

Анализ последствий прорыва дамбы Сардобинского водохранилища 1 мая 2020 г.

А. М. Константинова, Е. А. Лупян

*Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия
E-mail: evgeny@d902.iki.rssi.ru*

Крупнейшими водными артериями Узбекистана являются реки Сырдарья и Амударья. На русле этих рек построен ряд водохранилищ, имеющих большое ирригационное и энергетическое значение для страны. Одним из таких объектов стало Сардобинское водохранилище, введенное в эксплуатацию около пяти лет назад. 1 мая 2020 г. в западной части дамбы водохранилища произошёл прорыв, повлёкший затопление населённых пунктов, сельскохозяйственных угодий, объектов дорожной сети. В результате прорыва была утеряна значительная часть накопленной водной массы водоёма. Возможности действующих в настоящее время спутников, данные которых являются общедоступными, позволили осуществить достаточно детальный мониторинг развития наводнения и оценить его последствия. Краткий анализ полученных результатов представлен в настоящем сообщении. Работа была выполнена с использованием возможностей Центра коллективного пользования системами архивации обработки и анализа спутниковых данных «ИКИ-Мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru>) и развиваемой на его основе информационной системы дистанционного мониторинга водных ресурсов Узбекистана EcoSatMS (<http://suvo.geosmis.ru>).

Ключевые слова: спутниковый мониторинг Земли, наводнения, Сардобинское водохранилище, прорыв дамбы, ЦКП «ИКИ-Мониторинг», площадь затопления, площадь водного зеркала, цифровая модель рельефа, батиметрическая карта, объём водохранилища, EcoSatMS

Одобрена к печати: 28.05.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-261-266

Введение

Сардобинское водохранилище — искусственный водоём в Сырдарьинской обл. Республики Узбекистан, имеющий большое ирригационное назначение для нескольких областей страны. Оно имеет площадь около 60 км² и наполняется каналом из р. Сырдарья с востока. Строительство водоёма началось в 2010 г., а окончательно завершилось только в 2017 г. По оценкам спутникового мониторинга, водохранилище стало заполняться водой зимой 2013/2014 гг. 1 мая 2020 г. в одной из стен дамбы произошёл прорыв, в результате которого пострадал ряд населённых пунктов и сельскохозяйственных угодий Узбекистана и трансграничной зоны (Гири и др., 2020).

С 2018 г. в Институте космических исследований Российской академии наук ведётся разработка специализированной информационной системы дистанционного мониторинга водных ресурсов Узбекистана (ИС EcoSatMS, <http://suvo.geosmis.ru>), функционирующей на базе Центра коллективного пользования (ЦКП) системами архивации обработки и анализа спутниковых данных «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019) (<http://ckp.geosmis.ru>). Сервис позволяет организовывать автоматический мониторинг водной поверхности объектов, а также рассчитывать их количественные характеристики (Мухамеджанов и др., 2018, 2019). Имеющиеся в центре долговременные архивы данных и возможности ИС EcoSatMS позволяют оценивать состояние водохранилища и окружающих территорий на всём протяжении его строительства, наполнения и функционирования. С помощью ИС EcoSatMS, в частности, можно проводить оценки объёмов заполняемости водохранилищ с использованием рельефа местности, восстановленного на основе данных прибора ASTER (версия V3) (<https://earthdata.nasa.gov/learn/articles/new-aster-gdem>). Для проведения оценок площади водного зеркала в системе используется модифицированный нормализованный разностный водный индекс MNDWI (Modified Normalized Difference Vegetation Index), рассчитываемый на основе данных

оптических наблюдений (Погорелов и др., 2017), который в условиях обсуждаемого региона позволяет получать достаточно устойчивые результаты. Для оценки площади водного зеркала на радиолокационных спутниковых снимках использовался подход, основанный на биаризации изображений, предложенный в публикации (Spinosa et al., 2018). В настоящей работе все эти возможности были использованы для оценки последствий прорыва дамбы 1 мая 2020 г. Для проведения анализа были взяты данные спутников Landsat-7/8, Sentinel-1A/B, Sentinel-2A/B. За рассматриваемый период с 29 апреля по 3 июня 2020 г. в ИС EcoSatMS доступно более 20 спутниковых снимков.

Согласно оценке, полученной по данным спутника Sentinel-2B (многоспектральный сенсор оптического диапазона MSI — Multispectral Instrument, пространственное разрешение 10 м) от 04.05.2020, 06:27 GMT (рис. 1), общая площадь, затронутая наводнением при прорыве дамбы, составила около 610 км², а площадь территории достаточно устойчивого затопления — около 200 км². Для проведения анализа использовался следующий цветосинтез различных каналов прибора MSI: R — канал 12 (спектральный диапазон — 2100–2280 нм, разрешение — 20 м), G — канал 8 (спектральный диапазон — 785–900 нм, разрешение — 10 м), B — канал 4 (длины волн — 650–680 нм, разрешение — 10 м). Данный синтез был использован для формирования всех оптических изображений, представленных в настоящей работе (для данных Landsat используются каналы с близкими спектральными диапазонами).

На рис. 2 (см. с. 263) представлены фрагменты спутниковых снимков Сардобинского водохранилища непосредственно перед прорывом дамбы и после слива воды из водоёма.

Особенностью рассматриваемого случая является то, что фактически имеется батиметрическая карта водохранилища, полученная по данным прибора ASTER на основе съёмок, выполненных в 2011 г., т.е. до заполнения водохранилища, которое, согласно данным спутниковых наблюдений, приведённых на рис. 3 (см. с. 263), началось зимой 2013/2014 гг. Также видно, что стена дамбы, в которой произошёл прорыв, была введена в эксплуатацию в конце 2015 г.

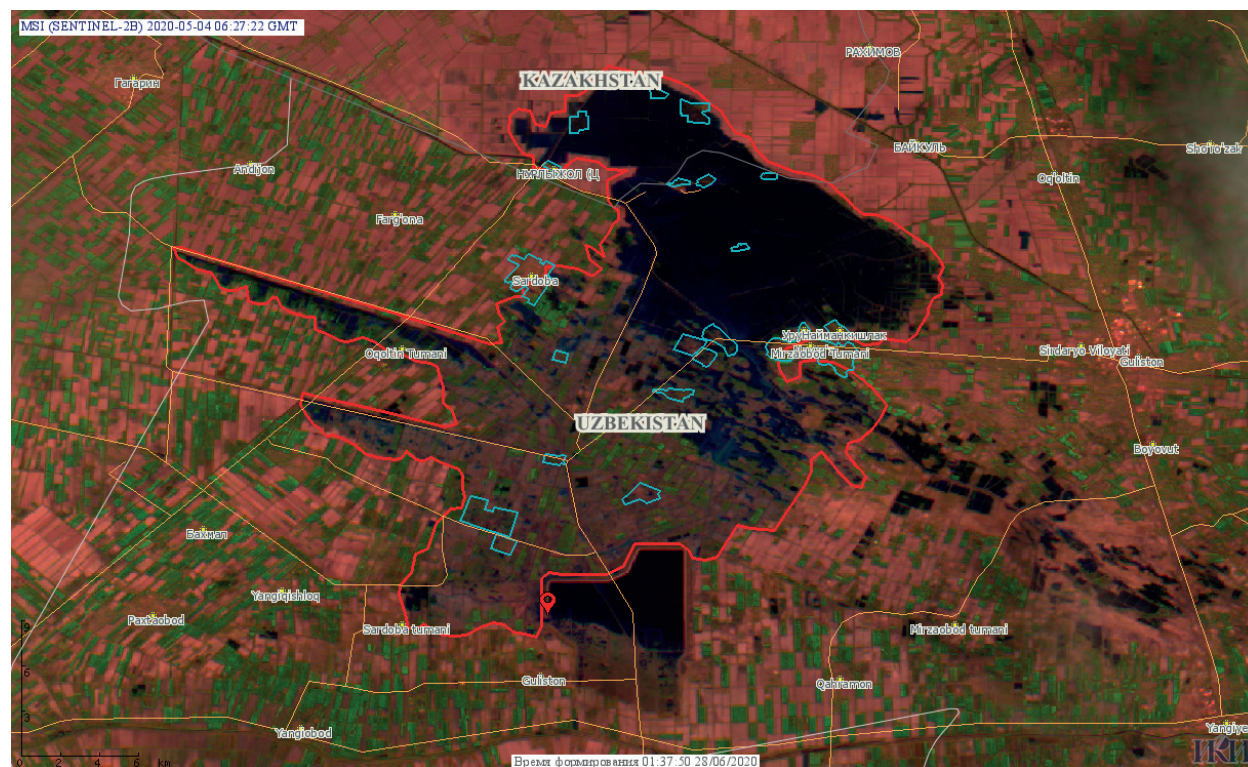


Рис. 1. Зона затопления, оценённая на основе данных спутника Sentinel-2B от 04.05.2020, 06:27 GMT. Красным контуром показана территория, затронутая наводнением. Маркер красного цвета установлен в месте прорыва дамбы. Синими линиями обозначены контуры населённых пунктов, которые попали в зону затопления

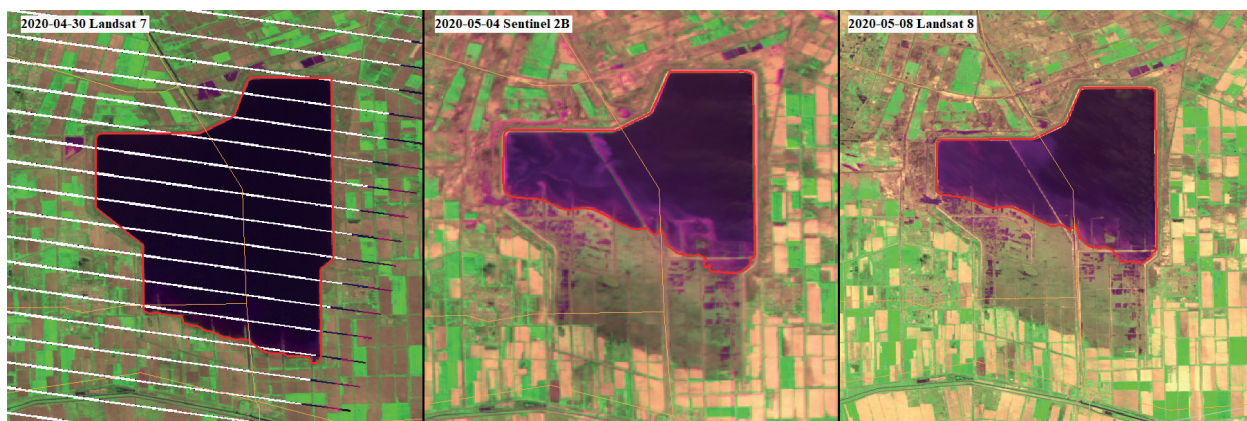


Рис. 2. Сравнение водного зеркала водохранилища до и после прорыва дамбы. Красным контуром показана граница основного водного зеркала

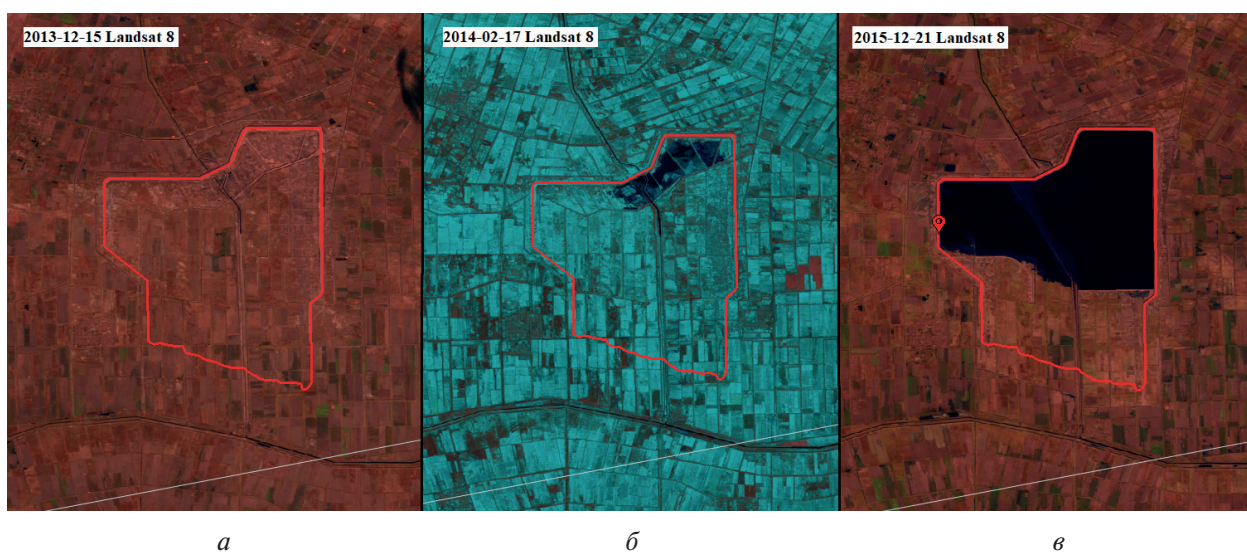


Рис. 3. Данные Landsat-8 до и после начала заполнения Сардобинского водохранилища: а — 17.02.2014, 06:05 GMT; б — 15.12.2013, 06:06 GMT; в — 21.12.2015, 06:05:15 GMT. Красным маркером показано место прорыва 01.05.2020

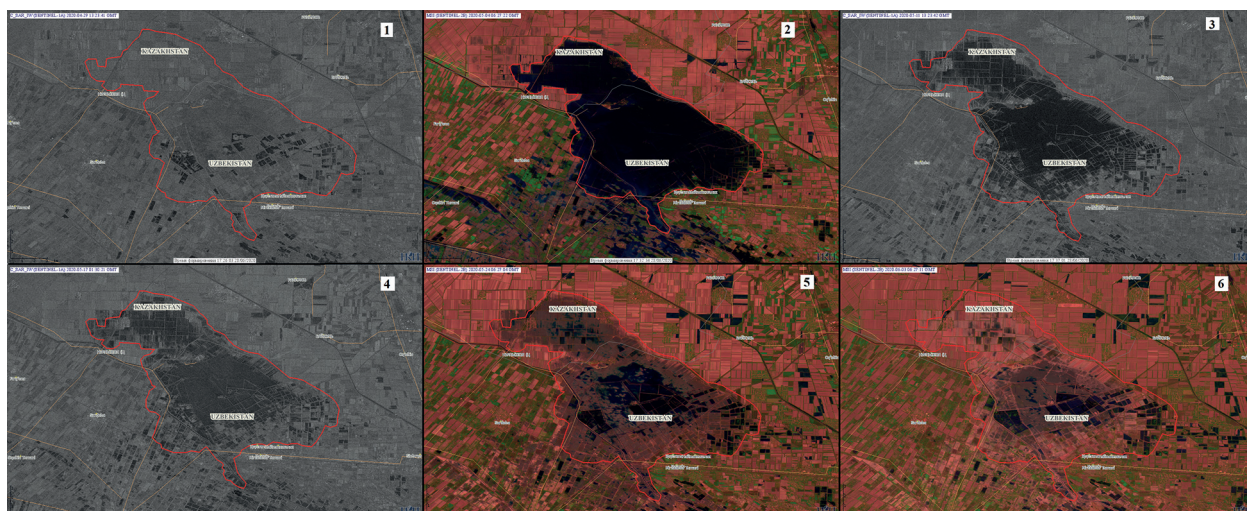


Рис. 4. Динамика зоны устойчивого затопления, образовавшейся на границе Узбекистана и Казахстана: 1 — 29.04.2020, Sentinel-1A; 2 — 04.05.2020, Sentinel-2B; 3 — 11.05.2020, Sentinel-1A; 4 — 17.05.2020, Sentinel-1A; 5 — 24.05.2020, Sentinel-2B; 6 — 03.06.2020, Sentinel-2B

Таким образом, имея информацию о глубинах и границах водного зеркала водохранилища, мы можем оценивать объём воды в нём в различные моменты времени. Для такой оценки использовался подход, основанный на выделении водного зеркала и усреднении данных рельефа местности, полученных по прибору ASTER (версия V3). Подход заключается в наложении пикселей изображения водного зеркала на сглаженный рельеф (сглаживание производится медианным фильтром с окном 750 м). Высота водного зеркала равна максимальной высоте, которая покрывается водной поверхностью, а глубина, соответственно, рассчитывается как разность высоты водного зеркала и минимальной высоты рельефа, покрытой водой. Вычислив сумму глубин для каждого пикселя, умноженную на площадь покрытого рельефа, получим в итоге объём воды в водохранилище. Результаты таких оценок для наблюдений, представленных на *рис. 2*, приведены в *табл. 1*. Видно, что 30.04.2020 водохранилище было почти полностью заполнено и объём уже превышал предельные расчётные значения (<https://uz.sputniknews.ru/society/20200505/14060809/Spravka-cto-izvestno-o-Sardobinskom-vodokhranilische.html>). После прорыва дамбы площадь водного зеркала водохранилища сократилась практически в два раза, объём воды уменьшился более чем на 70 %.

Наиболее пострадавшая от наводнения зона находится на территории Казахстана и Узбекистана, где расположены сельскохозяйственные угодья и населённые пункты (см. *рис. 1*). Прорыв привёл к частичному или полному подтоплению более 20 населённых пунктов. Анализ данных зоны устойчивого затопления, которая наблюдалась 4 мая 2020 г., показал, что в ряде её участков глубина воды достигала 5–6 м. При этом для оценки использовалась не исходная карта рельефа, полученная по данным прибора ASTER, а её вариант, сглаженный медианным фильтром с окном 750 м. На *рис. 4* (см. с. 263) представлены примеры наблюдения динамики зоны устойчивого затопления с 04.05.2020 по 03.06.2020. Наблюдения осуществлялись с помощью спутников Sentinel-1A/B, Sentinel-2A/B, Landsat-8. С полной серией наблюдений зоны устойчивого затопления за указанный период, доступной в ИС EcoSatMS, можно ознакомиться по веб-ссылке <http://suvo.geosmis.ru/mapviewer/?id=1593378577892>.

Таблица 1. Показатели, рассчитанные по спутниковым данным до и после прорыва на Сардобинском водохранилище

Дата/время, GMT	Спутник	Площадь, га	Объём, м ³	Глубина, м	Потеря, %
30.04.2020/05:39:31	Landsat-7	5991,16	972 966 400	28	0
04.05.2020/06:27:22	Sentinel-2B	3045,40	254 197 200	15	73,88
08.05.2020/06:04:30	Landsat-8	3000,42	254 052 000	15	73,89

Таблица 2. Динамика площади водного зеркала на общей территории, затронутой разливом воды из Сардобинского водохранилища (оценки получены с использованием данных, представленных на *рис. 4*)

Дата/время, GMT	Спутник	Площадь пострадавшей от затопления территории, га	Количество подтопленных населённых пунктов	Общая площадь подтопленных населённых пунктов, га
04.05.2020/06:27:22	Sentinel-2B	32008	20	3076
11.05.2020/13:23:42	Sentinel-1A	23688	15	2101
17.05.2020/01:30:21		19021	10	1622
24.05.2020/06:04:33	Sentinel-2B	8101	4	399
03.06.2020/06:27:11		3663	2	198

Итак, мы видим, что спутниковые системы высокого пространственного разрешения, данные которых в настоящее время распространяются свободно, позволили обеспечить мониторинг зоны сплошного затопления со средней частотой около 5 дней. Для серии данных,

представленных на *рис. 4*, были также оценены некоторые характеристики общей зоны затопления, приведённые в *табл. 2*. Стоит отметить, что после 11 мая 2020 г. подтопленными оставались только населённые пункты в зоне устойчивого затопления. Кроме того, видно, что более чем через месяц после произошедшей аварии подтопление наблюдалось на нескольких тысячах гектаров сельскохозяйственных угодий и в двух населённых пунктах.

Таким образом, на основе свободно распространяемых спутниковых данных был организован эффективный мониторинг последствий прорыва дамбы Сардобинского водохранилища, который обеспечил получение не только качественного, но и количественного анализа сложившейся ситуации.

Использованные в работе возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019) были разработаны и поддерживаются в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-37-90114).

Авторы выражают большую благодарность И. Д. Мухамеджанову за труд, вложенный в создание и развитие ИС EcoSatMS, которая использовалась в рамках представленной работы, в том числе за разработанные им уникальные инструменты анализа параметров водных объектов.

Литература

1. *Гири С., Дончиц Г., Хегнауэр М.* Быстрый анализ прорыва плотины на Сардобинском водохранилище в Узбекистане. 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.22899.14885.
2. *Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Кашицкий А. В., Балашов И. В., Барталев С. А., Константинова А. М., Кобец Д. А., Мазуров А. А., Марченков В. В., Матвеев А. М., Радченко М. В., Сычугов И. Г., Толпин В. А., Уваров И. А.* Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
3. *Мухамеджанов И. Д., Лупян Е. А., Уваров И. А.* Особенности спутникового мониторинга гидросооружений Вахшского каскада на примере Нурекского водохранилища // Вестн. Тверского гос. ун-та. Сер. «География и геоэкология». 2018. № 3. С. 137–151. DOI: 10.26456/2226-7719-2018-3-137-151.
4. *Мухамеджанов И. Д., Константинова А. М., Лупян Е. А., Гафуров А. А.* Подходы к построению системы дистанционного мониторинга реки Амударьи и ее притоков // Материалы Семнадцатой Всероссийской открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019. М.: ИКИ РАН, 2019. С. 111. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a.
5. *Погорелов А. В., Липилин Д. А., Курносова А. С.* Спутниковый мониторинг Краснодарского водохранилища // Географ. вестн. 2017. № 1(40). С. 130–137. DOI 10.17072/2079-7877-2017-1-130-137.
6. *Spinosa A., Ziemba A., Saponieri A., Navarro-Sanchez V. D., Damiali L., El Serafy G. Y.* Automatic Extraction of Shoreline from Satellite Images: a new approach // Learning to Measure Sea Health Parameters (MetroSea): IEEE Intern. Workshop on Metrology for the Sea. 2018. P. 33–38. DOI: 10.1109/MetroSea.2018.8657864.

Analysis of the consequences of the dam failure of the Sardoba Reservoir on May 1, 2020

A. M. Konstantinova, E. A. Loupian

Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia

E-mail: evgeny@d902.iki.rssi.ru

The largest waterways in Uzbekistan are the Syr Darya and Amu Darya rivers. A number of reservoirs have been built along the courses of these rivers and their stream tributaries, which are important for irrigation and energy industry in the country. One of these facilities is the Sardoba Reservoir commissioned about 5 years ago. On May 1, 2020, a collapse occurred in the western part of the reservoir dam, causing flooding of rural areas, agricultural lands and roads. As a result of this breakthrough, a significant part of the accumulated water of the Sardoba Reservoir was lost. The capabilities of currently active satellites, the data of which are publicly available, have made it possible to carry out a detailed monitoring of the flood progress and estimate its consequences. A brief analysis of the results obtained is presented in this paper. The research was conducted using the resources of IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data (<http://ckp.geosmis.ru>) and the information system for remote monitoring of water resources of Uzbekistan EcoSatMS developed on its basis (<http://suvo.geosmis.ru>).

Keywords: satellite monitoring of the Earth, floods, Sardoba Reservoir, dam failure, CKP “IKI-Monitoring”, flooded area, water surface area, digital elevation model, bathymetric map, water reservoir volume, EcoSatMS

Accepted: 28.05.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-261-266

References

1. Giri S., Donchyts G., Hegnauer M., *Bystrii analiz proryva plotiny na Sardobinskom vodokhranilishche v Uzbekistane* (Rapid desk analysis of the dam breach at Sardoba Reservoir in Uzbekistan), 2020, DOI: 10.13140/RG.2.2.22899.14885.
2. Loupian E. A., Proshin A. A., Bourtsev M. A., Kashnitskii A. V., Balashov I. V., Bartalev S. A., Konstantinova A. M., Kobets D. A., Mazurov A. A., Marchenkov V. V., Matveev A. M., Radchenko M. V., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Opyt ekspluatatsii i razvitiya tsentra kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovoykh dannykh (CKP “IKI-Monitoring”) (Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 151–170, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
3. Mukhamedzhanov I. D., Loupian E. A., Uvarov I. A., Osobennosti sputnikovogo monitoringa gidrosooruzhenii Vakhshskogo kaskada na primere Nurekskogo vodokhranilishcha (The peculiarities of satellite monitoring of water control structures of the Vakhsh cascade on the example of the Nurek reservoir), *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya “Geografiya i geoekologiya”*, 2018, No. 3, pp. 137–151, DOI: 10.26456/2226-7719-2018-3-137-151.
4. Mukhamedzhanov I. D., Konstantinova A. M., Loupian E. A., Gafurov A. A., Podkhody k postroeniuyu sistemy distantsionnogo monitoringa reki Amudar'i i ee pritokov (Approaches to the design of the remote monitoring system for the Amu Darya river and its tributaries), *Materialy Semnadsatoi Vserossiiskoi otkrytoi konferentsii “Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa”* (Proc. 17th Open Conf. “Current problems in Remote Sensing of the Earth from Space”), 11–15 Nov. 2019, Moscow: IKI RAN, 2019, p. 111, DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a.
5. Pogorelov A. V., Lipilin D. A., Kurnosova A. S., Sputnikovyi monitoring Krasnodarskogo vodokhranilishcha (Satellite monitoring of the Krasnodar reservoir), *Geographical bull.*, 2017, No. 1(40), pp. 130–137, DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-130-137.
6. Spinosa A., Ziemba A., Saponieri A., Navarro-Sanchez V. D., Damiali L., El Serafy G. Y., Automatic Extraction of Shoreline from Satellite Images: a new approach, *Learning to Measure Sea Health Parameters (MetroSea): IEEE Intern. Workshop on Metrology for the Sea*, 2018, pp. 33–38, DOI: 10.1109/MetroSea.2018.8657864.