

Перспективы использования спутниковых данных для определения уровня воды в крупных озёрах

Ф. Я. Артыкова, С. Б. Калабаев

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека
Ташкент, 100174, Узбекистан
E-mail: salauat.kalabaev@gmail.com

По экономическим причинам мониторинг уровня воды проводится не во всех водоёмах. Проблему получения постоянной информации об уровне воды можно решить с помощью высотомера. В настоящей работе на основе данных спутниковой альтиметрии изучена годовая изменчивость уровня воды оз. Судочье — крупного озера Южного Приаралья — с 2008 по 2021 г. В ходе исследования были собраны и проанализированы данные из специализированной базы данных высотомеров G-REALM (*англ.* Global Reservoirs and Lakes Monitor, Глобальный мониторинг водохранилищ и озёр). Сведения об уровне воды из базы данных альтиметров сравнивались с наземными наблюдениями за уровнем воды на гидрологической станции. Результаты наблюдений спутниковых альтиметров проанализированы, выполнены статистические расчёты и внесены поправки в значения уровня воды. Успешно скорректированы серии данных спутниковых альтиметров для исследуемого водного бассейна, что позволило использовать их на практике.

Ключевые слова: оз. Судочье, уровень воды, спутниковая альтиметрия, гидрологическая станция измерения уровня воды

Одобрена к печати: 05.08.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-251-259

Введение

Получение информации об уровне воды в водоёмах традиционно осуществляется путём наземных измерений (гидропосты и полевые исследовательские экспедиции). Однако по экономическим причинам подобные наблюдения проводятся не на всех водоёмах регулярно. Проблему регулярного получения информации об уровне воды можно решить с помощью высотомера-альтиметра. История спутникового альтиметра началась около полувека назад с запуска первых спутников, таких как ERS-1/2 (*англ.* European Remote Sensing Satellite), TOPEX/Poseidon (*англ.* Topographic Experiment), GFO-1 (*англ.* Geosat Follow-on), Jason-1/2 (*англ.* Joint Altimetry Satellite Oceanography Network), Envisat (*англ.* Environmental Satellite) и других. С 2016 г. миссия Sentinel-3 запустила высотомер, предназначенный для изучения топографии морей и внутренних водоёмов, с высоким пространственным разрешением 300 м (Williamson et al., 2009).

За последние два десятилетия значительно возросло количество и качество спутниковых данных для определения уровня воды крупных озёр и водохранилищ. Данные спутниковой альтиметрии успешно используются для изучения гидрологического режима озёр и рек Южной Америки, Африки и Сибири (Лебедев и др., 2005; Троицкая и др., 2012).

Проведены спутниковые измерения уровня воды в нижнем течении р. Волги (Костяной и др., 2012), Волжского водораздельного каскада (Calmant et al., 2006), уровня воды озёр Ладога и Ильмень на границе России и Эстонии (Campos et al., 2001).

В настоящее время разработаны программные и ресурсные базы для обработки спутниковых данных при определении уровня воды океана и внутренних водоёмов с помощью высотомеров. Исследования в этом направлении вместе с коллегами проводили И. О. Кампос (Campos et al., 2001), С. Кальмант (Calmant et al., 2006), Ш. Биркетт (Birkett et al., 2011), А. Г. Костяной (2021), Ю. И. Троицкая (2012), С. А. Лебедев (Lebedev et al., 2014), К. Э. Уильямсон (Williamson et al., 2009), Х. Л. Молина (Molina et al., 2014), К. Шватке (Schwatke et al., 2015) и др.

Целью настоящего исследования является изучение внутригодовых и межгодовых изменений уровня воды в оз. Судочье, расположенном в Южном Приаральском р-не, в период с 2008 по 2021 г. с использованием результатов измерений альтиметров, установленных на космических спутниках.

Исходные данные и методы исследования

Дистанционное зондирование земной поверхности спутниковыми альтиметрами при глобальном охвате имеет единую систему измерений уровней Мирового океана, внутренних морей, озёр, водохранилищ и рек. У космических спутников точность определения высоты над поверхностью океана достигает 2 см, над озёрами около 5 см, над реками 15–20 см (Baghdadi et al., 2011; Benveniste, Berry, 2004; Benveniste, Serpe, 2007). Данные измерений спутниковыми альтиметрами предоставляются с различными задержками, которые могут длиться от 2 ч, иногда от 24 до 48 ч, в некоторых случаях от 30 до 75 дней (Satellite..., 2001).

Программное обеспечение обрабатывает альтиметрические сигналы с использованием всех стандартных поправок (атмосферные и ионосферные эффекты, эффекты земной коры) к данным высотомера, затем обработанные спутниковые данные сравниваются с результатами наземных наблюдений и определяется их разница. Используемый метод позволяет оценить ошибки спутниковых измерений и откорректировать результаты. Следует отметить, что спутниковая альтиметрия, как и наземные методы измерений уровней водных объектов, имеет и свои недостатки, к которым относится использование ряда поправок при обработке результатов измерений. Кроме этого, траектории спутников пересекают озёра в различных направлениях и невозможна их привязка к конкретному гидropосту. Иногда траектории спутников-высотомеров проходят над водоёмом близко к береговой линии, что затрудняет определение границы суши и воды, очередные же измерения могут быть только через 10 и более дней (рис. 1).

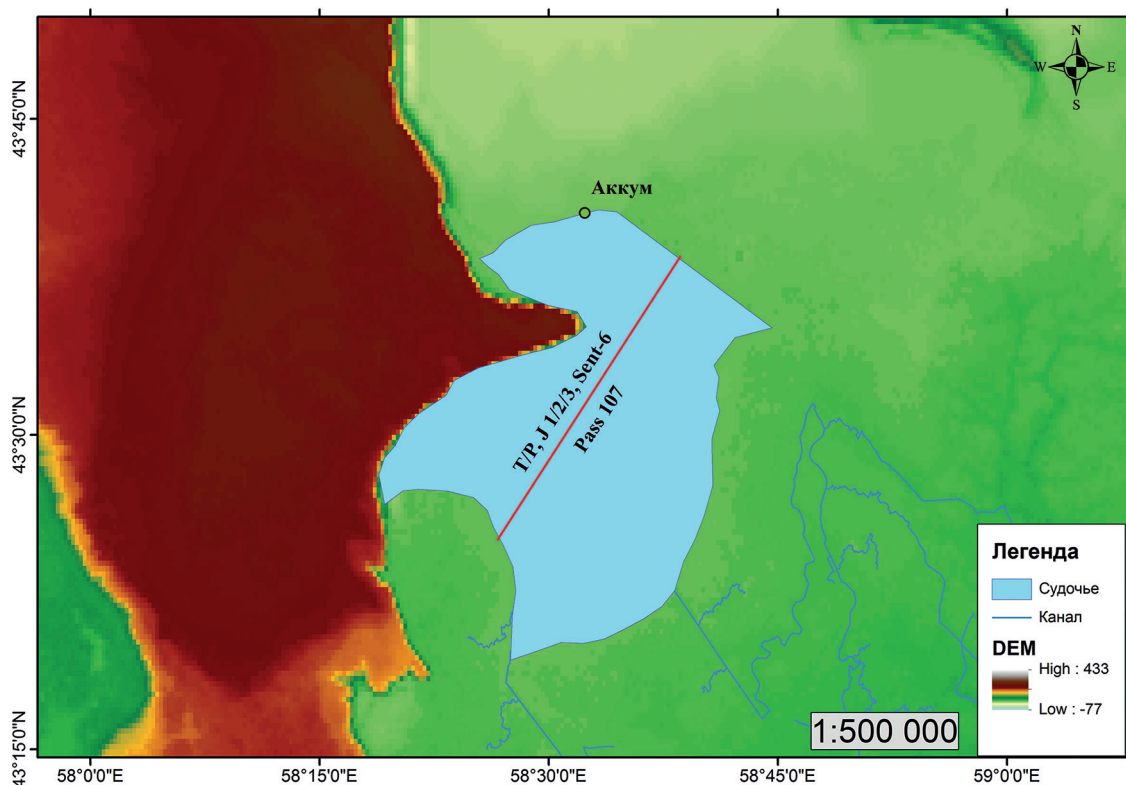


Рис. 1. Траектории спутников-высотомеров TOPEX/Poseidon, Jason-1/2/3, Sentinel-6 (красная линия на карте) над оз. Судочье

При наличии существенных расхождений между вышеуказанными статистическими характеристиками корректируемого спутникового и наземного ряда необходимо проанализировать возможные причины такого различия с последующим устранением обнаруженных ошибок и корректировкой спутникового ряда.

Проведённое исследование межгодовой изменчивости уровня воды оз. Судочье за более чем 13 лет (2008–2021) показало, что изменение амплитуды межгодовых колебаний уровня находится в пределах 2,80 м (G-REALM) и 2,53 м (*in situ*). Линейный межгодовой тренд варьируется от +10 см/год (G-REALM) до +19 см/год (*in situ*).

Заключение

Выполнена оценка точности измерений высоты уровенной поверхности внутренних вод спутниковыми высотомерами современного поколения.

Данные спутниковой альтиметрии имеют большой потенциал для гидрологических исследований отдалённых неизученных и недостаточно изученных внутренних водоёмов.

База данных спутниковой альтиметрии G-REALM существенно отличается от данных, полученных *in situ* на местной гидрологической станции измерения уровня воды. Полученное линейное уравнение связи между данными альтиметрических и наземных наблюдений можно использовать при расчёте уровня воды, характерного для оз. Судочье, а также для заполнения пробелов в данных, связанных с ледяным покровом в зимнее время.

Необходимо провести дальнейшие исследования уровня других озёр Южного Приаралья, выявить тенденции и цикличность их изменчивости.

Литература

1. Костяной А. Г., Лебедев С. А., Казьмина М. В., Цепелев В. Ю., Варлашина В. М., Нецадимова Т. Г. Спутниковый мониторинг трансграничных вод России и Эстонии. М.: Сигнал, 2012. 16 с.
2. Костяной А. Г., Костяная Е. А., Лебедев С. А., Серых И. В., Прокофьев Я. А. Межгодовая изменчивость уровня озера северо-запада России // Материалы 6-й Международ. научно-практ. конф. «Фундам. и приклад. аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современ. информац. технологий» Майкоп: Изд-во «ИП Кучеренко В. О.», 2021. Ч. 1. С. 158–167.
3. Лебедев С. А., Костяной А. Г. Спутниковая альтиметрия Каспийского моря. М.: Изд. центр «МОРЕ» Международ. ин-та океана, 2005. 366 с.
4. Троицкая Ю. И., Рыбушкина Г. В., Соустова И. А., Баландина Г. Н., Лебедев С. А., Костяной А. Г., Панютин А. А., Филина Л. В. Спутниковая альтиметрия внутренних водоёмов // Водные ресурсы. 2012. Т. 39. № 2. С. 169–185.
5. Baghdadi N., Lemarquand N., Abdallah H., Bailly J. S. The relevance of GLAS/ICESat elevation data for the monitoring of river networks // Remote Sensing. 2011. V. 3(4). P. 708–720. DOI: 10.3390/rs3040708.
6. Benveniste J., Berry P. A. M. Monitoring river and lakes from space // ESA Bull. ASE. 2004. V. 117. P. 36–42.
7. Benveniste J., Berry P., Milagro-Perez M. P., Serpe D. River and lake level data from radar altimetry in support of the Tiger initiative // Hydrospace 7 Workshop. 12–14 Nov. 2007, Geneva, Switzerland. 5 p.
8. Birkett C., Reynolds C., Beckley B., Doorn B. From research to operations: The USDA global reservoir and lake monitor // Coastal Altimetry. Berlin; Heidelberg: Springer, 2011. P. 19–50. DOI: 10.1007/978-3-642-12796-0_2.
9. Calmant S., Seyler F. Continental surface waters from satellite altimetry // Comptes Rendus Geoscience. 2006. V. 338(14–15). P. 1113–1122. DOI: 10.1016/j.crte.2006.05.012.
10. Campos I. O., Mercier F., Maheu C. et al. Temporal variations of river basin waters from Topex/Poseidon satellite altimetry: Application to the Amazon basin // Earth and Planetary Science. 2001. No. 333(10). P. 633–643. DOI: 10.1016/S1251-8050(01)01688-3.
11. Jarihani A. A., Callow J. N., Johansen K., Gouweleeuw B. Evaluation of multiple satellite altimetry data for studying inland water bodies and river floods // J. Hydrology. 2013. V. 505. P. 78–90. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.09.010.
12. Lebedev S. A., Troitskaya Y. I., Rybushkina G. V., Dobrovolsky M. N. Satellite altimetry of large lakes of the Baltic Basin // Proc. 2014 IEEE/OES Baltic Intern. Symp. (BALTIC). 2014. P. 1–5. DOI: 10.1109/BALTIC.2014.6887880.

13. Molina J. L., Rodríguez-González P., Molina M. C. et al. Geomatic methods at the service of water resource smodelling // J. Hydrology. 2014. V. 509. P. 105–162. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.11.034.
14. Satellite altimetry Earth sciences: A handbook of techniques and applications / eds. Lee-Lueng Fu, Cazenav A. San Diego; San Francisco; N. Y.; Boston; L.; Sydney; Tokyo: Academic Press, 2001. 477 p.
15. Schwatke C., Dettmering D., Bosch W., Seitz F. DAHITI — An innovative approach for estimating water level time series over inland waters using multi-mission satellite altimetry // Hydrology and Earth System Sciences. 2015. V. 19(10). P. 4345–4364. DOI: 10.5194/hess-19-4345-2015.
16. Williamson C. E., Saros J. E., Vincent W. F., Smol J. P. Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change // Limnology and Oceanography. 2009. V. 54(6). Pt. 2. P. 2273–2282. DOI: 10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2273.

Prospects for using satellite data to determine water levels in large lakes

F. Ya. Artikova, S. B. Kalabaev

Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, Tashkent 100174, Uzbekistan
E-mail: salauat.kalabaev@gmail.com

For economic reasons, water level monitoring is not carried out in all water bodies. The issues of obtaining regular information about the water level can be solved by using altimeter data. Based on satellite altimetry data, the annual variability of the water level of Lake Sudochoye which is the largest lake in the Southern Aral Sea region was studied for the period 2008–2021. In this research, data from the specialized G-REALM (Global Reservoirs and Lakes Monitor) altimeter database was collected and analyzed. Water level information from an altimeter database was compared with ground-based observations of water levels at a hydrological station. The results of observations of satellite altimeters were analyzed, statistical estimations were performed and corrections were made to the values of water levels. The series of satellite altimeter data for the studied water basin were successfully calibrated, which made it possible to use them in practice.

Keywords: Lake Sudochoye, water level, satellite altimetry, water level measuring station

Accepted: 05.08.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-251-259

References

1. Kostianoy A. G., Lebedev S. A., Kazmina M. V., Tsepelev V. Yu., Varlashina V. M., Neschadimova T. G. *Sputnikovyi monitoring transgranichnykh vod Rossii i Estonii* (Satellite monitoring of transboundary waters of Russia and Estonia), Moscow, Signal Russia, 2012, 16 p. (in Russian).
2. Kostianoy A. G., Kostianaya E. A., Lebedev S. A., Serykh I. V., Prokof'ev Y. A., Interannual variability in the level of lakes in northwestern Russia, *Materialy 6-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Fundamental'nye i prikladnye aspekty geologii, geofiziki i geoekologii s ispol'zovaniem sovremennykh informatsionnykh tekhnologii"* (Proc. 6th Intern. Scientific and Practical Conf. "Fundamental and Applied Aspects of Geology, Geophysics and Geoecology Using Modern Information Technologies"), Maykop, 2021, Pt. 1, pp. 158–167 (in Russian).
3. Lebedev S. A., Kostianoy A. G., *Sputnikovaya altimetriya Kaspiyskogo morya* (Satellite Altimetry of the Caspian Sea), Moscow: Izdatel'skii tsentr "MORE" Mezhdunarodnogo instituta okeana, 2005, 366 p. (in Russian).
4. Troitskaya Y. I., Rybushkina G. V., Soustova I. A. et al., Satellite altimetry of inland water bodies, *Water Resources*, 2012, Vol. 39, No. 2, pp. 184–199, DOI: 10.1134/S009780781202008X.
5. Baghdadi N., Lemarquand N., Abdallah H., Bailly J. S., The relevance of GLAS/ICESat elevation data for the monitoring of river networks, *Remote Sensing*, 2011, Vol. 3(4), pp. 708–720, DOI: 10.3390/rs3040708.

6. Benveniste J., Berry P.A.M., Monitoring river and lakes from space, *ESA Bulletin*, 2004, Vol. 117, pp. 36–42.
7. Benveniste J., Berry P., Milagro-Perez M.P., Serpe D., River and lake level data from radar altimetry in support of the Tiger initiative, *Hydrospace 7 Workshop*, 12–14 Nov. 2007, Geneva, Switzerland, 5 p.
8. Birkett C., Reynolds C., Beckley B., Doorn B., From research to operations: The USDA global reservoir and lake monitor, *Coastal Altimetry*, Berlin; Heidelberg: Springer, 2011, pp. 19–50, DOI: 10.1007/978-3-642-12796-0_2.
9. Calmant S., Seyler F., Continental surface waters from satellite altimetry, *Comptes Rendus Geoscience*, 2006, Vol. 338(14–15), pp. 1113–1122, DOI: 10.1016/j.crte.2006.05.012.
10. Campos I.O., Mercier F., Maheu C. et al., Temporal variations of river basin waters from TOPEX/Poseidon satellite altimetry: Application to the Amazon basin, *Earth and Planetary Science*, 2001, Vol. 333(10), pp. 633–643, DOI: 10.1016/S1251-8050(01)01688-3.
11. Jarihani A.A., Callow J.N., Johansen K., Gouweleeuw B., Evaluation of multiple satellite altimetry data for studying inland water bodies and river floods, *J. Hydrology*, 2013, Vol. 505, pp. 78–90, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.09.010.
12. Lebedev S.A., Troitskaya Y.I., Rybushkina G.V., Dobrovolsky M.N., Satellite altimetry of large lakes of the Baltic Basin, *Proc. 2014 IEEE/OES Baltic Intern. Symp. (BALTIC)*, 2014, pp. 1–5, DOI: 10.1109/BALTIC.2014.6887880.
13. Molina J.L., Rodríguez-González P., Molina M.C. et al., Geomatic methods at the service of water resource smodelling. *J. Hydrology*, 2014, Vol. 509, pp. 105–162, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.11.034.
14. *Satellite altimetry Earth sciences: A handbook of techniques and applications*, Lee-Lueng Fu, Cazenav A. (eds.), San Diego; San Francisco; New York; Boston; London; Sydney; Tokyo: Academic Press, 2001. 477 p.
15. Schwatke C., Dettmering D., Bosch W., Seitz F., DAHITI — An innovative approach for estimating water level time series over inland waters using multi-mission satellite altimetry, *Hydrology and Earth System Sciences*, 2015, Vol. 19(10), pp. 4345–4364, DOI: 10.5194/hess-19-4345-2015.
16. Williamson C.E., Saros J.E., Vincent W.F., Smol J.P., Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change, *Limnology and Oceanography*, 2009, Vol. 54(6), Pt. 2, pp. 2273–2282, DOI: 10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2273.