указанных рек занимает 86 % от общей водосборной территории оз. Байкал.

Климатические факторы являются основными факторами формирования стока [5; 6; 8; 10], и в условиях колебаний климата актуальным является выявление региональных современных тенденций изменения климатических условий в пределах водосборного бассейна оз. Байкал и частных бассейнов его наиболее крупных притоков – рек Селенги, Верхней Ангары и Баргузин.

Методология и методы исследования. Для изучения многолетней изменчивости климатических факторов в рамках данного исследования привлекались данные о приземной температуре воздуха и об интенсивности осадков из архива глобальной базы реанализа NCEP/NCAR (*The National Centers for Environmental Prediction/The National Center for Atmospheric Research*) [9].

Весь исследуемый период поделён на три отдельных периода: 1948–1970 гг., 1971–1992 гг. и 1993–2015 гг., так чтобы каждый из них включал 22–23-летний период, равный продолжительности магнитного цикла солнечной активности. Сопоставление таких периодов представляется более репрезентативным, чем сравнение периодов произвольной длины. Такое деление на периоды также оправдано и сменой тенденции изменения среднегодовых значений температуры воздуха в пределах бассейна оз. Байкал с 1970 г. (рис. 1).

Результаты исследования и их обсуждение. В ходе исследования определены тенденции изменения среднегодовых значений температуры воздуха в пределах исследуемых водосборов. В период с 1948 по 1970 гг. в пределах рассматриваемых бассейнов наблюдался отрицательный тренд температуры, который составил -0,4...-0,6 °C/10 лет. В более поздний период (1971–2015) тренд температуры воздуха был положительным 0,3...0,4 °C/10 лет. Оценка значимости трендов с применением F-критерия [4] показала уровень статистической надёжности более 99 % для трендов температуры для всех исследуемых водосборов в период с 1971 по 2015 гг. В период с 1948 по 1970 гг. статистическая значимость тренда температуры в бассейне р. Баргузин составила более 90 % и более 95 % – для других исследуемых бассейнов.

За период с 1948 по 2015 гг. (рис. 1) наблюдалась односторонние тенденции к уменьшению годовых сумм осадков: снижение на 8,7 мм за десятилетие – в пределах всего водосбора озера, уменьшение на 10,6 мм за десятилетие – в пределах бассейна р. Селенги, а также понижение годовых сумм на 7,1 и 7,0 мм за десятилетие – в пределах водосборных бассейнов рек Баргузин и Верхней Ангары соответственно. Статистическая надёжность выявленных трендов осадков составила более 99,9 % для водосбора р. Селенги и всего водосбора озера в целом. В бассейнах р. Баргузин и Верхней Ангары надёжность – более 95 %.

Среднемноголетняя сумма осадков за год, усредненная по водосбору оз. Байкал, по данным NCEP/NCAR, составила 388, 370 и 348 мм за периоды с 1948 по 1970 гг., с 1971 по 1992 гг., с 1993 по 2015 гг. соответственно, что свидетельствуют о последовательном уменьшении средней по водосбору годовой суммы осадков на 10 % за период 1992–2015 гг. по сравнению с данной величиной за 1948–1970 гг.

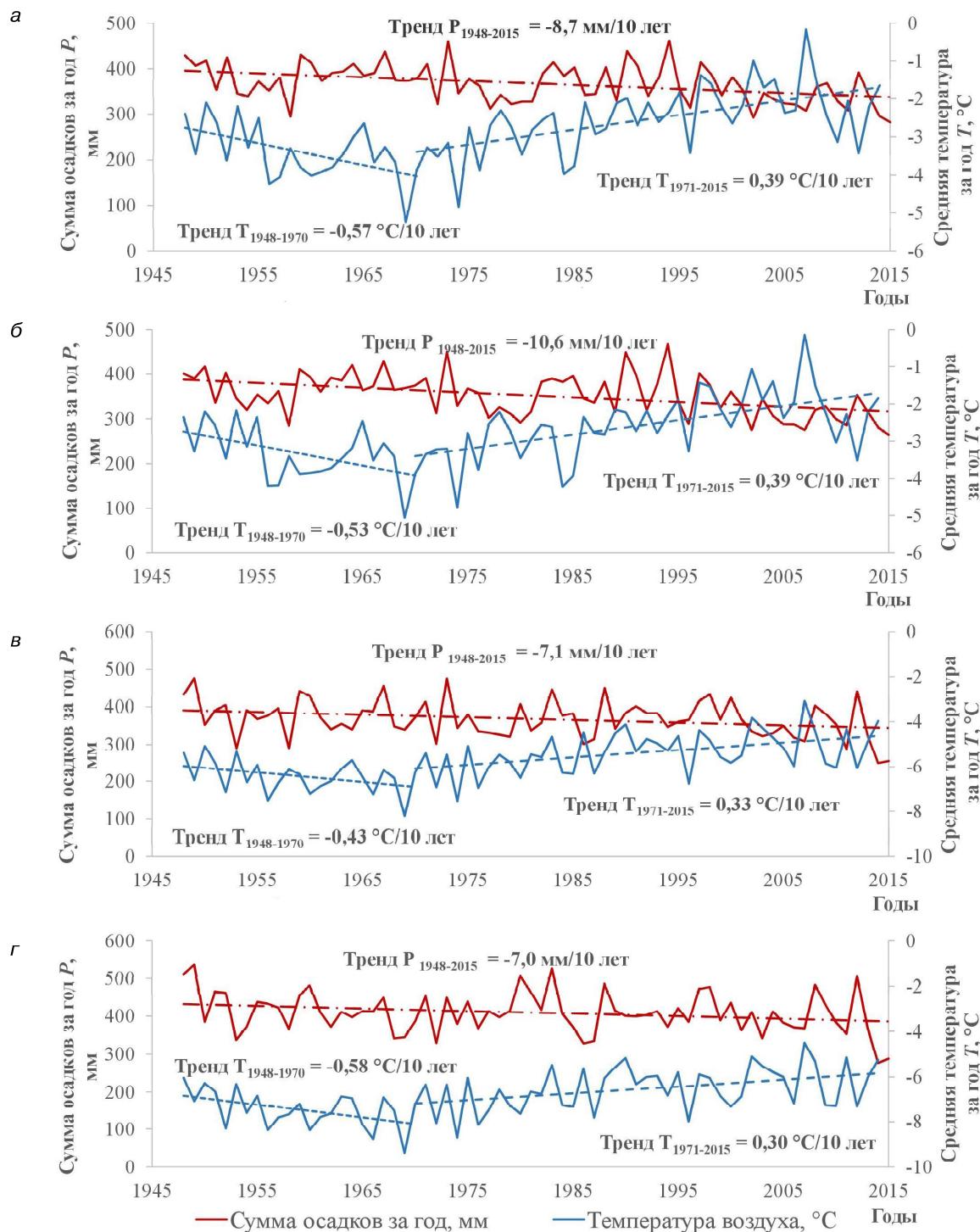


Рис. 1. Многолетняя изменчивость годовых сумм осадков и среднегодовых значений приземной температуры воздуха, усреднённых по территории водосбора оз. Байкал (а) и водосборов рек Селенги (б), Баргузин (в) и Верхней Ангары (г) / Fig. 1. The long-term variability of annual sums of precipitation and annual mean values of surface air temperature averaged over the lake Baikal watershed (a) and catchments of the Selenga (б), Barguzin (в) and Upper Angara rivers (г)

Усредненные по бассейну р. Селенги величины среднемноголетних сумм осадков за год составили 376, 359 и 327 мм за периоды с 1948 по 1970 гг., с 1971 по 1992 гг., с 1993 по 2015 гг. соответственно. Это показывает сокращение на 13 % среднемноголетних сумм осадков за год в 1993–2015 гг. по сравнению с 1948–1970 гг. Менее заметные изменения произошли в пределах водосборов рек Баргузин и Верхней Ангары. Среднемноголетние суммы осадков, усредненные по бассейну р. Баргузин, составили 382, 371 и 355 мм за соответствующие периоды. Для бассейна Верхней Ангары годовые суммы осадков – 420, 416 и 398 мм соответственно.

Для каждого из указанных периодов проанализирован внутригодовой ход средних за многолетний период месячных сумм осадков,

усреднённых по водосборному бассейну оз. Байкал и частным бассейнам притоков (рис. 2). В пределах всего бассейна оз. Байкал происходит снижение сумм осадков за месяц от более ранних периодов к более поздним практически во все месяцы года. Более заметное снижение среднемноголетних сумм осадков за месяц в 1993–2015 гг. наблюдалось в июле, августе и сентябре и составило 8,2, 12,0 и 6,8 мм по сравнению с периодом 1948–1970 гг. соответственно. В бассейне р. Селенги произошло сокращение средних сумм осадков за месяц в 1993–2015 гг. по сравнению с 1948–1970 гг., также наиболее проявляющееся в снижении сумм осадков в июле, августе и сентябре на 9,8, 14,8 и 7,7 мм соответственно.

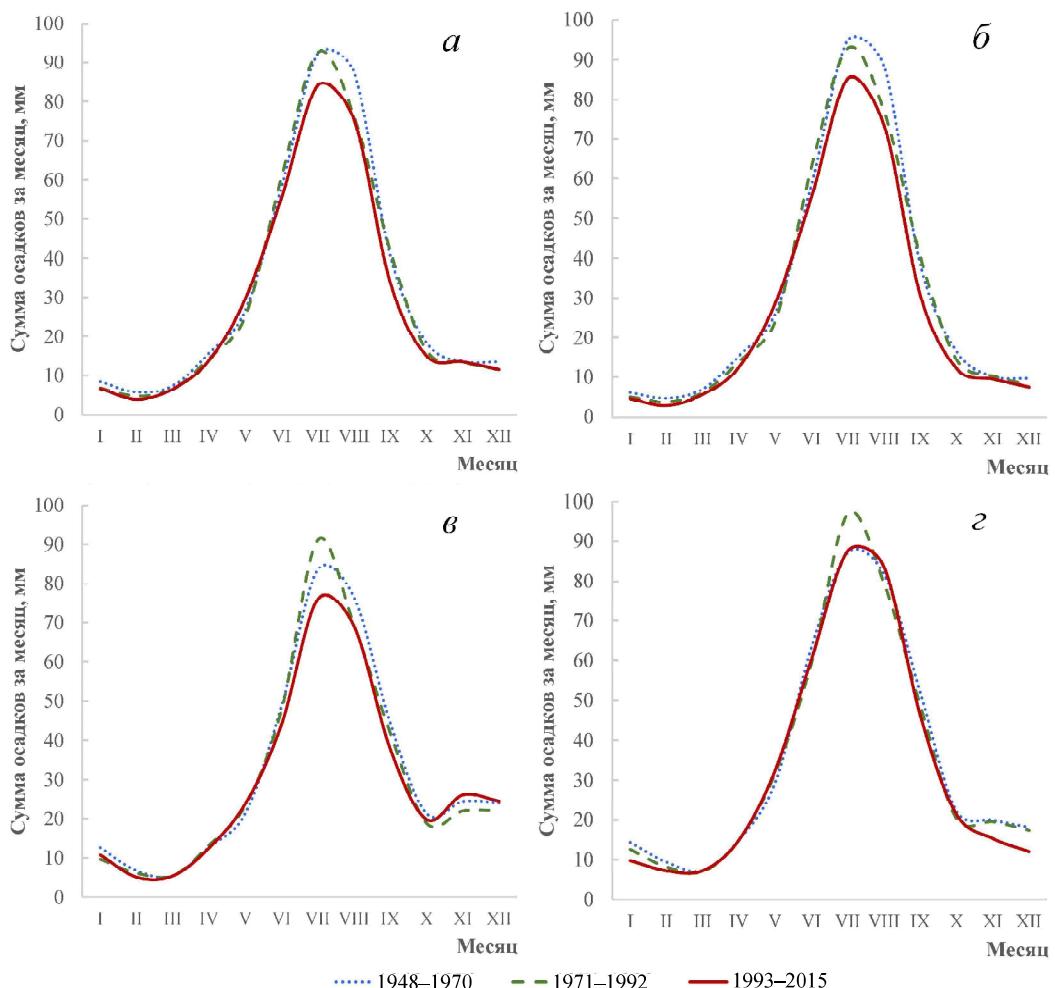


Рис. 2. Ход средних месячных сумм осадков за многолетний период, усреднённых по территории водосбора оз. Байкал (а) и частных водосборов рек Селенги (б), Баргузин (в) и Верхней Ангары (г) / Fig. 2. The course of long-term monthly mean precipitation averaged over the lake Baikal watershed (a) and the catchments of the Selenga (б), Barguzin (в) and Upper Angara (г) rivers

На р. Баргузин в период с 1971 по 1992 гг. сначала произошло повышение месячных сумм осадков в отдельные месяцы (например, в июле на 7,5 мм), в другие месяцы – снижение (например, в августе на 7,1 мм) по сравнению с периодом с 1948 по 1970 гг. В целом за год средняя сумма осадков понизилась. В следующий период в 1993–2015 гг. произошло сокращение сумм осадков по сравнению с 1948–1970 гг. почти во все месяцы (кроме несущественного повышения в ноябре), наиболее выраженное в снижении средних месячных сумм осадков в июле, августе и сентябре на 7,8, 7,4 и 6,6 мм по сравнению с первым периодом соответственно. На Верхней Ангаре изменения количества осадков в

1993–2015 гг. по сравнению с 1993–2015 гг. наименее заметно и проявляются в снижении сумм осадков в зимние месяцы.

Различия в изменении осадков за многолетний период в различных частях бассейна оз. Байкал объясняются действием различных совокупностей циркуляционных факторов в его пределах ввиду существенных размеров исследуемой водосборной территории [1; 2]. Однако в целом во всех его частях наблюдается сокращение количества осадков за исследуемый период.

За период с 1948 по 2015 гг. произошёл существенный рост средней температуры в пределах исследуемых бассейнов почти во все месяцы года (рис. 3).

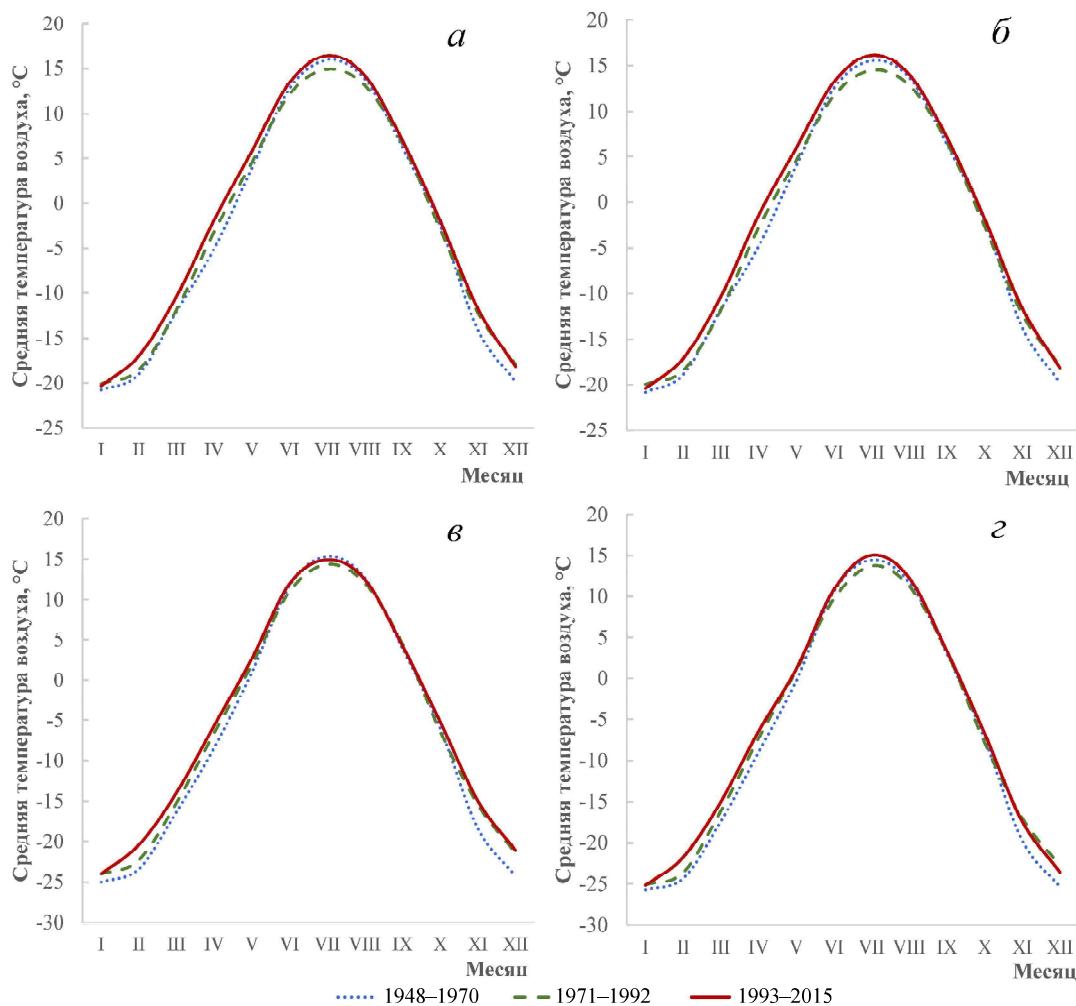


Рис. 3. Ход средних месячных значений температуры воздуха за многолетний период, усреднённых по территории водосбора оз. Байкал (а) и частных водосборов рек Селенги (б), Баргузин (в) и Верхней Ангары (г) / Fig. 3. The course of long-term monthly mean air temperature averaged over the lake Baikal watershed (a) and the catchments of the Selenga (б), Barguzin (в) and Upper Angara (г) rivers

Более чем на 2 °С средняя приземная температура воздуха повысилась в бассейне р. Баргузин – в феврале-апреле, ноябре и декабре; в бассейне Верхней Ангары – в феврале и апреле; в бассейне Селенги – в апреле и ноябре, в пределах всего водосбора озера – феврале, апреле и ноябре. Средняя многолетняя температура воздуха в 1993–2015 гг. выросла по сравнению с данным показателем за период 1948–1970 гг. на 1,5 °С в пределах водосбора р. Баргузин и на 1,3 °С – в пределах бассейнов рек Селенга и Верхняя Ангара, а также всего бассейна озера.

Заключение. Показано наличие статистически значимых положительных трендов температуры воздуха и отрицательных трендов изменения осадков в исследуемом бассейне. Вместе с ростом температуры,

показанным в работе, должно происходить и увеличение зависящей от неё величины испаряемости, т. е. потенциально возможного, но лимитирующего запасами воды испарения в данной местности. Таким образом, неизбежно увеличение расходной части водного баланса изучаемого водосбора озера и сокращение приходной части, ассоциированной с осадками, что уже находит проявление в понижении расходов притоков оз. Байкал и снижении уровня водоёма в последние годы. Очевидно, что в условиях изменения климата и снижения водности вопросы хозяйственного использования рек в бассейне озера, в том числе для целей гидроэнергетики и переброски стока [3], должны рассматриваться с особой тщательностью.

Список литературы

1. Антохина О. Ю., Антохин П. Н., Зоркальцева О. С., Девятова Е. В. Атмосферные блоки в Западной Сибири. Часть. 1. Особенности обнаружения, объективные критерии и их сравнение // Метеорология и гидрология. 2017. № 10. С. 34–45.
2. Антохина О. Ю., Антохин П. Н., Девятова Е. В., Мордвинов В. И. Типы атмосферного блокирования, обуславливающие дипольное колебание осадков Монголия – Восточная Сибирь в летний период // Двенадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу: тезисы докладов. Томск: Офсет центр, 2017. С. 15–17.
3. Бычков И. В., Никитин В. М., Абасов Н. В., Бережных Т. В., Максимова И. И., Осипчук Е. Н. Возможные изменения гидрологических характеристик в связи с регулированием стока в бассейне реки Селенги // География и природные ресурсы. 2017. № 3. С. 75–86.
4. Bryhn A. C., Dimberg P. H. An operational definition of a statistically meaningful trend // PLoS One. 2011. Vol. 6.
5. Horton P., Schaeefli B., Mezghani A., Hingray B., Musy A. Assessment of climate-change impacts on alpine discharge regimes with climate model uncertainty // Hydrological Processes. 2006. Vol. 20. P. 2091–2109.
6. Immerzeel W. W., Van Beek L. P., Bierkens M. F. Climate change will affect the Asian water towers // Science. 2010. Vol. 328. P. 1382–1385.
7. Kichigina N. V., Gubareva T. S., Shamov V. V., Gartsman B. I. Tracer investigations into the runoff formation within the Lake Baikal drainage basin // Geography and natural resources. 2016. No. 5. P. 60–69.
8. Parajuli A., Devkota L. P., Adhikari T. R., Dhakal S., Kayastha R. B. Impact of climate change on river discharge and rainfall pattern: a case study from Marshyangdi river basin, Nepal // Journal of Hydrology and Meteorology. 2018. Vol. 9. No. 1. P. 60–73.
9. Reanalysis Datasets at PSD [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/reanalysis/> (дата обращения: 20.09.2018).
10. Xu H., Luo Y. Climate change and its impacts on river discharge in two climate regions in China // Hydrology and Earth System Sciences. 2015. Vol. 19. P. 4609–4618.

References

1. Antokhina O. Yu., Antokhin P. N., Zorkaltseva O. S., Devyatova E. V. *Meteorologiya i gidrologiya* (Meteorology and Hydrology), 2017, no. 10, pp. 34–45.
2. Antokhina O. Yu., Antokhin P. N., Devyatova E. V., Mordvinov V. I. *Dvenadtsatoe Sibirskoe soveshchanie i shkola molodyh uchenyh po klimato-ekologicheskemu monitoringu: tezisy dokladov* (The twelfth Siberian meeting and the school of young scientists on climate and environmental monitoring: abstracts). Tomsk: Offset Center, 2017, pp. 15–17.
3. Bychkov I. V., Nikitin V. M., Abasov N. V., Berezhnykh T. V., Maksimova I. I., Osipchuk E. N. *Geografiya i prirodnye resursy* (Geography and natural resources), 2017, no. 3, pp. 75–86.

4. Bryhn A. C., Dimberg P. H. PLoS One. (PLoS One), 2011, Vol. 6.
5. Horton P., Schaeffli B., Mezghani A., Hingray B., Musy A. *Hydrological Processes* (Hydrological Processes), 2006, vol. 20, pp. 2091–2109.
6. Immerzeel W. W., Van Beek L. P., Bierkens M. F. *Science* (Science), 2010, vol. 328, pp. 1382–1385.
7. Kichigina N. V., Gubareva T. S., Shamov V. V., Gartsman B. I. *Geography and natural resources* (Geography and natural resources), 2016, no. 5, pp. 60–69.
8. Parajuli A., Devkota L. P., Adhikari T. R., Dhakal S., Kayastha R. B. *Journal of Hydrology and Meteorology* (Journal of Hydrology and Meteorology), 2018, vol. 9, no. 1, pp. 60–73.
9. Reanalysis Datasets at PSD. Available at: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/reanalysis/> ((Date of access: 20.09.2018)).
10. Xu H., Luo Y. *Hydrology and Earth System Sciences* (Hydrology and Earth System Sciences), 2015, vol. 19, pp. 4609–4618.

Коротко об авторе**Briefly about the author**

Сутырина Екатерина Николаевна, канд. геогр. наук, доцент кафедры гидрологии и природопользования, Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия. Область научных интересов: гидроэкология, гидрофизика.
ensut78@gmail.com

Ekataterina Sutyrina, candidate of geographical sciences, associate professor, Hydrology and Nature Management department, Irkutsk State University, Irkutsk, Russia. Sphere of scientific interests: hydroecology, hydrophysics

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 17-29-05045, 17-29-05047.

Образец цитирования

Сутырина Е. Н. Современные тенденции изменения климатических условий в пределах водосбора оз. Байкал // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25. № 5. С. 49–55. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-5-49-55.

Sutyrina E. Modern trends in changing climatic conditions within the catchment area of lake Baikal // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 5, pp. 49–55. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-5-49-55.

Статья поступила в редакцию: 01.10.2018 г.

Статья принята к публикации: 22.04.2019 г.