

Мониторинг состояния пересохшего ложа Каховского водохранилища в 2023–2024 гг.

С. С. Шинкаренко, С. А. Барталев, М. А. Богодухов, В. О. Жарко

Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия

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

В начале июня 2023 г. произошло частичное разрушение плотины Каховской гидроэлектростанции (ГЭС) на реке Днепре. В результате Каховское водохранилище в Запорожской и Херсонской областях перестало существовать, возникла угроза выноса его загрязнённых донных отложений. Тем не менее к сентябрю 2023 г. значительная часть обсыхающего ложа водохранилища покрылась растительностью. Данное краткое сообщение посвящено анализу восстановления растительного покрова на дне бывшего Каховского водохранилища по спутниковым данным Landsat-8, -9 и Sentinel-2 в 2023 и 2024 гг. На дне водохранилища весной 2024 г. отмечены пойменные процессы, выраженные в затоплении его части (около 50 %). Это обусловлено не только повышенной водностью реки Днепра в весенний период и сбросами каскада ГЭС выше по течению, но и подпором частично сохранившейся дамбы Каховской ГЭС. К концу августа 2024 г. доля площади дна бывшего водохранилища, представленная открытыми грунтами и нефотосинтезирующей растительностью (NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index) меньше 0,2), не превышала 10–12 %, а территория с высокопродуктивной растительностью и NDVI более 0,6 занимала не менее половины площади. Подобные значения NDVI характерны для высокостебельной околотовной растительности, например тростников и рогоза, а также быстрорастущих видов кустарниковых ив и подроста тополя. Это подтверждается лидарными данными спутника ICESat-2 (*англ.* Ice, Cloud, and land Elevation Satellite-2) — более половины сегментов сканирования 20×14 м летом 2024 г. зафиксировали максимальную высоту растительности 2–3 м и более. Таким образом, восстановление растительности на дне обсыхающего ложа Каховского водохранилища создаёт предпосылки для закрепления его донных отложений и содержащихся в них загрязняющих веществ.

Ключевые слова: Днепр, Каховское водохранилище, половодье, гидрология, дистанционное зондирование, Запорожская область, Херсонская область

Одобрена к печати: 13.02.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-326-334

В 2023 г. повреждение плотины Каховской гидроэлектростанции (ГЭС) на реке Днепре в ночь с 5 на 6 июня привело к резкому снижению уровня водохранилища и затоплению значительных площадей в пойме в его нижнем бьефе, в том числе более 2 тыс. га земель населённых пунктов (Шинкаренко, Барталев, 2023). Площадь водохранилища, расположенного в Запорожской и Херсонской областях, уже к 20-м числам июня сократилась более чем в два раза от проектной величины в 215 тыс. га при нормальном подпорном уровне (*рис. 1а*, см. с. 327), к концу июля составляла около 15 тыс. га (Zuo et al., 2024). В сентябре 2023 г. дно Каховского водохранилища практически полностью обнажилось, под водой осталась только гидрографическая сеть по состоянию, имевшему место на период до заполнения его чаши (см. *рис. 1б*).

В числе возможных последствий спуска водоёма прогнозировались загрязнение и эвтрофикация вод Днепро-Бугского лимана из-за попадания большого количества пресной воды, минеральных и органических веществ из Каховского водохранилища, осушение ложа водохранилища и угроза выноса загрязняющих веществ, накопленных в донных отложениях, а также огромный ущерб популяциям гидробионтов как водохранилища, так и нижнего течения Днепра (Станичный и др., 2023; Шинкаренко, Барталев, 2023). Тем не менее уже во второй половине лета на обсыхающем ложе Каховского водохранилища отмечались процессы зарастания растительностью (см. *рис. 1б*), например тростником, рогозом, осоками, марью, схеноплектусом и другими травянистыми растениями, а также кустарниковой ивой (Dovganenko et al., 2024).

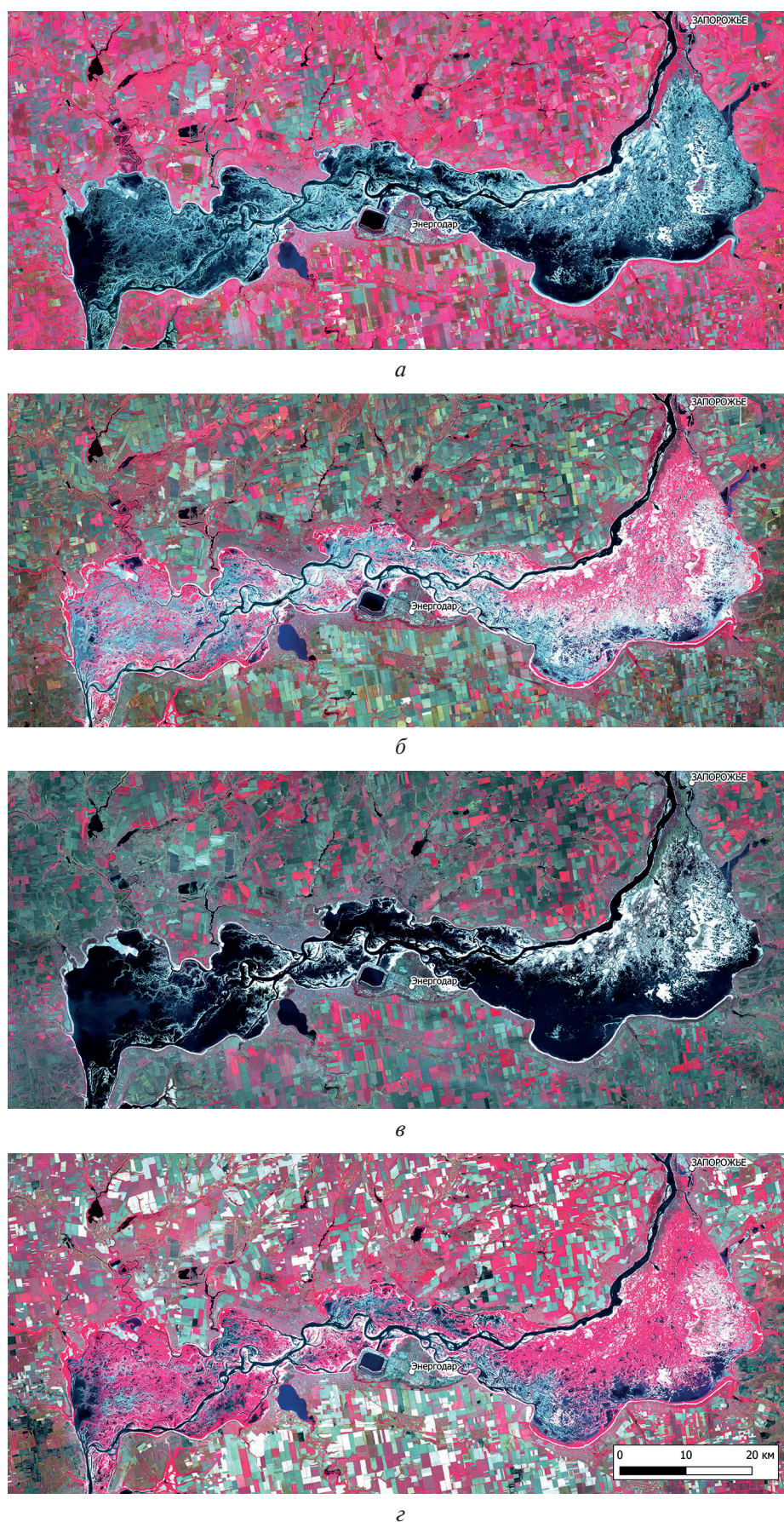


Рис. 1. Спутниковые изображения северной части ложа Каховского водохранилища (синтез NIR-Red-Green): *а* — 23.06.2023; *б* — 23.09.2023; *в* — 01.04.2024; *г* — 15.07.2024

Весной 2024 г. отмечено увеличение площади водной поверхности в ложе водохранилища (см. *рис. 1в*), что может свидетельствовать о возвращении территории к пойменному режиму. Однако ряд исследователей считает, что основной причиной выхода воды на пойму на бывшем дне водохранилища является не только повышенный сброс воды каскадом ГЭС выше по течению реки Днепра, но и подпор, который создают остатки плотины Каховской ГЭС (Dovganenko et al., 2024). В 2024 г. продолжилось восстановление растительности на дне обсыхающего ложа Каховского водохранилища (см. *рис. 1г*), что создаёт предпосылки для закрепления донных отложений и фиксации в них загрязняющих веществ, в том числе радионуклидов стронция и цезия (Лазоренко, Поликарпов, 1990).

Цель исследования заключается в оценке процессов зарастания растительностью обсыхающего ложа Каховского водохранилища в 2023 и 2024 гг. по спутниковым данным после разрушения плотины ГЭС. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса достаточно широко применяются в исследованиях водохранилищ (Курбатова, 2021; Шинкаренко и др., 2021), а также различных экстремальных гидрологических событий (Воронова и др., 2020; Дубина и др., 2018; Шинкаренко и др., 2024), в том числе связанных с повреждениями и разрушениями гидротехнических сооружений (Константинова и др., 2020; Станичный и др., 2023; Терехов и др., 2020; Шинкаренко, Барталев, 2023; Zuo et al., 2024).

Исследование основывается на данных информационного продукта HLS (*англ.* Harmonized Landsat and Sentinel-2) (Claverie et al., 2018) пространственного разрешения 30 м. Указанные спутниковые изображения проходят процедуры коррекции атмосферных искажений, радиометрической калибровки и нормализации для приведения к значениям коэффициентов спектральной яркости, получаемым по данным спутников Landsat. Данные разбиваются на тайлы, принятые для хранения изображений, получаемых системой Sentinel-2. В работе использовались два тайла T36TXX и T36TWT, которые покрывают более 95 % проектной площади Каховского водохранилища (выше по течению створа посёлка Змиевка-Васильевка). На основе данных HLS были рассчитаны индексы NDWI (*англ.* Normalized Difference Water Index) для картографирования водной поверхности и NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index) для анализа состояния растительности. К водной поверхности относились пиксели с положительными значениями NDWI. Остальная территория разделялась по градациям индекса NDVI: значениям менее 0,2 соответствуют участки открытых грунтов и очень редкой растительности, в том числе нефотосинтезирующей. Пороговое значение NDVI 0,2 для выделения лишённых растительности участков достаточно широко используется в исследованиях ландшафтов (Kimura et al., 2024). Более высокие значения NDVI, соответствующие вегетирующей фитомассе, были разбиты на четыре диапазона индекса для выделения территорий с разной степенью развития растительности: 0,2–0,4; 0,4–0,6; 0,6–0,8; 0,8–1,0 (*рис. 2*, см. с. 329). Также анализировалась высота растительности по данным информационного продукта ATL08 (*англ.* Along-Track Product), основанного на результатах лазерного сканирования прибором ATLAS (*англ.* Advanced Topographic Altimeter System), установленным на спутнике ICESat-2 (*англ.* Ice, Cloud, and land Elevation Satellite-2) и предоставляющим данные трассовых измерений высоты растительного покрова в полосах 100×14 м (Neuenschwander et al., 2021). Указанные данные могут быть представлены в виде сегментов шириной 14 м и длиной 20 м (Neuenschwander et al., 2022), способных обеспечить достаточно высокую пространственную детальность измерений высоты. Использовалась максимальная высота (98-й перцентиль) в каждом сегменте сканирования 14×20 м. Расположение сегментов ATL08 в период максимального развития растительности в июле и августе 2024 г. показано на *рис. 3а* (см. с. 330). Обработка спутниковых данных производилась с использованием сервиса «Bera-Science» (Loupian et al., 2022) и инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015).

После спуска Каховского водохранилища его обсыхающее ложе начало достаточно стремительно зарастать растительностью. Доля площади занятой открытыми грунтами ($NDVI < 0,2$) снизилась с 80 % на начало июля до 22 % к концу октября 2023 г. В течение вегетационного сезона 2024 г. после схода пойменных вод площадь дна водохранилища с NDVI менее 0,2 держалась на уровне 10–12 % (см. *рис. 2б*).

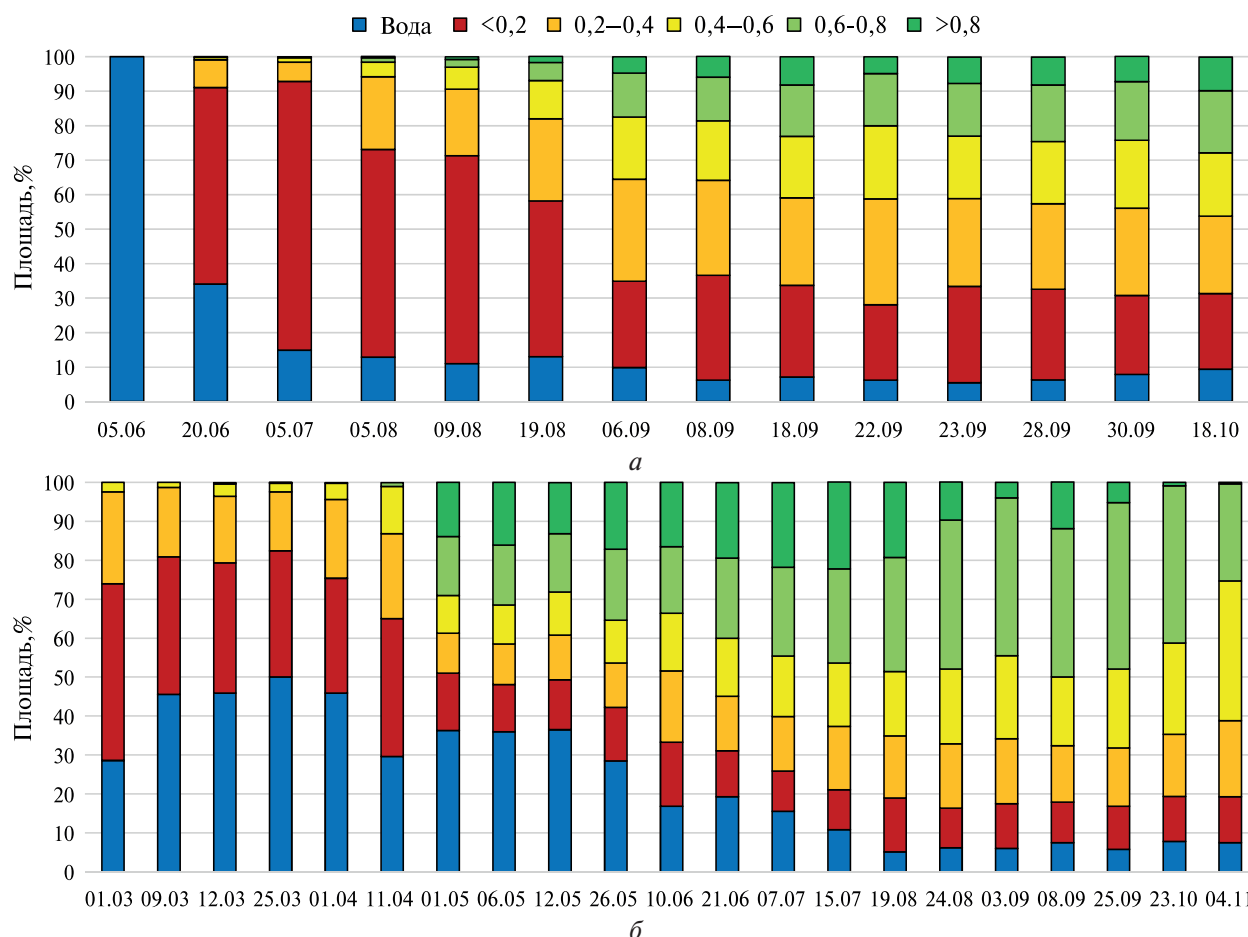
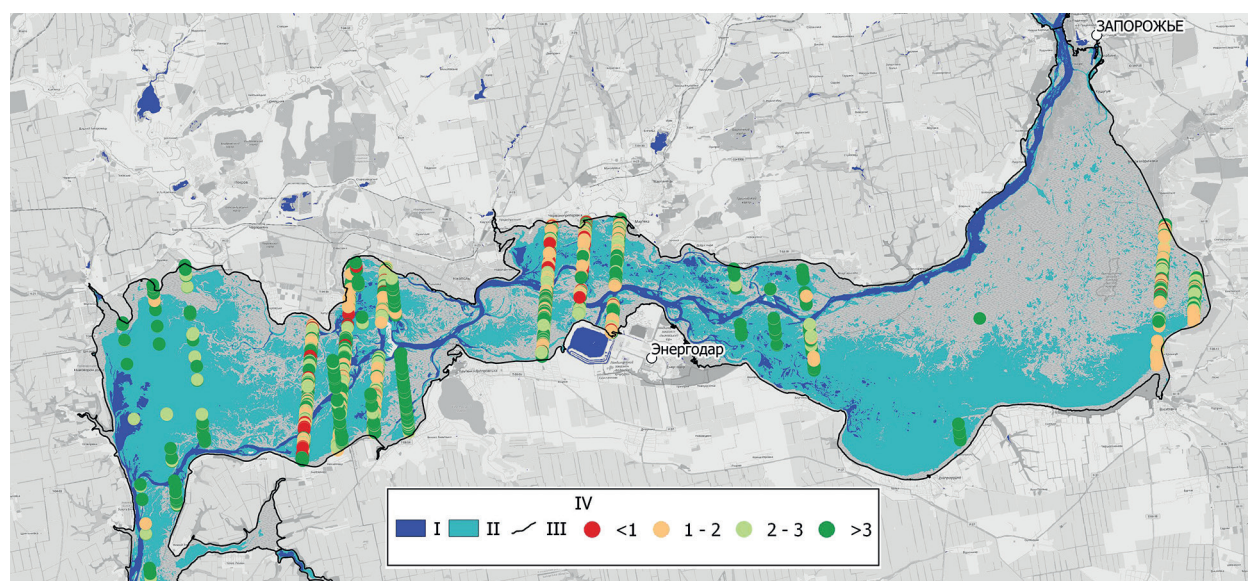


Рис. 2. Динамика площади водной поверхности и территорий с различными значениями NDVI на дне ложа Каховского водохранилища: а — 2023 г.; б — 2024 г.

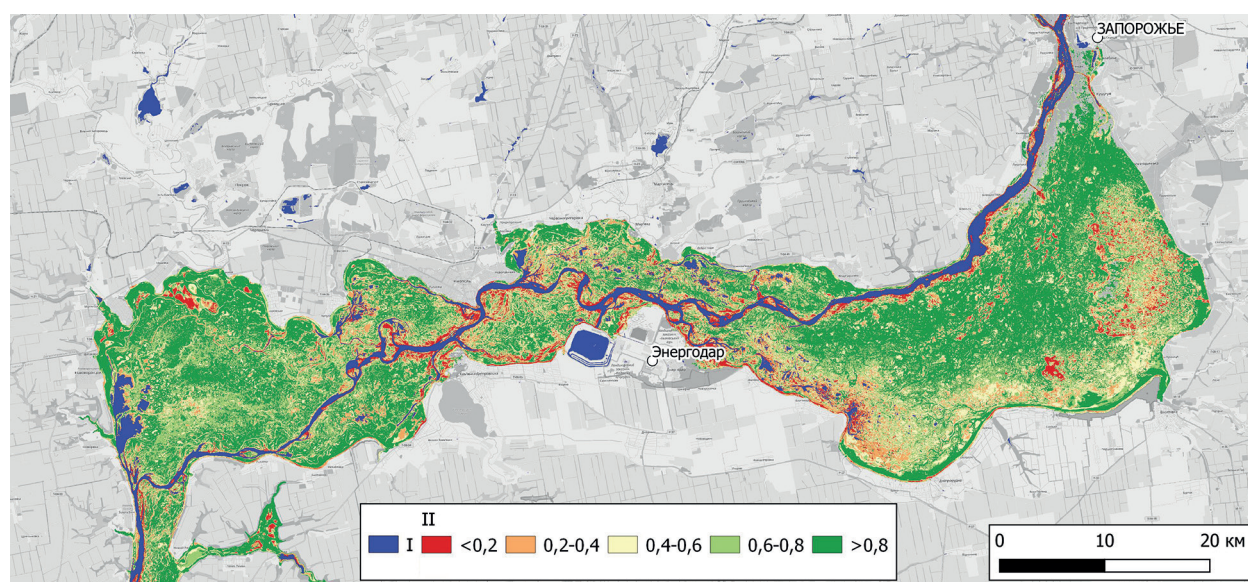
При анализе максимальных значений NDVI за 2024 г. выявлено, что только 4 % площади дна водохранилища могли быть отнесены к открытым грунтам, значительная часть которых представлена пляжами и высохшими лиманами, которые не затапливались весной (см. рис. 3). Таким образом, на большей части обсыхающего ложа Каховского водохранилища отмечаются восстановительные сукцессии растительности, что существенно снижает угрозу развития дефляционных процессов и выноса ветром донных отложений. Пылевые облака, которые фиксировались в районе водохранилища в конце сентября и начале октября 2024 г., не связаны с выносом материала с его дна, а вызваны пыльными бурями в Ростовской и Волгоградской областях, Республике Калмыкия и Ставропольском крае (Шинкаренко, Барталев, 2024).

В апреле и мае 2024 г. наблюдался повышенный уровень воды, сопровождавшийся частичным затоплением поверхности ложа водохранилища. Наибольшая площадь водной поверхности была зафиксирована 25 марта 2024 г., её величина составила около 52 тыс. га или четверть от проектной площади при нормальном подпорном уровне. В течении Днепра ниже плотины Каховской ГЭС не зафиксировано столь существенного увеличения уровня и выхода воды на пойму, что может быть связано с большой ролью подпора сохранившейся дамбы при прохождении половодья через дно бывшего водохранилища (Dovganenko et al., 2024). В летне-осеннюю межень 2023 и 2024 гг. площадь русла, рукавов и озёр на дне бывшего водохранилища не превышала 8–10 тыс. га или менее 5 % проектной площади (см. рис. 2, 3).

В 2024 г. существенно увеличились площади растительности с NDVI более 0,6, что соответствует достаточно обильной фитомассе. В 2023 г. доля дна водохранилища с такими значениями NDVI не превышала 30 % в середине октября, в то время как в 2024 г. в первой половине сентября половина площади характеризовалась значениями NDVI более 0,6 (см. рис. 2).



а



б

Рис. 3. Максимальная площадь водной поверхности (а, I — постоянные водоёмы; II — максимальная площадь водной поверхности; III — границы водохранилища до разрушения плотины Каховской ГЭС; IV — высота по данным ATL08 в июле и августе 2024 г. (в м) и максимальные значения NDVI (б, I — постоянные водоёмы, II — значения NDVI) в 2024 г.

Такой высокий NDVI характерен для высокостебельной околотовной растительности, в том числе многолетних видов: рогоза, тростника, осок и др. Анализ распределения высоты растительности по сегментам ATL08 подтверждает это (рис. 4, см. с. 331). Летом 2024 г. существенно выросла доля растительности с высотой более 2–3 м, что характерно для тростниковых сообществ (Eller et al., 2020), либо зарослей быстрорастущих кустарниковых видов ивы, подроста тополя и ивы белой (Dovganenko et al., 2024).

Дно Каховского водохранилища обнажилось впервые после постройки Каховской ГЭС, теперь здесь возможен пойменный режим с периодическим заливанием при половодьях. При этом в верхнем бьефе бывшего водохранилища за счёт подпора дамбой Каховской ГЭС площади затоплений значительно больше, чем в нижнем. В 2024 г. не более 10–12 % площади обсыхающего ложа водохранилища характеризовались значениями NDVI менее 0,2, что

соответствует открытым почвам и грунтам, а также очень редкой или нефотосинтезирующей растительности. К началу осени 2024 г. половина площади дна водохранилища была занята территориями с NDVI более 0,6, что соответствует околотовной высокопродуктивной растительности, например сообществам тростника и рогоза. По данным спутниковых лидарных измерений более половины всех сегментов сканирования, которые пришлись на территорию обсыхающего дна водохранилища, зафиксировали максимальную высоту растительности более 2–3 м, что характерно для тростников, быстрорастущих видов кустарниковых ив, подраста ивы белой или тополя. Таким образом, бурное развитие растительности на дне обсыхающего ложа Каховского водохранилища может препятствовать развитию процессов дефляции и выноса ветром его донных отложений.

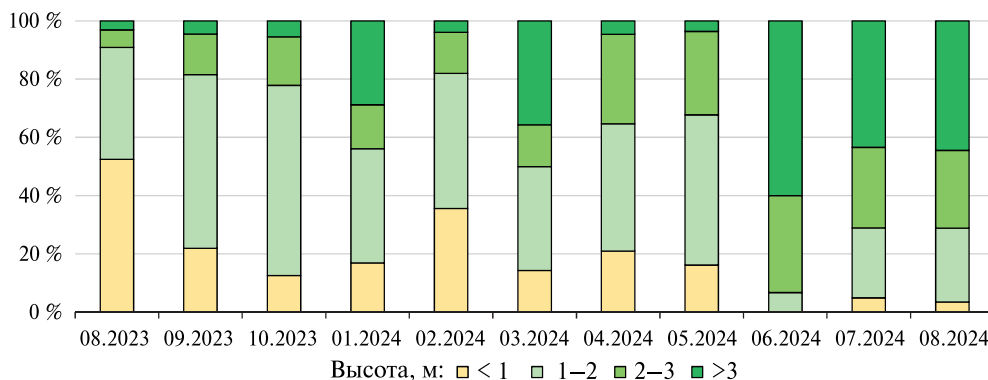


Рис. 4. Распределение сегментов ATL08 в границах Каховского водохранилища по максимальной высоте в 2023–2024 гг.

Работа выполнена в рамках темы ИКИ РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8) с использованием сервиса «Вега-Science» и инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг».

Литература

1. Воронова А. Е., Рублев И. В., Соловьева И. А. и др. Спутниковый мониторинг экстремального наводнения в Иркутской области 2019 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 263–266. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-263-266.
2. Дубина 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.
3. Константинова А. М., Луян Е. А. Анализ последствий прорыва дамбы Сардобинского водохранилища 1 мая 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 261–266. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-261-266.
4. Курбатова И. Е. Спутниковый мониторинг экологической катастрофы на Краснодарском водохранилище летом 2020 г. и её природные и антропогенные предпосылки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 5. С. 328–334. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-328-334.
5. Лазоренко Г. Е., Поликарпов Г. Г. Способность донных отложений Каховского водохранилища к связыванию радионуклидов стронция и цезия // Докл. Акад. наук Украинской ССР. Сер. Б: Геолог., хим. и биол. науки. 1990. № 8. С. 64–67.
6. Луян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Балашов И. В., Бартаев С. А., Ефремов В. Ю., Кашницкий А. В., Мазуров А. А., Матвеев А. М., Суднева О. А., Сычугуев И. Г., Толпин В. А., Уваров И. А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
7. Станичный С. В., Станичная Р. Р., Кубряков А. А. Многоспектральные спутниковые данные для мониторинга процессов после разрушения плотины Каховского водохранилища 6 июня 2023 года

- // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 307–313. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-307-313.
8. Терехов А. Г., Абаев Н. Н., Лагутин Е. И. Спутниковый мониторинг Сардобинского водохранилища в бассейне реки Сырдарьи (Узбекистан) до и после прорыва дамбы 1 мая 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 255–260. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-255-260.
 9. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. Последствия повреждения плотины Каховской ГЭС на реке Днепр // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 314–322. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-314-322.
 10. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. Пыльные бури на юге европейской части России осенью 2024 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 6. С. 375–382. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-375-382.
 11. Шинкаренко С. С., Солодовников Д. А., Барталев С. А. Гидрологическая ситуация на водохранилищах юга европейской части России в 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 1. С. 248–254. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-248-254.
 12. Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Лупян Е. А. Мониторинг последствий наводнения в Оренбургской области при половодье на реке Урал в 2024 году // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 3. С. 339–347. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-339-347.
 13. Claverie M., Ju J., Masek J. G. et al. The Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set // Remote Sensing of Environment. 2018. V. 219. P. 145–161. DOI: 10.1016/j.rse.2018.09.002.
 14. Dovganenko D. O., Yakovenko V. M., Brygadyrenko V. V., Boyko O. O. Characteristic of the dried-up zone formed as a result of the breach of the Kahovka dam // Biosystems Diversity. 2024. V. 32. No. 2. P. 285–295. DOI: 10.15421/012431.
 15. Eller F., Guo X., Ye S. et al. Suitability of Wild Phragmites australis as bio-resource: Tissue quality and morphology of populations from three continents // Resources. 2020. V. 9. No. 12. Article 143. DOI: 10.3390/resources9120143.
 16. Kimura R., Liu J., Ganzorig U., Moriyama M. Development of a simple observation system to monitor regional wind erosion // Remote Sensing. 2024. V. 16. No. 17. Article 3331. DOI: 10.3390/rs16173331.
 17. Loupian E., Burtsev M., Proshin A. et al. Usage experience and capabilities of the VEGA-Science system // Remote Sensing. 2022. V. 14. No. 1. Article 77. DOI: 10.3390/rs14010077.
 18. Neuenschwander A. L., Pitts K. L., Jelley B. P. et al. ATLAS/ICESat-2 L3A Land and Vegetation Height, Version 5. Boulder, Colorado USA: NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center, 2021. DOI: 10.5067/ATLAS/ATL08.005.
 19. Neuenschwander A., Pitts K., Jelley B. et al. Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite (ICESat-2) Project Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for Land — Vegetation Along-Track Products (ATL08). Version 6. ICESat-2 Project, 2022. DOI: 10.5067/8ANPSL1NN7YS.
 20. Zuo Ch., Zhang H., Ma X., Gong W. Impact assessment of flood events based on multisource satellite remote sensing: The case of Kahovka Dam // IEEE J. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2024. V. 17. P. 20164–20176. DOI: 10.1109/JSTARS.2024.3490756.

Monitoring the condition of the dried-up zone of the Kakhovka Reservoir in 2023–2024

S. S. Shinkarenko, S. A. Bartalev, M. A. Bogodukhov, V. O. Zharko

*Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia
E-mail: shinkarenko@d902.iki.rssi.ru*

In early June 2023, a partial collapse occurred at the Kakhovka Hydroelectric Power Plant (HPP) dam on the Dnieper River in Zaporozhya Region. As a result, the Kakhovka Reservoir ceased to exist, raising concerns about the potential release of its contaminated sediment. However, by September 2023 a significant portion of the drying reservoir bed had become vegetated. This brief report focuses on the analysis of vegetation recovery in the dried-up zone of the Kakhovka Reservoir using 2023 and 2024 satellite data from Landsat-8, -9 and Sentinel-2. In the spring of 2024, floodplain processes were

observed at the bottom of the reservoir, characterized by the inundation of approximately 50 % of its area in March. This phenomenon can be attributed not only to the increased flow of the Dnieper River during the spring season and water discharges from upstream hydroelectric cascades but also to the backwater effect caused by the remaining Kakhovka HPP dam. By the end of August 2024, the proportion of the dried-up zone represented by bare soils and non-photosynthesizing vegetation (NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) < 0.2) did not exceed 10–12 %, while areas with highly productive vegetation and NDVI greater than 0.6 accounted for at least half of the total area. Such NDVI values are characteristic of tall herbaceous riparian vegetation, including reeds and bulrushes, as well as fast-growing species of shrub willows and young poplars. This is corroborated by ICESat-2 (Ice, Cloud, and land Elevation Satellite-2) lidar data which indicated that over half of the scanning segments (20×14 m) recorded maximum vegetation heights of 2–3 meters or more during the summer of 2024. Thus, the restoration of vegetation in the dried-up zone of the Kakhovka Reservoir creates conditions conducive to stabilizing its sediments and mitigating the release of associated pollutants.

Keywords: Dnieper, Kakhovka Reservoir, flooding, hydrology, remote sensing, Zaporozhye Region, Kherson Region

Accepted: 13.02.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-326-334

References

1. Voronova A. E., Rublev I. V., Solov'eva I. A. et al., Satellite observation of extreme flooding in the Irkutsk Region in 2019, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, V. 17, No. 1, pp. 263–266 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-263-266.
2. Dubina V. A., Shamov V. V., Plotnikov V. V., Disastrous flood in August 2018 in Primorye (south Pacific Russia), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, V. 15, No. 5, pp. 253–256 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-253-256.
3. Konstantinova A. M., Loupian E. A., Analysis of the consequences of the dam failure of the Sardoba Reservoir on May 1, 2020, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, V. 17, No. 3, pp. 261–266 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-261-266.
4. Kurbatova I. E., Satellite monitoring of the ecological disaster at the Krasnodar Reservoir in the summer of 2020 and its natural and anthropogenic prerequisites, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, V. 18, No. 5, pp. 328–334 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-328-334.
5. Lazorenko G. E., Polikarpov G. G., The ability of Kakhovka reservoir bottom sediments to bind strontium and cesium radionuclides, *Doklady Akademii nauk Ukrainsskoi SSR. Ser. B: Geologicheskies, khimicheskies i biologicheskies nauki*, 1990, No. 8, pp. 64–67 (in Russian).
6. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A., Balashov I. V., Bartalev S. A., Efremov V. Yu., Kashnitskiy A. V., Mazurov A. A., Matveev A. M., Sudneva O. A., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, V. 12, No. 5, pp. 263–284 (in Russian).
7. Stanichny S. V., Stanichnaya R. R., Kubryakov A. A., Multispectral satellite data for monitoring processes after the destruction of Kakhovka Reservoir dam on 6 June 2023, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, V. 20, No. 3, pp. 307–313 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-307-313.
8. Terekhov A. G., Abaev N. N., Lagutin E. I., Satellite monitoring of the Sardoba Reservoir in Syr Darya River basin (Uzbekistan) before and after a dam collapses on May 1, 2020, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, V. 17, No. 3, pp. 255–260 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-255-260.
9. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., The consequences of damage to the Kakhovka Reservoir dam on the Dnieper River, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, V. 20, No. 3, pp. 314–322 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-314-322.
10. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Dust storms in the south of the European part of Russia in autumn 2024, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 6, pp. 375–382 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-375-382.
11. Shinkarenko S. S., Solodovnikov D. A., Bartalev S. A., Hydrological situation in the reservoirs in the south of the European part of Russia in 2020, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, V. 18, No. 1, pp. 248–254 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-248-254.

12. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Loupian E. A., Monitoring the consequences of flooding in Orenburg Region during spring flood on the Ural River in 2024, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 3, pp. 339–347 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-339-347.
13. Claverie M., Ju J., Masek J. G. et al., The Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set, *Remote Sensing of Environment*, 2018, V. 219, pp. 145–161, DOI: 10.1016/j.rse.2018.09.002.
14. Dovganenko D. O., Yakovenko V. M., Brygadyrenko V. V., Boyko O. O., Characteristic of the dried-up zone formed as a result of the breach of the Kahovka dam, *Biosystems Diversity*, 2024, V. 32, No. 2, pp. 285–295, DOI: 10.15421/012431.
15. Eller F., Guo X., Ye S. et al., Suitability of wild *Phragmites australis* as bio-resource: Tissue quality and morphology of populations from three continents, *Resources*, 2020, V. 9, No. 12, Article 143, DOI: 10.3390/resources9120143.
16. Kimura R., Liu J., Ganzorig U., Moriyama M., Development of a simple observation system to monitor regional wind erosion, *Remote Sensing*, 2024, V. 16, No. 17, Article 3331, DOI: 10.3390/rs16173331.
17. Loupian E., Burtsev M., Proshin A. et al., Usage experience and capabilities of the VEGA-Science system, *Remote Sensing*, 2022, V. 14, No. 1, Article 77, DOI: 10.3390/rs14010077.
18. Neuenschwander A. L., Pitts K. L., Jelley B. P. et al., *ATLAS/ICESat-2 L3A Land and Vegetation Height, Version 5*, Boulder, Colorado USA: NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center, 2021, DOI: 10.5067/ATLAS/ATL08.005
19. Neuenschwander A., Pitts K., Jelley B. et al., *Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite (ICESat-2) Project Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for Land — Vegetation Along-Track Products (ATL08). Version 6*, ICESat-2 Project, 2022, DOI: 10.5067/8ANPSL1NN7YS.
20. Zuo Ch., Zhang H., Ma X., Gong W., Impact assessment of flood events based on multisource satellite remote sensing: The case of Kahovka Dam, *IEEE J. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2024, V. 17, pp. 20164–20176, DOI: 10.1109/JSTARS.2024.3490756.