

В результате выполнения работ по проекту РНФ N 24-44-20006 «Пространственное планирование и спутниковый мониторинг морских охраняемых природных акваторий Каспийского моря» (2024-2026) в 2025 году были получены следующие результаты:

(1) Выполнен анализ межгодовой изменчивости гидрометеорологических и биооптических параметров Каспийского моря, определены их линейные тренды в период 2000–2024 гг. Были исследованы следующие параметры: температуры воздуха и поверхности моря (ТПМ), атмосферные осадки, скорость ветра, сток Волги, уровень Каспия и залива Кара-Богаз-Гол (КБГ), концентрации хлорофилла-а, показатель рассеяния назад взвешенными частицами на длине волны 555 нм, концентрация взвеси TSM, показатель поглощения окрашенного растворенного органического вещества (ОПОВ) на длине волны 443 нм. Исследование выполнено на основе данных атмосферного реанализа MERRA-2, спутникового сканера цвета MODIS-Aqua, альтиметрических спутниковых данных (HYDROWEB, LEGOS), а также данным КАСПИКОМ для выявления возможных причин изменения характера понижения уровней моря и залива в первую четверть 21-го века. Изменения температуры воздуха, скорости ветра в Каспийском регионе и температуры воды в Каспии, определяющих величину испарения, не обнаруживает существенного изменения в 2020–2024 гг., когда наблюдалось резкое увеличение скорости падения уровня Каспия и залива КБГ. Изменение темпов падения уровня моря в последние годы связано с резким уменьшением стока Волги в 2021–2024 гг. и увеличением испарения.

(2) Исследована межгодовая изменчивость среднемесячных значений биооптических характеристик и ТПМ для 16 выявленных экологически и биологически значимых морских зон (EBSAs) Каспийского моря по данным спутникового сканера цвета MODIS-Aqua. Рассчитаны линейные тренды временной изменчивости значений концентрации хлорофилла-а, взвешенного вещества и температуры поверхности моря за 2002–2025 гг. Рост концентрации взвешенного вещества наблюдается в зонах, приуроченных к мелководным частям моря, что связано со снижением его уровня.

(3) В 2025 году проведены комплексные экосистемные исследования акватории дельты Волги и прилежащего к ней шельфа Каспийского моря в два ключевых гидрологических периода: в мае, в фазу весеннего половодья, и в сентябре, в период летне-осенней межени. Измерялись температура, электропроводность (солёность), мутность и растворенный кислород. В пробах определялись концентрации хлорофилла а и феофетина как индикаторов фитопланктонной активности, содержание растворенного и взвешенного органического углерода, значения водородного показателя и общей щелочности. Отобраны пробы для определения видового состава фитопланктона. Выполнены анализы основных биогенных элементов (минеральных форм азота, фосфора, кремния в растворенной форме). Химико-биологические показатели акватории в весенний период показали более высокую продукционную активность экосистемы дельты и авандельты в весенний сезон. Это выражено в высоких значениях АОУ (кажущегося потребления кислорода) и DOC (растворенный органический углерод). При этом в сентябре высокие значения хлорофилла а, DOC отмечены на шельфе моря, при том, что содержание здесь форм биогенных элементов ниже, чем в дельте и авандельте. Высокая продуктивность вод дельты Волги наблюдается в весенний сезон (период половодья) и более низкая - на шельфе Северного Каспия. В осенний сезон (осенняя межень) более продуктивной является область шельфа.

(4) Картирование среднегодового распределения температуры воздуха, температуры поверхности моря, концентрации льда, атмосферных осадков, облачности, скорости ветра, концентрации хлорофилла, ФАР) за 2010-2023 гг. выполнено по среднемесячным данным,

полученным из атмосферного реанализа MERRA-2, с помощью NASA online data system Giovanni. Выполнено картирование биооптических характеристик Каспийского моря по данным спутникового сканера цвета MODIS-Aqua. Построены карты среднемесячных распределений концентрации хлорофилла-а (Хл), показателя рассеяния назад взвешенными частицами на длине волны 555 нм bbp(555), концентрации взвеси TSM, показателя поглощения окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ) на длине волны 443 нм ag(443) за 1998-2025 гг. Проанализированы построенные среднеклиматические (2003-2023 гг.) распределения этих параметров и выявлены их региональные особенности.

(5) Проанализированы литературные данные примерно по 90 видам морских рыб, встречающихся в акватории Каспийского моря. Отобраны виды, встречающиеся в российских водах, и эндемичные виды, в основном представители семейств Gobiidae и Clupeidae (всего 36 видов), а также виды, находящиеся под угрозой исчезновения (5 видов). Всего было отобрано 40 видов рыб и отдельные виды круглоротых. Результаты анализа позволили разделить рассматриваемые виды на две категории: виды, требующие дополнительных мер охраны (13 видов), и виды, не требующие таких мер (28 видов). Установлено, что наиболее нуждающимися в дополнительной охране видами, как правило, являются виды, имеющие высокую промысловую ценность (осетровые, некоторые виды сельди, каспийская белорыбица и др.).

(6) На основе контуров нефтяных пятен, выявленных по спутниковым изображениям, полученным при помощи C-SAR IC3 Sentinel-1A, -1B, MSI IC3 Sentinel-2A, -2B и OLI и OLI-2 IC3 Landsat-8, -9, собранным за период 2022–2024 гг., составлены подробные карты нефтяного загрязнения морской поверхности для следующих районов: район нефтедобычи «Нефтяные Камни»; район естественных выходов углеводородов с морского дна на иранском шельфе в районе мыса Сефид Руд; район на туркменском шельфе в районе полуострова Челекен. Рассчитана площадь и плотность пространственного распределения нефтяного загрязнения морской поверхности. Оценена вероятность нефтяного загрязнения различных участков морской поверхности. Выявлены и картографированы многочисленные поверхностные нефтяные слики, вызванные грязевым вулканизмом. Особое внимание уделено выявлению антропогенного загрязнения, связанного со сбросом нефтесодержащих вод с судов (300 случаев). Составлена сводная карта всех перечисленных выше видов нефтяного загрязнения Каспийского моря, для составления которой использованы 4306 РЛИ и 1689 оптических снимков высокого разрешения, полученных за период с 2022 по 2024 год.

(7). В рамках выполнения Проекта были подготовлены и опубликованы 7 статей в высокорейтинговых журналах, все цитируются в базах данных WoS и Scopus; 2 работы в трудах конференций, цитируемых в РИНЦ. На 4 международных и российских конференциях сделано 4 устных и стендовых доклада. Опубликовано более 80 новостей в СМИ об экспедициях в дельту Волги, причем в таких высокорейтинговых СМИ как ТАСС, РИА Новости, Российская газета, Научная Россия, Известия, Ведомости, РБК и другие.

Ссылка на информационные ресурсы в сети Интернет: http://caspien.geosmis.ru/c_static/?proj-24-44-20006

As a result of the work carried out under the RSF Project RSF Grant N 24-44-20006 «Spatial Planning and Satellite Monitoring of Marine Protected Areas in the Caspian Sea» (2024-2026), the following results were obtained in 2025:

(1) The analysis of interannual variability of hydrometeorological and bio-optical parameters of the Caspian Sea was performed, their linear trends were determined for the period 2000–2024. The following parameters were studied: air and sea surface temperatures (SST), precipitation, wind speed, Volga runoff, level of the Caspian Sea and Kara-Bogaz-Gol Bay (KBG), chlorophyll-a concentration, the particulate backscattering coefficient at a wavelength of 555 nm, the suspended matter concentration (TSM), and the absorption index of colored dissolved organic matter (CDOM) at a wavelength of 443 nm. The study was based on the MERRA-2 atmospheric reanalysis data, the MODIS-Aqua satellite color scanner, altimetry satellite data (HYDROWEB, LEGOS), and CASPCOM data to identify possible causes of changes in the nature of the decrease in the Caspian Sea and KBG levels in the first quarter of the 21st century. Changes in air temperature, wind speed in the Caspian region, and water temperature in the Caspian Sea, which determine evaporation, show no significant change in 2020–2024, when a sharp increase in the rate of sea level decline in the Caspian Sea and KBG Bay was observed. The change in the rate of sea level decline in recent years is associated with a sharp decrease in the Volga River runoff in 2021–2024 and an increase in evaporation.

(2) The interannual variability of monthly average bio-optical characteristics and SST for 16 identified ecologically and biologically significant marine areas (EBSAs) of the Caspian Sea was studied using MODIS-Aqua color satellite data. Linear trends in the temporal variability of chlorophyll-a concentrations, suspended matter, and sea surface temperature were calculated for 2002–2025. An increase in suspended matter concentration is observed in zones confined to the shallow parts of the sea, which is associated with a decrease in the Caspian Sea level.

(3) In 2025, comprehensive ecosystem studies of the Volga Delta waters and the adjacent Caspian Sea shelf were conducted during two key hydrological periods: May, during the spring flood phase, and September, during the summer-autumn low water period. Temperature, electrical conductivity (salinity), turbidity, and dissolved oxygen were measured. Concentrations of chlorophyll a and pheophytin as indicators of phytoplankton activity, the content of dissolved and suspended organic carbon, pH, and total alkalinity were determined in the samples. Samples were taken to determine the species composition of phytoplankton. Analyses of the main biogenic elements (mineral forms of nitrogen, phosphorus, and silicon in dissolved form) were performed. Chemical and biological parameters of the water area in the spring period showed higher productive activity of the delta and delta-front ecosystem in the spring season. This is reflected in high values of AOU (Apparent Oxygen Utilization) and DOC (Dissolved Organic Carbon). In September, high chlorophyll a and DOC values were recorded on the shelf, despite the fact that the nutrient content there is lower than in the delta and delta front. High productivity of the Volga Delta waters is observed in the spring (flood period) and lower on the shelf of the Northern Caspian. In the fall (fall low water), the shelf area is more productive.

(4) Mapping of the annual mean distribution of air temperature, sea surface temperature, ice concentration, precipitation, cloudiness, wind speed, chlorophyll concentration, PAR) for 2010–2023 was performed using monthly mean data obtained from the MERRA-2 atmospheric reanalysis, using the NASA online data system Giovanni. Mapping of the bio-optical characteristics of the Caspian Sea was carried out using data from the MODIS-Aqua color satellite scanner. Maps of the monthly mean distributions of chlorophyll-a (Chl) concentration, the particulate backscattering coefficient at a wavelength of 555 nm $bbp(555)$, suspended matter concentration TSM, and the absorption index of colored dissolved organic matter (CDOM) at a wavelength of 443 nm $ag(443)$ were constructed for 1998–2025. The constructed average

climatic (2003-2023) distributions of these parameters were analyzed, and their regional characteristics were identified.

(5) Literature data on approximately 90 marine fish species found in the Caspian Sea were analyzed. Species found in Russian waters, as well as endemic species, were selected, primarily representatives of the Gobiidae and Clupeidae families (36 species in total), as well as endangered species (5 species). A total of 40 fish species and some cyclostomes were selected. The analysis allowed us to divide the species under consideration into two categories: species requiring additional protection measures (13 species) and species not requiring such measures (28 species). It was found that species most in need of additional protection are generally those with high commercial value (sturgeon, some herring species, Caspian whitefish, etc.).

(6) Based on the contours of oil slicks identified from satellite images obtained using C-SAR of Sentinel-1A, -1B, MSI of Sentinel-2A, -2B and OLI and OLI-2 of Landsat-8, -9, collected over the period 2022–2024, detailed maps of oil pollution of the Caspian Sea surface were compiled for the following areas: the Oil Rocks oil production area; the area of natural hydrocarbon seeps from the seabed on the Iranian shelf near Cape Sefid Rud; an area on the Turkmen shelf near the Cheleken Peninsula. The area and density of spatial distribution of oil pollution of the sea surface were calculated. The probability of oil pollution of various areas of the sea surface was assessed. Numerous surface oil slicks caused by mud volcanism were identified and mapped. Particular attention was paid to identifying anthropogenic pollution associated with the discharge of oil-containing water from ships (300 cases). A consolidated map of all the above-mentioned types of oil pollution in the Caspian Sea was compiled, using 4,306 radar images and 1,689 high-resolution optical images acquired between 2022 and 2024.

(7). As part of the Project, seven articles were prepared and published in highly regarded journals, all cited in the WoS and Scopus databases; two papers were included in conference proceedings cited in the Russian Science Citation Index (RSCI). Four oral and poster presentations were given at four international and Russian conferences. Over 80 news stories about expeditions to the Volga Delta were published in the media, including highly regarded media outlets such as TASS, RIA Novosti, Rossiyskaya Gazeta, Nauchnaya Rossiya, Izvestia, Vedomosti, RBC, and others.

Link to information resources on the Internet: http://caspien.geosmis.ru/c_static/?proj-24-44-20006