

Динамика площади и объема Чернореченского водохранилища (Севастополь)

А. А. Алескерова^{1*}, П. Н. Лишаев¹, Н. В. Василенко¹,
А. А. Кубряков¹, С. В. Станичный¹, М. Г. Гречушникова²

¹ Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

² Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

* e-mail: annete08@mail.ru

Аннотация

Цель исследования – количественная оценка динамики площади и объема Чернореченского водохранилища (основного источника водоснабжения Севастополя). На основе анализа оптических спутниковых данных *Sentinel-2* (164 снимка) с пространственным разрешением 10 м за 2015–2026 гг. разработан и протестирован автоматический алгоритм определения площади водной поверхности на основе нормализованного разностного водного индекса с адаптивными пороговыми значениями для различных сезонов. Полученные данные о площади водного зеркала интегрированы с батиметрической моделью для расчета объема водохранилища. Результаты сопоставлены с данными реанализа осадков *MERRA-2*. Установлено, что минимальные значения объема водохранилища наблюдались в январе 2021 г. (7.4 млн м³ при площади 178.1 га) после маловодного 2020 года, а также в сентябре 2025 г. Максимальный объем за исследуемый период не превышал 45.7 млн м³, что на 23 % меньше проектного полезного объема. Выявлена положительная корреляция между количеством осадков и площадью водохранилища с учетом инерционности гидрологической системы. Разработанная методика может быть использована для мониторинга других водохранилищ региона.

Ключевые слова: Чернореченское водохранилище, спутниковый мониторинг, *Sentinel-2*, *NDWI*, батиметрия, объем водохранилища, площадь водного зеркала, Крым

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме FNNN-2024-0012 «Анализ, диагноз и оперативный прогноз состояния гидрофизических и гидрохимических полей морских акваторий на основе математического моделирования с использованием данных дистанционных и контактных методов измерений».

Для цитирования: Алескерова А. А., Лишаев П. Н., Василенко Н. В., Кубряков А. А. и др. Динамика площади и объема Чернореченского водохранилища (Севастополь) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2026. № 2. С. 43–56. EDN JNUHPE.

© Алескерова А. А., Лишаев П. Н., Василенко Н. В., Кубряков А. А.,
Станичный С. В., Гречушникова М. Г., 2026



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Dynamics of the Area and Volume of the Chernorechenskoe Reservoir (Sevastopol)

A. A. Aleskerova^{1*}, P. N. Lishaev¹, N. V. Vasilenko¹,
A. A. Kubryakov¹, S. V. Stanichny¹, M. G. Grechushnikova²

¹ Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

* e-mail: annete08@mail.ru

Abstract

The article aims to quantify the dynamics of the area and volume of the Chernorechenskoye Reservoir (the main water supply of Sevastopol). The study relies on a comprehensive analysis of Sentinel-2 optical satellite data (164 images) with a spatial resolution of 10 m for 2015–2026 to develop and test an automatic algorithm for determining the water surface area, based on a normalized difference water index with adaptive threshold values for different seasons. The obtained water surface areas are integrated with a bathymetric model to calculate the reservoir volume. The obtained results are compared with MERRA-2 precipitation reanalysis data. The minimum values of the reservoir volume were observed in January 2021 (7.4 million m³ with an area of 178.1 hectares) after the low-water year of 2020, and also in September 2025. The maximum volume during the study period did not exceed 45.7 million cubic meters, which is 23% less than the design usable volume. A positive correlation was found between the precipitation amount and reservoir area, taking into account the inertia of the hydrological system. The developed methodology can be used to monitor other reservoirs in the region.

Keywords: Chernorechenskoye Reservoir, satellite monitoring, Sentinel-2, NDWI, bathymetry, reservoir volume, water surface area, Crimea

Acknowledgments: This study was conducted under state assignment of MHI RAS FNNN-2024-0012 “Analysis, diagnosis and real-time forecast of the state of hydrophysical and hydrochemical fields of marine water areas based on mathematical modelling using data from remote and *in situ* methods of measurements”.

For citation: Aleskerova, A.A., Lishaev, P.N., Vasilenko, N.V., Kubryakov, A.A., Stanichny, S.V. and Grechushnikova, M.G., 2026. Dynamics of the Area and Volume of the Chernorechenskoe Reservoir (Sevastopol). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 43–56.

Введение

Чернореченское водохранилище расположено в юго-западной части Крымского п-ова на р. Черной в пределах заказника «Байдарский» и является самым крупным в Крыму по полному и полезному объему. Оно было введено в эксплуатацию в 1956 г. для водохозяйственного обеспечения Севастополя [1, 2]. Чернореченское водохранилище пополняется за счет естественного стока р. Черной [3] и имеет смешанный тип питания с преобладанием снего-дождевого и подземного речного питания [2, 4]. В условиях зарегулированности стока Чернореченским водохранилищем паводки на р. Черной способны существенно влиять на экологическое состояние приустьевой акватории б. Севастопольской, вызывать распреснение поверхностного слоя воды, а также способствовать выносу загрязняющих веществ [5].

Чернореченское водохранилище является ключевым источником водоснабжения населения Севастополя [6, 7] и обеспечивает до 70 % водопотребления. Полный объем водохранилища, по литературным данным, составляет 64.2 млн м³, а полезный – 61.2 млн м³ [8]. Ежегодный расход ¹⁾ на водоснабжение только населения города составляет 19–20 млн м³.

Для стабильного водоснабжения города необходимо обеспечивать поставку 120 тыс. м³ воды в сутки, причем в летний сезон этот объем возрастает до 150–160 тыс. м³ [7].

В последние годы численность населения Севастополя увеличивается [9], вместе с тем растет и нагрузка на систему водообеспечения. При этом для региона существует угроза дефицита воды в силу ряда причин. В первую очередь такая ситуация связана с недостаточно эффективным использованием ресурсного потенциала, а именно с потерей руслового стока р. Черной, заилением водохранилища (около 1.9 см в год), а также транспортными потерями в связи с устареванием гидротехнических сооружений [3, 8, 10–12]. Кроме этого, особенностью региона является зависимость водоснабжения от климатических условий: в маловодные годы на Крымском п-ове возникают локальные дефициты питьевой и хозяйственно-бытовой воды [13].

В прошлые годы уже наблюдались критические обмеления Чернореченского водохранилища. Так, в 1994 г. площадь водного зеркала водохранилища сократилась до экстремального значения 50.8 га (по данным *Landsat* от 22.08.1994) [14], а в декабре 2014 г. – до 180 га [15]. В 2020 г. вследствие рекордно низкого годового количества осадков также наблюдались засушливые условия, что привело к заметному сокращению площади водного зеркала [16].

Для эффективного управления ресурсным потенциалом и его прогнозирования в условиях климатических изменений и увеличения нагрузки на водопотребление необходимо проводить систематическую оценку морфометрических характеристик водохранилища (объема и площади водного зеркала). Регулируемый сток Чернореченского водохранилища позволяет при угрозе сильных паводков проводить контролируемые пуски в русло р. Черной. Поскольку река впадает в б. Севастопольскую, данные мероприятия напрямую определяют гидрологические характеристики приустьевой акватории бухты, особенно в засушливые периоды и сезоны паводков. Так, в работе [5] показано, что при аварийном сбросе из водохранилища в январе 2024 г. поверхностный слой воды значительной части устьевого взморья был распреснен от 2 до 17 %.

Спутниковые данные высокого пространственного разрешения с применением нормализованного разностного водного индекса (*Normalized Difference Water Index, NDWI*) позволяют эффективно проводить мониторинг изменения площади водного зеркала водных объектов [17–20]. Ранее в работах [14, 15] был проведен анализ изменчивости площадей крымских водохранилищ, в том числе Чернореченского, до 2021 г. на основе спутниковых измерений с пространственным разрешением 30 м. В настоящей работе представлен подход к оперативной оценке площади водной поверхности и расчетного объема водного объекта с применением автоматизированных алгоритмов обработки

¹⁾ URL: <https://sevodokanal.org.ru/pages/programma> (дата обращения: 13.05.2026).

спутниковых данных высокого пространственного разрешения *Sentinel-2* (10 м) и данных батиметрии.

Целью работы является количественная оценка морфометрических характеристик Чернореченского водохранилища и анализ их многолетней динамики.

Материалы и методы

Использованы оптические спутниковые данные *MSI Sentinel-2* с пространственным разрешением 10 м (с 2015 г. по настоящее время). Функционируют три спутника: *Sentinel-2A*, *Sentinel-2B* и *Sentinel-2C*, запущенные в 2015, 2017 и 2024 гг. соответственно. Номинальный период повторной съемки для одного аппарата составляет 10 сут. При совместной работе двух спутников этот интервал сокращается до 5 сут, а группировка из трех аппаратов обеспечивает возможность получения последовательных ежесуточных снимков исследуемой территории.

Данные были получены на портале *Copernicus Data Space Ecosystem Browser* (URL: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>). Всего за исследуемый период было обработано 164 безоблачных снимка. Таким образом, ежегодное количество получаемых снимков варьируется от 5 в 2015–2016 гг. до 23 в 2025 г. Такой архив данных позволил проанализировать сезонную и межгодовую динамику изменения площади и объема водохранилища. Количество снимков за исследуемый период распределялось следующим образом:

Янв. 7	Май 10	Сент. 23
Февр. ... 8	Июнь 13	Окт. 15
Март 7	Июль 21	Нояб. ... 12
Апр. 20	Авг. 26	Дек. 2

Границы Чернореченского водохранилища выделены на основе *NDWI* [18] с использованием спектральных каналов в зеленой (*B03*, ~ 560 нм) и ближней инфракрасной (*B08*, ~ 842 нм) областях:

$$NDWI = (B03 - B08) / (B03 + B08).$$

Данная комбинация каналов эффективно усиливает контраст между водными объектами, характеризующимися высоким отражением в зеленом диапазоне и сильным поглощением в ближнем ИК-диапазоне, и прочими типами земной поверхности. Ключевой особенностью разработанного алгоритма является использование адаптивных пороговых значений *NDWI*, учитывающих сезонные изменения состояния водной поверхности и прибрежной растительности, для различных месяцев года. Подход с использованием единого порогового значения может приводить к систематическим ошибкам в расчетах: в зимние месяцы – к завышению площади из-за влияния снежного покрова и льда, в летние – к ее занижению из-за повышенной мутности воды. Пороговые значения яркости ($R_{\text{крит}}$) для водной маски подбирали эмпирически из расчета среднего значения для каждого месяца. Выполняли два пространственных разреза через зону перехода вода – суша в характерных участках акватории. По профилям яркости анализировали характер изменения значений: на границе раздела сред фиксировали резкий скачок яркости, что позволяло однозначно идентифицировать пороговое значение для разграничения

водной поверхности и суши. Итоговое пороговое значение принимали как среднее по результатам нескольких разрезов для данного месяца.

Таким образом, значения $R_{\text{крит}}$ составили:

$$R_{\text{крит}} = [0.15; 0.09; 0.08; 0.06; 0.05; 0.01; 0.05; 0.05; 0.05; 0.05; 0.05].$$

Затем количество пикселей, идентифицированных как зона воды, было пересчитано в единицы площади (га). При разрешении 10 м каждый пиксель на границе водохранилища может относиться как к воде, так и к суше. Относительная погрешность может составлять 3–7 % от максимальной площади (≈ 600 га).

Объем водохранилища рассчитывали на основе совместного анализа батиметрических данных, полученных в ходе экспедиционных исследований [8], и маски водной поверхности, полученной из спутниковых снимков. Для каждого снимка бинарная маска водной поверхности накладывалась на батиметрическую сетку, что позволяло выделить глубины только в пределах акватории. По данным промеров, максимальные глубины в водохранилище достигают 28 м. Значения глубины, соответствующие суше, отфильтровывали для исключения их из расчета. Для каждого случая определяли минимальную глубину в водохранилище, которую принимали за условный нулевой уровень.

Для анализа влияния осадков на объем водной массы Чернореченского водохранилища использовали данные глобального атмосферного реанализа *MERRA-2 (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2)*, полученные на портале *GIOVANNI (Geospatial Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure)* (URL: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>). Пространственное разрешение данных *MERRA-2* составляет 0.5° по широте и 0.625° по долготе (примерно 50 км). В настоящей работе использованы почасовые данные об осадках, которые впоследствии осредняли до среднемесячных значений. Учет количества выпавших осадков вели в пределах водосборного бассейна Чернореченского водохранилища, включающего в себя склоны горы Ай-Петри и Байдарскую долину [2]. Пространственные рамки участка заданы прямоугольником с угловыми координатами: $44^\circ 25'$ с. ш., $33^\circ 42'$ в. д. и $44^\circ 33'$ с. ш., $33^\circ 58'$ в. д.

Результаты и обсуждение

На основе разработанного алгоритма получены временные ряды площади водного зеркала Чернореченского водохранилища с 2015 г. по настоящее время. Анализ полученных данных выявил значительную межгодовую и сезонную изменчивость площади водохранилища.

Полученные контуры водного зеркала водохранилища сопоставляли с данными в более высоком разрешении, доступными в *Google Earth* (до 0.3 м). Для этого на спутниковое изображение *Maxar (WorldView)* от 08.04.2020 были наложены контуры водного зеркала водохранилища (рис. 1), полученные по данным *Sentinel-2* за наиболее близкую дату (11.04.2020). В результате, несмотря на значительную разницу в пространственном разрешении сравниваемых снимков (10 и 0.3 м), обуславливающую отсутствие детализации некоторых зон, границы водного зеркала, полученные по данным *Sentinel-2*, почти полностью соответствуют опорному изображению.

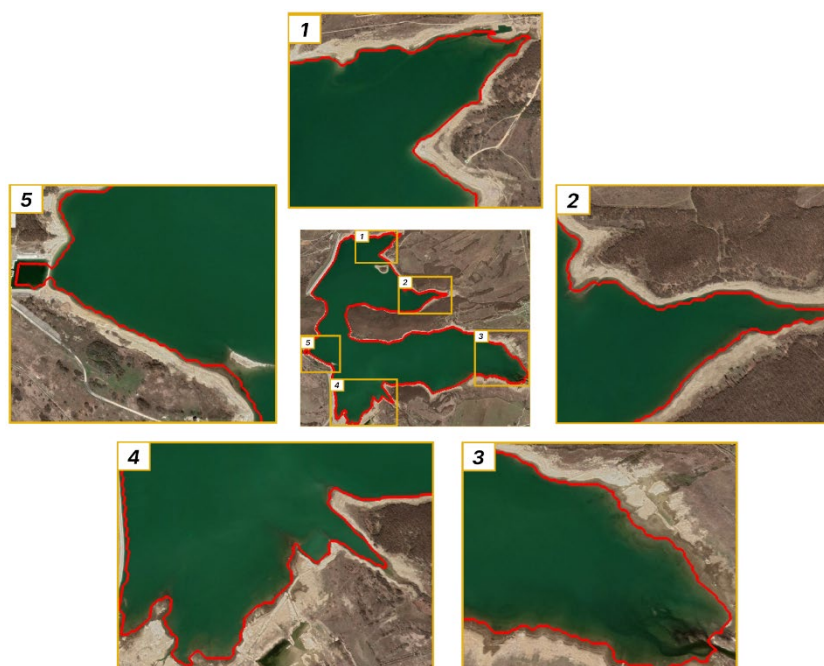


Рис. 1. Спутниковое изображение *Maxar* от 08.04.2020 с наложенным контуром водного зеркала водохранилища (красная линия), по данным *Sentinel-2* от 11.04.2020

Fig. 1. A *Maxar* satellite image of 08 April 2020 with an overlay of the reservoir water body contour (red line) derived from *Sentinel-2* data of 11 April 2020

Анализ спутниковых данных показал, что в среднем за весь исследуемый период минимальные площади водного зеркала наблюдались с сентября по ноябрь после засушливого летнего сезона. Далее после периода паводков (ноябрь – декабрь) отмечалось постепенное наполнение и восстановление площади в январе – феврале. На рис. 2 для примера представлены границы уреза воды водохранилища и изменчивость площади его водного зеркала в январе (рис. 2, *a*) и сентябре (рис. 2, *b*) за весь период наблюдений 2015–2026 гг., так как контуры уреза воды в эти месяцы соответствуют двум фазам режима водохранилища. Минимальная площадь за весь период наблюдений отмечена 6 января 2021 г. и составила 178.1 га (рис. 2, *a*), что значительно выше исторического минимума в 1994 г., однако отражает напряженную ситуацию с водными ресурсами после экстремально маловодного 2020 г.

Минимальная площадь водного зеркала в сентябре (рис. 2, *b*) зафиксирована 27 сентября 2025 г. и составила 254.7 га, что является абсолютным минимумом для данного месяца за весь период наблюдений 2015–2026 гг. и на 45 га меньше аналогичного показателя 2020 г. Столь значительное сокращение площади обусловлено накопленным с весны 2024 г. дефицитом водных ресурсов. По состоянию на февраль 2026 г. площадь водохранилища составляет 434.12 га, что соответствует значениям февраля 2020 г.

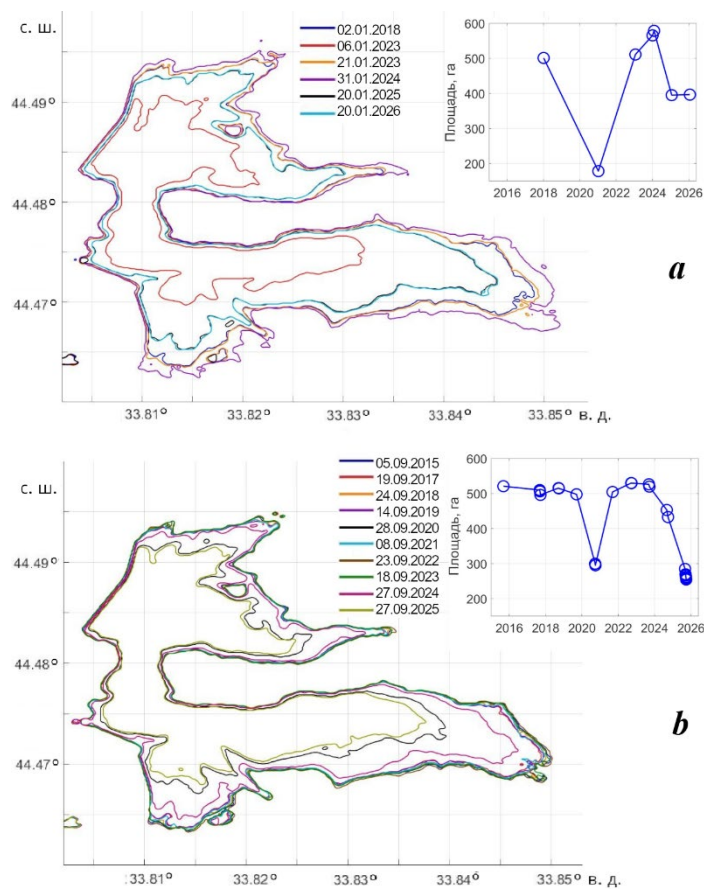


Рис. 2. Контуры урезов воды и динамика площади водного зеркала Чернореченского водохранилища, по данным Sentinel-2 за январь (а) и сентябрь (b) 2015–2026 гг.

Fig. 2. Waterline contours and water surface area dynamics of the Chernorechenskoe Reservoir based on Sentinel-2 data for January (a) and September (b) of 2015–2026

Максимальные значения за январь наблюдались в 2024 г. (рис. 2, а), а за сентябрь – в 2022 г. (рис. 2, b).

Комбинирование спутниковых данных о площади водной поверхности с данными батиметрической модели позволило оценить объем водохранилища на каждый момент съемки. На рис. 3 представлены данные об урезе воды за февраль (период восстановления объема воды) и октябрь (характерный период минимальных значений) наиболее маловодных лет исследуемого периода (2020 и 2025 гг.), а также за февраль текущего 2026 г. В феврале 2020 г. объем составлял 32.3 млн м³ (рис. 3, а), а в октябре сократился до 16.4 млн м³ (рис. 3, b). Еще более низкие показатели зафиксированы в 2025 г.: 26.8 млн м³ в феврале (см. рис. 2, а) и 12.2 млн м³ в октябре. На 20 января 2026 г. объем и площадь водохранилища приблизились к показателям аналогичного периода прошлого года (395 га и 26 млн м³ соответственно).

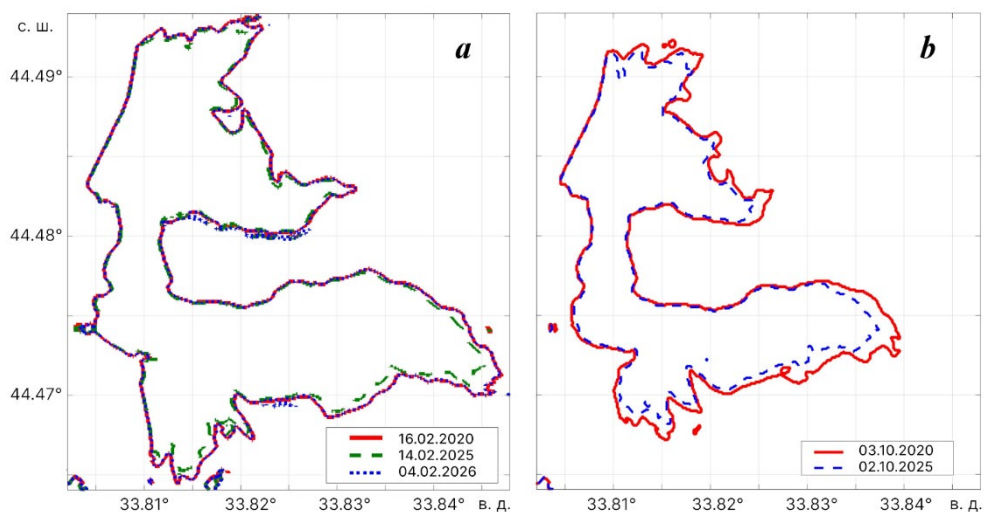


Рис. 3. Контуры урезов воды Чернореченского водохранилища в феврале 2020, 2025 и 2026 гг. (а) и октябре 2020 и 2025 гг. (б)

Fig. 3. The Chernorechenskoe Reservoir waterline contours in February 2020, 2025 and 2026 (a) and in October 2020 and 2025 (b).

На рис. 4 представлена изменчивость площади водного зеркала водохранилища по спутниковым снимкам и количества осадков над районом исследования по данным реанализа *MERRA-2* (рис. 4, а), а также динамика объема воды (рис. 4, б) и среднего уровня воды (рис. 4, с), по данным за январь с 2015 по 2026 г., относительно максимального заполнения водохранилища в феврале 2018 г. Анализ этих временных рядов показал взаимосвязь: уменьшение осадков закономерно приводит к сокращению площади водохранилища (рис. 4, а), а также, соответственно, к уменьшению объема воды (рис. 4, б) и понижению ее уровня (рис. 4, с).

Наиболее выраженные маловодные периоды наблюдались в 2020 и 2025 гг., что соответствует минимальным значениям накопленных осадков в 2018–2020 и 2024–2025 гг. Водохранилище демонстрирует значительную инерционность гидрологической системы: даже после восстановления количества осадков до среднееголетних значений площадь водного зеркала восстанавливается постепенно, в течение нескольких месяцев. Кроме того, в зимний период осадки могут выпадать в виде снега, что обуславливает поступление воды в водохранилище только после снеготаяния при положительных температурах. Важно учитывать также, что режим водохранилища искусственно регулируется: в период сильных паводков осуществляется попуск воды.

За исключением 2021 г., в ежегодной динамике прослеживается увеличение объема воды с декабря по май, которое сменяется последующим снижением. Как было отмечено ранее, абсолютные минимальные показатели за весь исследуемый период зафиксированы в начале января 2021 г., когда объем воды сократился до 7.4 млн м³, а уровень упал более чем на 11 м относительно уровня февраля 2018 г. Тем не менее в дальнейшем объем стремительно

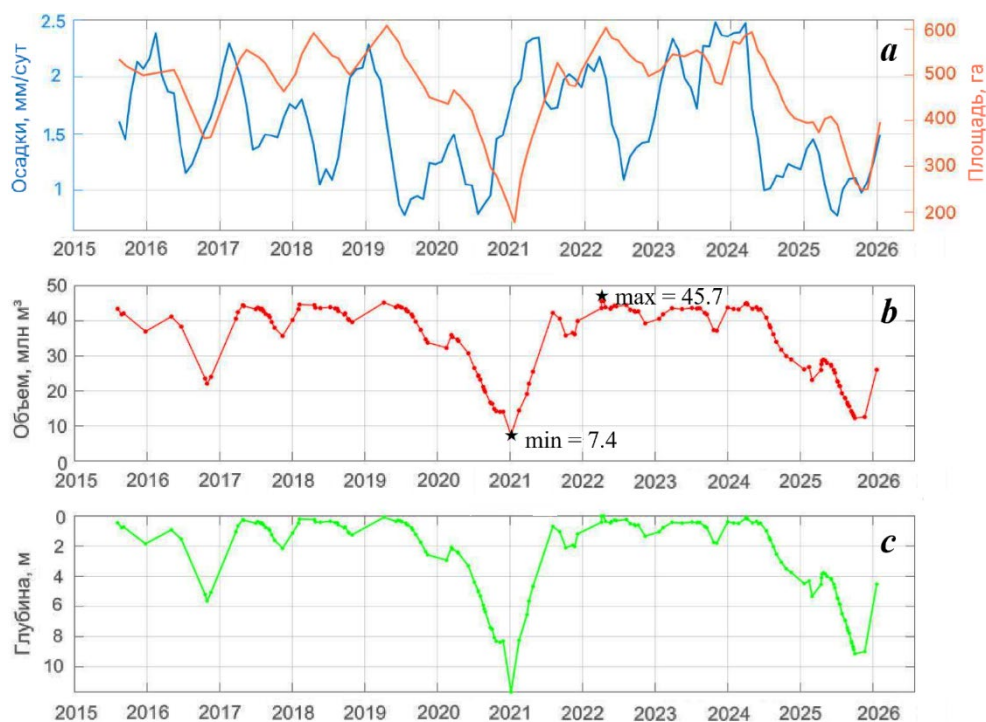


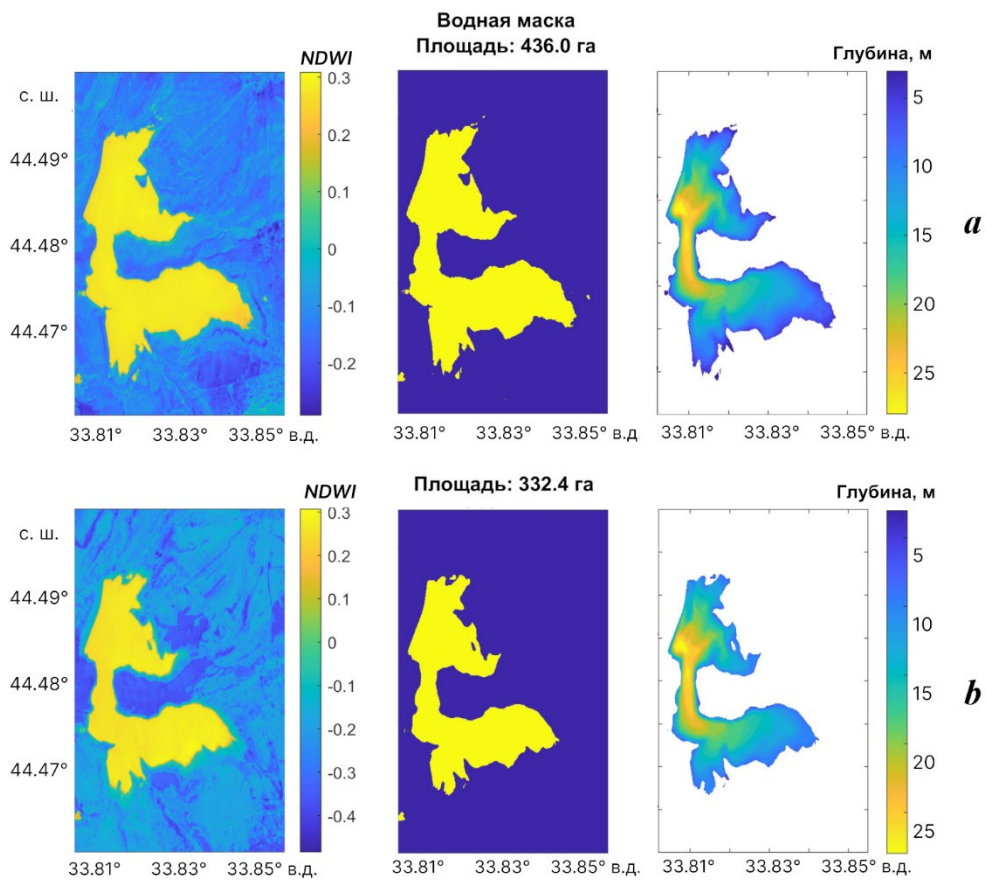
Рис. 4. Динамика площади водного зеркала водохранилища и среднемесячного количества осадков (а), объема водохранилища (b) и уровня воды (с)

Fig. 4. Dynamics of the reservoir water-surface area and mean monthly precipitation (a), reservoir volume (b) and water level (c)

возрастал, и положительный тренд сохранялся на протяжении всего года, что в итоге привело к максимальному за исследуемый период объему в 45.7 млн м³ в апреле 2022 г. Отмечен также локальный минимум в октябре – ноябре 2016 г., когда объем водохранилища снижался до 22 млн м³. Однако уже в 2017–2018 гг. наблюдалось полноводье: объем достигал 43 млн м³, что соответствует близкому к максимальному наполнению чаши водохранилища.

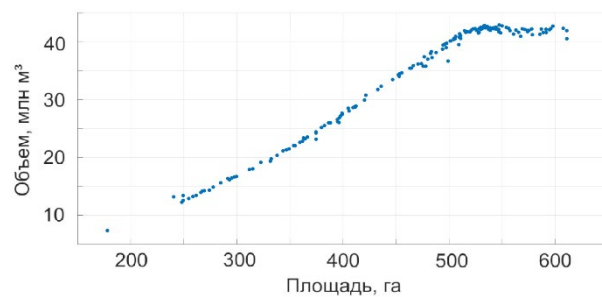
Полученные по спутниковым данным оценки объема Чернореченского водохранилища были сопоставлены с опубликованными в открытых источниках сведениями²⁾ ГУПС «Водоканал» [2]. Согласно этим данным, по состоянию на 5 февраля 2020 г. объем воды в водохранилище составлял 30.456 млн м³, а на 31 августа 2020 г. – 21.857 млн м³. Для корректности сравнения были отобраны спутниковые снимки, максимально близкие по датам к замерам, выполненным «Водоканалом». На снимке от 16 февраля 2020 г. (рис. 5, а) расчетный объем составил 32.3 млн м³, от 29 августа 2020 г. – 19.7 млн м³ (рис. 5, b). Таким образом, расхождение между данными «Водоканала» и спутниковыми измерениями составило 6.1 и 9.9 % соответственно. Стоит отметить,

²⁾ URL: <https://sevodokanal.org.ru/news/2020-02-05/163> (дата обращения: 13.05.2026).



Р и с . 5. Выделение водного зеркала Чернореченского водохранилища по спутниковым данным от 16.02.2020 (а), от 29.08.2020 (б)

Fig . 5. Identification of the Chernorechenskoye Reservoir water surface from satellite imagery on 16 February 2020 (a) and 29 August 2020 (b)



Р и с . 6. Зависимость объема воды от площади водного зеркала водохранилища по спутниковым данным и батиметрической модели

Fig . 6. Dependence of the water volume on the reservoir water-surface area from satellite data and the bathymetric model

что выявленная разница может быть обусловлена как временным лагом между сопоставляемыми данными (5–11 дней), так и погрешностью методики расчета объема по спутниковым снимкам и используемой батиметрической модели.

Анализ зависимости объема водохранилища от площади водного зеркала выявил нелинейный характер этой взаимосвязи (рис. 6). Наблюдается положительная корреляция ($R = 0.95$) между этими параметрами, однако при достижении пороговой площади около 450 га объем водохранилища выходит на плато, демонстрируя незначительный прирост при дальнейшем увеличении акватории. Это объясняется морфометрическими особенностями ложа водохранилища: при заполнении основной котловины дальнейшее увеличение уровня воды приводит к затоплению относительно пологих прибрежных участков с малыми глубинами.

Заключение

Разработан и протестирован алгоритм определения площади водной поверхности Чернореченского водохранилища на основе спутниковых данных *Sentinel-2* с использованием нормализованного разностного водного индекса (*NDWI*) и адаптивных пороговых значений для различных сезонов года. Пространственное разрешение 10 м обеспечивает высокую точность определения границ водного объекта.

Получены временные ряды площади водного зеркала Чернореченского водохранилища за 2015–2026 гг. с высокой временной дискретностью. Установлено, что минимальная площадь за исследуемый период составила 178.1 га и наблюдалась 6 января 2021 г. после маловодного 2020 г. Повторное критическое уменьшение площади зафиксировано в сентябре 2025 г.

Выполнена интеграция спутниковых данных о площади водной поверхности с батиметрической моделью, что позволило рассчитать объем водохранилища для каждого момента наблюдения. Минимальный объем составил 7.4 млн м³ (6 января 2021 г.), максимальный объем за период наблюдений не превышает 45.7 млн м³, что на 23 % меньше проектного полезного объема.

Выявлена отчетливая корреляция между количеством осадков (по данным реанализа *MERRA-2*) и площадью водохранилища. Показано, что водохранилище демонстрирует значительную инерционность гидрологической системы: даже после восстановления количества осадков до среднесезонных значений площадь водного зеркала восстанавливается постепенно, в течение нескольких месяцев. Наиболее критические маловодные периоды 2020 и 2025 гг. обусловлены дефицитом осадков в предшествующие два – три года.

Установлен нелинейный характер зависимости объема водохранилища от площади водного зеркала с выходом на плато при площади около 450 га, что обусловлено морфометрическими особенностями водохранилища.

Разработанный алгоритм в дальнейшем может быть применен при обработке спутниковых данных с более высоким пространственным разрешением. Использование уточненной батиметрии, полученной в период максимального заполнения водохранилища, позволит существенно повысить точность расчетов его объема.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Олиферов А. Н., Тимченко З. В.* Реки и озера Крыма. Симферополь : ДОЛЯ, 2005. 214 с.
2. *Дегтерев А. Х.* Заполняемость водохранилищ Крыма в период перекрытия Северо-Крымского канала. Севастополь : СевГУ, 2022. 70 с. EDN RJSBBI.
3. *Волосухин Я. В.* Безопасность сооружений Чернореченского водохранилища, используемого для водоснабжения г. Севастополя // *Природообустройство*. 2019. № 5. С. 57–64. EDN RDKGOS.
4. *Артеменко В. М., Бадюков Д. Д., Иванов В. А., Кондратьев С. И. и др.* Гидролого-гидрохимические особенности вод Чернореченского водохранилища в летний период // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2003. Вып. 9. С. 67–75. EDN ZREIOB.
5. *Миньковская Р. Я., Демидов А. Н., Наривончик С. В.* Влияние стока реки Черной (Севастопольский регион) на устьевое взморье во время паводков // *Гидросфера. Опасные процессы и явления*. 2024. Т. 6, № 2. С. 138–156. EDN XCUXSV. <https://doi.org/10.34753/HS.2024.6.2.138>
6. *Василенко В. А.* Водные ресурсы – сдерживающий фактор социально-экономического развития Крыма // *Регион: экономика и социология*. 2019. № 4. С. 245–267. EDN IGANQQ. <https://doi.org/10.15372/REG20190411>
7. *Кобечинская В. Г., Ярош О. Б., Ивашов А. В., Апостолов В. Л.* Проблемы качества питьевой воды западной части Крыма // *Вода и экология: проблемы и решения*. 2020. № 3. С. 50–62. EDN IGFEBF. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2020.25.3.50-62>
8. *Гречушников М. Г., Косицкий А. Г., Айбулатов Д. Н., Школьный Д. И. и др.* Трансформация стока воды и осадконакопление Чернореченского водохранилища // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2020. № 1. С. 97–104. EDN FTGXRT.
9. *Пискун Е. И., Камынина А. А.* Динамический анализ факторов влияния на уровень жизни города Севастополя // *Хроноэкономика*. 2021. № 2. С. 67–74. EDN QFRQPD.
10. *Миньковская Р. Я.* Водный баланс Севастопольского региона // *Доповіді НАН України*. 2009. № 3. С. 137–140.
11. *Прусов А. В., Миньковская Р. Я., Овчаренко И. А.* Резерв пресноводных ресурсов Севастопольского региона // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2009. Вып. 19. С. 143–153. EDN YKTSYJ.
12. *Каюкова Е. П., Юровский Ю. Г.* Водные ресурсы Крыма // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2016. № 1. С. 25–32. EDN VSNYMV.
13. *Николенко И. В., Каримов Э. А., Боков С. А., Авдеева Д. В.* Анализ потерь водных ресурсов из водохранилищ естественного стока Республики Крым и г. Севастополя // *Строительство и техногенная безопасность*. 2022. № 27. С. 111–123. EDN ZZCVCN.
14. *Шинкаренко С. С., Солодовников Д. А., Барталев С. А., Васильченко А. А. и др.* Динамика площадей водохранилищ полуострова Крым // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса*. 2021. Т. 18, № 5. С. 226–241. EDN RXFZGU.

15. *Игнатьева М. Н.* Применение дистанционных методов исследования для анализа изменения площади Чернореченского водохранилища (Севастополь, Крымский полуостров) // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Труды IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / Под ред. А. Б. Китаева, О. В. Ларченко, В. Г. Калинина. Пермь : ПГНИУ, 2023. Т. 1. С. 76–80. EDN CRISHJ.
16. *Лубков А. С., Воскресенская Е. Н.* Метод нейронных сетей для климатического прогнозирования водности Чернореченского водохранилища // Системы контроля окружающей среды. 2021. № 2. С. 16–28. EDN NKEDYJ. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2021-2-16-28>
17. *McFeeters S. K.* The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // International Journal of Remote Sensing. 1996. Vol. 17, iss. 7. P. 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
18. *Militino A. F., Montesino-SanMartin M., Pérez-Goya U., Ugarte M. D.* Using RGISTools to estimate water levels in reservoirs and lakes // Remote Sensing. 2020. Vol. 12, iss. 12. 1934. <https://doi.org/10.3390/rs12121934>
19. *Du Y., Zhang Y., Ling F., Wang Q. et al.* Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band // Remote Sensing. 2016. Vol. 8, iss. 4. 354. <https://doi.org/10.3390/rs8040354>
20. *Катаев М. Ю., Бекеров А. А.* Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2017. Т. 20, № 4. С. 105–108. EDN YTZQOS. <https://doi.org/10.21293/1818-0442-2017-20-4-105-108>

Поступила 19.02.2026 г.; одобрена после рецензирования 04.03.2026 г.; принята к публикации 19.03.2026 г.; опубликована 30.06.2026 г.

Об авторах:

Алескерова Анна Адиловна, старший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат географических наук, **SPIN-код: 5796-2254, ORCID: 0000-0003-1451-3440, ResearcherID: F-2966-2017, Scopus Author ID: 57021552600, annete08@mail.ru**

Лишаев Павел Николаевич, научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **SPIN-код: 2241-1505, Scopus Author ID: 57193071072, ResearcherID: A-7770-2019, ORCID ID: 0000-0002-5259-3309, pavellish@mail.ru**

Василенко Надежда Вадимовна, младший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **SPIN-код: 4710-2532, ResearcherID: JZT-8108-2024, Scopus Author ID: 57358387000, nadinkot.nk@gmail.com**

Кубряков Арсений Александрович, заместитель директора по научной работе, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор физико-математических наук, **SPIN-код: 4371-8879, Scopus Author ID: 37072750100, WoS ResearcherID: F-8921-2014, ORCID ID: 0000-0003-3561-5913, arskubr@yandex.ru**

Станичный Сергей Владимирович, старший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **SPIN-код: 8146-9454, ORCID: 0000-0002-1033-5678, ResearcherID: F-8915-2014, Scopus Author ID: 6602344280, sstanichny@mail.ru**

Гречушникова Мария Георгиевна, ведущий научный сотрудник, ФГБОУ ВО МГУ имени М. В. Ломоносова, географический факультет (119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы), кандидат географических наук, **SPIN-код: 1711-9800, ORCID: 0000-0001-6376-2473, ResearcherID: L-5317-2013, Scopus Author ID: 6507726807, allavis@mail.ru**

Заявленный вклад авторов:

Алескерова Анна Адилевна – концепция статьи, постановка целей и задач исследования, проведение расчетов, сбор информации, анализ данных, интерпретация результатов, написание текста статьи, подготовка графических материалов

Лишаев Павел Николаевич – проведение расчетов, анализ данных, интерпретация результатов

Василенко Надежда Вадимовна – анализ литературных источников, сбор информации, интерпретация результатов, написание текста статьи, подготовка графических материалов

Кубряков Арсений Александрович – научное руководство исследованием, интерпретация результатов

Станичный Сергей Владимирович – научное руководство исследованием, интерпретация результатов

Гречушникова Мария Георгиевна – проведение экспедиционных работ, сбор информации по батиметрическим данным

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.