

Спутниковый мониторинг Сардобинского водохранилища в бассейне реки Сырдарья (Узбекистан) до и после прорыва дамбы 1 мая 2020 г.

А. Г. Терехов^{1,2}, Н. Н. Абаев^{2,3}, Е. И. Лагутин⁴

¹ *Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК
Алматы, 050010, Казахстан
E-mail: aterekhov1@yandex.ru*

² *Республиканское государственное предприятие «Казгидромет»
Алматы, 050022, Казахстан
E-mail: terekhov_a@meteo.kz*

³ *Казахский национальный университет имени аль-Фараби
Алматы, 050040, Казахстан
E-mail: abayev.nurlan@gmail.com*

⁴ *Институт водных проблем и экологии, Тараз, 080000, Казахстан
E-mail: eliktz5070@mail.ru*

Сардобинское водохранилище, расположенное в бассейне трансграничной р. Сырдарья на территории Узбекистана в 20 км от границы с Казахстаном, начало работать с 2017 г. Ложе резервуара представляет собой равнинный участок в центре Голодной степи площадью около 60 км², огороженный дамбами. 1 мая 2020 г. произошёл прорыв боковой дамбы, что привело к катастрофическому наводнению нижерасположенных земель в Узбекистане и Казахстане. Для восстановления динамики запаса воды в Сардобинском водохранилище в течение последних четырёх сезонов (2017–2020) использовались 115 снимков спутника Sentinel-2A периода 2015–2020 гг. и цифровая модель рельефа местности SRTM-2000. Водохранилище работало в ирригационном режиме. Срабатывание накопленной в холодный период воды производилось в мае–сентябре. Полностью водохранилище ни разу не заполнялось. Максимум воды в резервуаре со спутниковой оценкой в объёме 515 млн м³ был зарегистрирован 24 апреля 2020 г., т. е. при последнем пролёте спутника Sentinel-2A перед аварией (за 6 дней). В результате прорыва дамбы из Сардобинского водохранилища было потеряно около 400 млн м³, а уровень воды в нём упал на 18 м. По спутниковым данным на 4 мая следы подтопления регистрируются на площади примерно 600 км². Особенно пострадала низинная территория в районе границы Казахстана и Узбекистана, где образовался водоём площадью около 200 км², который покрыл сельскохозяйственные поля и несколько посёлков, в основном на территории Казахстана.

Ключевые слова: трансграничный бассейн реки Сырдарья, водохранилище, прорыв дамбы, катастрофическое наводнение, водное зеркало, береговая линия, цифровая модель рельефа дна резервуара, мониторинг запаса воды в водохранилище

Одобрена к печати: 20.05.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-255-260

Чрезвычайные события (ЧС) в области гидросферы, как правило, динамичны и неожиданны. В связи с этим наземные средства мониторинга окружающей среды часто не могут обеспечить достаточный объём информации, необходимый для детального анализа происшествия. Спутниковые системы дистанционного зондирования Земли из космоса, развёрнутые в настоящее время, в той или иной мере позволяют решать задачи мониторинга любых чрезвычайных событий (Горный и др., 2019; Дубинина и др., 2018; Крамарева и др., 2018; Родионова, 2017). При этом архивы спутниковой съёмки предоставляют возможность рассматривать события, предшествующие ЧС, и, таким образом, получать более полную картину происшествия (Бондур и др., 2019; Захарова, Захаров, 2019; Перерва и др., 2019).

В аридном климате Центральной Азии с большим количеством малооблачных дней появляется возможность использования спутниковых данных в оптическом диапазоне, которые более информативны для характеристики объектов гидросферы на поверхности Земли.

Например, для диагностики процессов, формирующих речной сток и запасы воды в водохранилищах (Терехов, Пак, 2019) или последствия паводков (Терехов и др., 2016).

Сардобинское водохранилище расположено в бассейне трансграничной р. Сырдарьи на территории Узбекистана, примерно в 20 км от границы с Казахстаном (рис. 1). Водохранилище было построено для улучшения ирригации сельскохозяйственных земель и работает начиная с 2017 г. Ложе резервуара представляет собой равнинный участок в центре Голодной степи с площадью около 60 км², огороженный специально построенными дамбами. Накопленная в холодный период вода в вегетационный сезон подавалась в ирригационную систему Голодной степи и использовалась для полива сельскохозяйственных полей Узбекистана. 1 мая 2020 г. произошёл прорыв боковой дамбы, следствием чего стало катастрофическое наводнение нижерасположенных территорий Сардобинского р-на Сырдарьинской обл. Узбекистана и Мактааральского р-на Туркестанской обл. Казахстана.



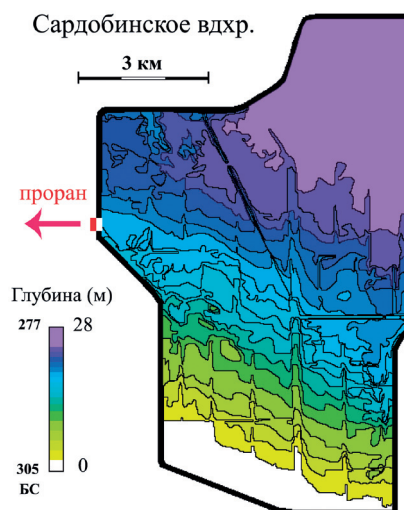
Рис. 1. Картосхема района исследования

Существующие системы дистанционного мониторинга позволяют достаточно детально отслеживать состояние объекта размером около 60 км². В настоящей работе мы опирались на оптические данные спутника Sentinel-2A, оснащённого сенсором MSI (Multispectral Instrument) с 12 каналами в оптической и ближней инфракрасной части спектра (пространственное разрешение 10–60 м), которые доступны с 2015 г. Сардобинское водохранилище начало работать в 2017 г., поэтому глубины архива спутниковой съёмки Sentinel-2A в 5 лет вполне достаточно для полного охвата периода его эксплуатации.

Из архивов Геологической службы США (United States Geological Survey — USGS, <https://glovis.usgs.gov/>), доступных в свободном режиме, было взято 115 спутниковых покрытий Sentinel-2A периода 2015–2020 гг., которые в каналах оптической части спектра с разрешением 20 м характеризовали параметры водной поверхности в пределах границ площадки Сардобинского водохранилища. Задачами мониторинга стала регистрация площади водного зеркала и позиций береговых линий, которые при отсутствии влияния ветрового поля представляют собой очень точные изогипсы.

Таким образом, спутниковые данные позволили восстановить гипсометрическую структуру дна водохранилища и динамику площади водного зеркала в период мониторинга (Терехов и др., 2015). Цифровая модель рельефа дна Сардобинского водохранилища была построена на основе 18 вариантов береговой линии при различном уровне заполненности резервуара. Альтиметрическая привязка этих изогипс осуществлялась с помощью цифровой модели рельефа SRTM-2000. Построенные изогипсы определили перепад высот по глубине водохранилища (в заполненном состоянии) в 28 м — от 277 до 305 м над уровнем моря (БС — балтийская система высот).

Рис. 2. Батиметрия Сардобинского водохранилища (Узбекистан), восстановленная по спутниковым данным Sentinel-2A и SRTM-2000 DEM



В результате анализа спутниковых данных была создана батиметрическая карта водохранилища (рис. 2) и восстановлены режимы его работы в сезонах 2017–2020 гг. (рис. 3). Водоохранилище работало в ирригационном режиме, заполнение — октябрь–март; сбрасывание — май–сентябрь. Полностью оно ни разу не заполнялось. Максимум воды в объёме 515 млн м³ был зарегистрирован 24 апреля 2020 г., т. е. в последний пролёт спутника перед аварией (за 6 дней). В итоге прорыва дамбы из водохранилища было потеряно около 400 млн м³, а уровень воды в нём упал на 18 м. Такой большой объём воды не смог ассимилироваться воднотранспортной системой сельскохозяйственных каналов.

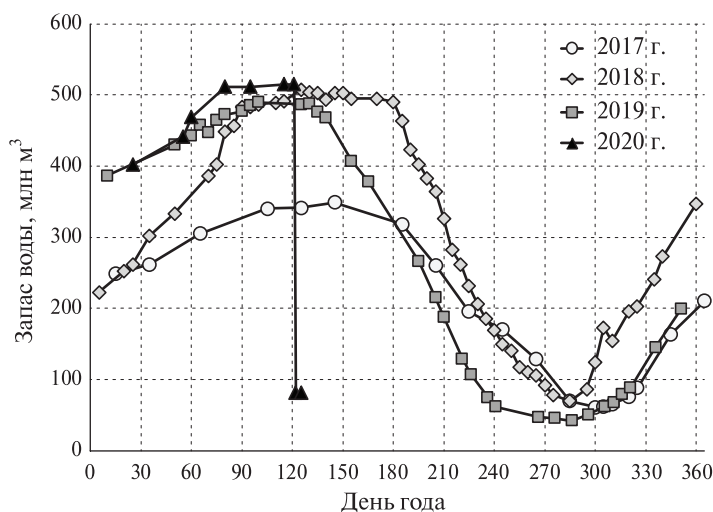


Рис. 3. Динамика запасов воды в Сардобинском водохранилище (Узбекистан) в сезонах 2017–2020 гг. Спутниковые оценки по данным Sentinel-2A и 3D-модели ложа резервуара

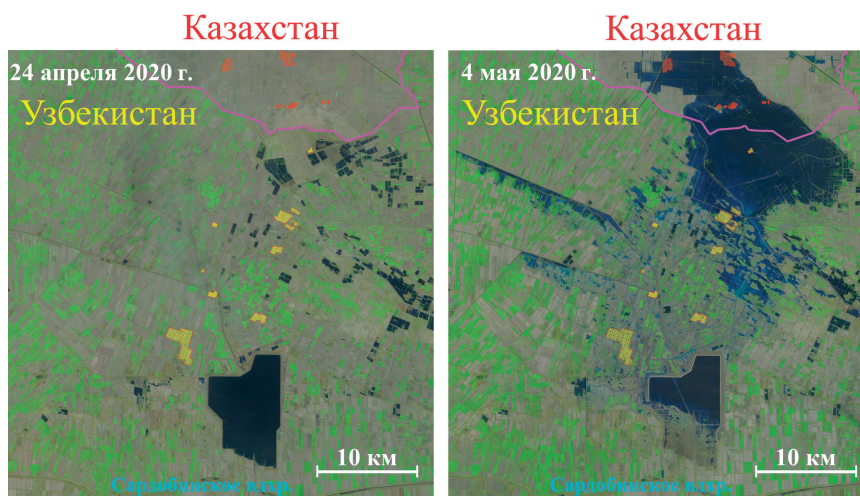


Рис. 4. Спутниковые сцены Sentinel-2A за 24 апреля и 4 мая 2020 г. района Сардобинского водохранилища (Узбекистан) с населёнными пунктами в зоне подтопления до и после прорыва дамбы 1 мая 2020 г. Псевдоцветные композиты (<https://glovis.usgs.gov/>)

В результате произошедший катастрофический паводок затронул территорию площадью около 600 км² (рис. 4, см. с. 257). Наиболее тяжёлые последствия оказались в районе границы Казахстан и Узбекистана, где в зоне естественной ложбины на месте посёлков и полей сформировался водоём с площадью водного зеркала на 4 мая 2020 г. в 181 км² и было подтоплено шесть населённых пунктов. При этом пять населённых пунктов и 80 км² сельскохозяйственных земель приходится на территорию Казахстана.

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан, проект № AP 05134241.

Литература

1. *Бондур В. Г., Захарова Л. Н., Захаров А. И., Чимитдоржиев Т. Н., Дмитриев А. В., Дагуров П. Н.* Долговременный мониторинг оползневой процесса на берегу реки Бурея по данным интерферометрической съёмки радаров L-диапазона // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 113–119. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-113-119.
2. *Горный В. И., Давидан Т. А., Киселев А. В., Крицук С. Г., Латыпов И. Ш., Павловский А. А., Тронин А. А.* Радиолокационный спутниковый мониторинг неевского наводнения 27 сентября 2018 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 243–247. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-243-247.
3. *Дубинина В. А., Шамов В. В., Плотников В. В.* Катастрофическое наводнение в Приморье в августе 2018 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 253–256. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-253-256.
4. *Крамарева Л. С., Лупян Е. А., Амелъченко Ю. А., Буццев М. А., Крашенинникова Ю. С., Суханова В. В., Шамилова Ю. А.* Наблюдения зоны обрушения сопки в районе реки Бурея 11 декабря 2018 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 7. С. 266–271. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-266-271.
5. *Перерва Н. И., Давиденко А. Н., Амелъченко Ю. А.* Анализ причин формирования дождевых паводков в бассейне р. Бурея в мае – июне 2019 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 303–306. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-303-306.
6. *Родионова Н. В.* Анализ изображений Sentinel 1 для весеннего паводка в Алтайском крае в апреле 2015 года и Рязанской области в апреле 2016 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 1. С. 136–146. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-136-146.
7. *Терехов А. Г., Пак А. А.* Спутниковый прогноз влияния пополнения Капшагайского водохранилища (КНР) на водность трансграничной р. Иле в 2019 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 298–302. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-298-302.
8. *Терехов А. Г., Пак И. Т., Долгих С. А.* Данные Landsat 5, 7, 8 и ЦМР в задаче мониторинга гидрологического режима Капшагайского водохранилища на реке Текес (китайская часть бассейна реки Иле) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 6. С. 174–182.
9. *Терехов А. Г., Пак И. Т., Долгих С. А.* Спутниковые наблюдения аномального весеннего паводка 2016 года в низовьях реки Аягуз // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 273–276. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-273-276.

Satellite monitoring of the Sardoba Reservoir in Syr Darya River basin (Uzbekistan) before and after a dam collapses on May 1, 2020

A. G. Terekhov^{1,2}, N. N. Abayev^{2,3}, E. I. Lagutin⁴

¹ Institute of Information and Computing Technology MES RK
Almaty 050010, Kazakhstan
E-mail: aterekhov1@yandex.ru

² RSE Kazhydromet, Almaty 050022, Kazakhstan
E-mail: terekhov_a@meteo.kz

³ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty 050040, Kazakhstan
E-mail: abayev.nurlan@gmail.com

⁴ Institute of water problem and ecology, Taras 080000, Kazakhstan
E-mail: eliktz5070@mail.ru

The Sardoba Reservoir, operating since 2017, is located in the basin of the transboundary Syr Darya River in Uzbekistan near the Kazakhstan border (20 km). The Reservoir is located in the center of the Golodnaya Steppe. Its bed is a flat territory with an area about 60 km² surrounded with dams. On May 1, 2020, a side dam collapsed resulting in catastrophic flooding of the downstream lands in Uzbekistan and Kazakhstan. The 115 images of Sentinel-2A and SRTM-2000 DEM were used to restore the dynamics of water masses in the Sardoba Reservoir during the last 4 seasons (2017–2020). The Reservoir operated in irrigation mode. The water accumulated during the cold period was used in May–September. The Reservoir was never completely filled. The maximum of water deposit in the Reservoir of 515 million m³, estimated from satellite data, was registered on April 24, 2020, on the last satellite visit before the accident (6 days). As a result of the dam collapse, about 400 million m³ of water from the reservoir was lost, and its water level fell by 18 m. According to Sentinel-2A image of May 4, traces of flooding are registered on an area of approximately 600 km². The lowland near the border between Kazakhstan and Uzbekistan was particularly affected, where a newly-formed water body with an area of about 200 km² covered the arable land and several villages, mainly on the Kazakhstan territory.

Keywords: transboundary Syr Darya River basin, reservoir, dam collapse, catastrophic flooding, water mirror, coastlines, digital elevation model of reservoir, water deposit monitoring

Accepted: 20.05.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-255-260

References

1. Bondur V. G., Zakharova L. N., Zakharov A. I., Chimitdorzhiev T. N., Dmitriev A. V., Dagurov P. N., Dolgovremennyy monitoring opolznevoogo protsessa na beregu reki Bureya po dannym interferometricheskoi s'emki radarov L-diapazona (Long-term monitoring of the landslide process on Bureya riverbank based on interferometric L-band radar data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 5, pp. 113–119, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-113-119.
2. Gornyy V. I., Davidan T. A., Kiselev A. V., Kritsuk S. G., Latypov I. Sh., Pavlovskii A. A., Tronin A. A., Radiolokatsionnyi sputnikovyi monitoring nevskogo navodneniya 27 sentyabrya 2018 g. (Satellite radar monitoring of Neva flood on September 27, 2018), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 1, pp. 243–247, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-243-247.
3. Dubina V. A., Shamov V. V., Plotnikov V. V., Katastroficheskoe navodnenie v Primor'e v avguste 2018 g. (Disastrous flood in August 2018 in Primorye (south Pacific Russia)), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 5, pp. 253–256, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-253-256.
4. Kramareva L. S., Loupian E. A., Amelchenko Yu. A., Burtsev M. A., Krashenninnikova Yu. S., Sukhanova V. V., Shamilova Yu. A., Nablyudeniya zony obrusheniya sopki v raione reki Bureya 11 dekabrya 2018 goda (Observation of the hill collapse zone near the Bureya River on December 11, 2018), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 7, pp. 266–271, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-266-271.
5. Pererva N. I., Davidenko A. N., Amelchenko Yu. A., Analiz prichin formirovaniya dozhdevykh pavodkov v basseine r. Bureya v mae – iyune 2019 g. (Analysis of the causes of the rain floods formation in the Bureya

- River basin in May–June 2019), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 4, pp. 303–306, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-303-306.
6. Rodionova N. V., Analiz izobrazhenii Sentinel 1 dlya vesennego pavodka v Altaiskom krae v aprele 2015 goda i Ryazanskoj oblasti v aprele 2016 goda (Image analysis of Sentinel 1 for flood detection in Altai Region in April 2015 and Ryazan Region in April 2016), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 1, pp. 136–146, DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-136-146.
 7. Terekhov A. G., Pak A. A., Sputnikovyi prognoz vliyaniya popolneniya Kapshagaiskogo vodokhranilishcha (KNR) na vodnost' transgranichnoi reki Ile v 2019 godu (Influence of the Kapshagay reservoir (China) refill on transboundary River Ile runoff and satellite-based forecasting), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 4, pp. 298–302, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-298-302.
 8. Terekhov A. G., Pak I. T., Dolgikh S. A., Dannye Landsat 5, 7, 8 i TsMR v zadache monitoringa gidrologicheskogo rezhima Kapshagaiskogo vodokhranilishcha na reke Tekes (kitaiskaya chast' basseina reki Ile) (Hydrology monitoring of Kapshagay reservoir on river Tekes (China's part of river Ile basin) based on Landsat 5, 7, 8 data and DEM batymetry), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 6, pp. 174–182.
 9. Terekhov A. G., Pak I. T., Dolgikh S. A., Sputnikovye nablyudeniya anomal'nogo vesennego pavodka 2016 goda v nizov'yakh reki Ayaguz (Satellite observations of the anomalous spring flood at the lower reach of the Ayaguz River in 2016), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 4, pp. 273–276, DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-273-276.